



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRIA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

Desarrollo de un producto de panificación a partir de harina de cáscara de vaina de cacao: Una opción para el aprovechamiento de residuos agroindustriales.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

PRESENTA:

L.N. MARÍA FERNANDA RÍOS PÉREZ

Director de Tesis:

DRA. NORMA GÜEMES VERA

ASESORES:

DRA. AURORA QUINTERO LIRA

DR. SERGIO SOTO SIMENTAL

DR. JAVIER PILONI MARTINI



Tulancingo de Bravo, Hidalgo, Agosto 2019.



COORDINACION DE POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos

Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: “**Desarrollo de un producto de panificación a partir de harina de cáscara de vaina de cacao: Una opción para el aprovechamiento de residuos agroindustriales**”, que desarrolla la estudiante LN María Fernanda Ríos Pérez.

Asistentes:

Dra. Norma Güemes Vera
Dr. Sergio Soto Simental
Dr. Javier Piloni Martini
Dra. Aurora Quintero Lira

Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la estudiante LN María Fernanda Ríos Pérez, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE “AMOR,

ORDEN Y PROGRESO”

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 24 de junio del 2019.

Dra. Norma Guemes Vera

Dr. Sergio Soto Simental

Dr. Javier Piloni Martini

Dra. Aurora Quintero Lira



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda
Aquetzaipa, Tulancingo de Bravo, Hidalgo,
México; C.P. 43600
Teléfono: +52 (771) 71 72000 ext. 2460, 2461
icap@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

ÍNDICE

I	RESUMEN	viii
II	ABSTRACT	ix
III	INTRODUCCIÓN	x
1	ANTECEDENTES	1
1.1	Cacao	1
1.1.1	Taxonomía y descripción botánica	1
1.1.2	Propiedades nutricionales de la cáscara de vaina de cacao	2
1.2	Harinas Compuestas	3
1.3	Estudio reológico en masas	4
1.4	Pan	5
1.4.1	Elaboración de pan	5
1.4.2	Tipos de pan	8
1.4.3	Valor nutricional del pan	8
1.4.4	Evaluación de las características del pan blanco de caja	11
2	JUSTIFICACIÓN	12
3	OBJETIVOS	13
3.1	OBJETIVO GENERAL	13
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4	HIPOTESIS	13
5	METODOLOGÍA	14
5.1	Obtención de materia prima	14
5.2	Elaboración de la harina de cáscara de vaina de cacao	14
5.3	Elaboración de masas y pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao	14
5.4	Análisis químico proximal de la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao	15
5.4.1	Determinación de humedad en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao	16

5.4.2	Determinación de cenizas en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.....	16
5.4.3	Determinación de grasa en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.....	17
5.4.4	Determinación de proteínas en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.....	17
5.4.5	Determinación de fibra en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.....	18
5.5.1	Contenido de fenoles totales en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.....	18
5.5.2	Determinación de capacidad antioxidante por DPPH, EC₅₀ en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.....	19
5.5.3	Capacidad antioxidante por FRAP en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.....	19
5.5.4	Capacidad antioxidante por el radical ABTS⁺ en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.....	20
5.6.1	Prueba de extensibilidad uniaxial en formulaciones de masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	21
5.6.2	Análisis de perfil de textura en formulaciones de masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	21

5.6.3	Determinación de extensibilidad biaxial en formulaciones de masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	21
5.7	Elaboración de formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	22
5.8.1	Análisis de perfil de textura en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	23
5.8.2	Color del pan y miga en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	23
5.8.3	Volumen y densidad específica en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	23
5.8.4	Actividad de agua (a_w) en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	24
5.9.1	Prueba de microscopía de fuerza atómica (AFM) en harina de cáscara de vaina de cacao.....	24
5.9.2	Microscopía confocal de barrido laser (CLSM) en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	24
5.9.3	Análisis de imagen de la miga en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	25
5.10	Evaluación sensorial en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	25
6	Análisis estadístico.....	27
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
7.1	Rendimiento de la harina de cáscara de vaina de cacao.....	28

7.2	Análisis químico proximal en la harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo.....	28
7.3	Análisis químico proximal en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	30
7.4	Contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante por FRAP y por el radical ABTS⁺ en harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo.....	34
7.5	Contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante por FRAP y por el radical ABTS⁺ en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	35
7.6	Determinación de capacidad antioxidante por DPPH, EC₅₀.....	38
7.7	Prueba de extensibilidad uniaxial, análisis de perfil de textura (APT) y extensibilidad biaxial en masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	40
7.7.1	Análisis de perfil de textura en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	44
7.8	Color en corteza, color en miga, volumen específico, densidad y actividad de agua de formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	47
7.9	Prueba de microscopía de fuerza atómica (AFM) en la harina de cáscara de vaina de cacao.....	51
7.10	Microscopía confocal de barrido láser (CLSM) en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	53
7.11	Análisis de imagen de formulaciones de la miga de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	56
7.12	Evaluación sensorial en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	58

8	CONCLUSIÓN	61
9	BIBLIOGRAFÍA	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Formulación de masas y pan blanco de caja elaborado con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	15
Tabla 2.	Análisis químico proximal en harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo.....	29
Tabla 3.	Análisis químico proximal en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	31
Tabla 4.	Contenido de antioxidantes en harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo.....	34
Tabla 5.	Contenido de antioxidantes en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	36
Tabla 6.	Extensibilidad uniaxial, análisis de perfil de textura y extensibilidad biaxial en masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	41
Tabla 7.	Análisis de perfil de textura en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	45
Tabla.8.	Color en corteza, color en miga, volumen específico, densidad y actividad de agua en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	48
Tabla 9.	Análisis de imagen de formulaciones de la miga de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Formato de evaluación sensorial.....	26
Figura 2.	Comparación actividad antioxidante en harina de trigo y harina de cáscara de vaina de cacao, mediante ensayo de DPPH.....	38
Figura 3.	Comparación actividad antioxidante en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao, mediante ensayo de DPPH.....	39
Figura 4.	Imágenes de topografía AFM en harina de cáscara de vaina de cacao.....	52
Figura 5.	Imágenes de microscopía confocal laser por columna, obtenidas a 200µm en miga de pan blanco con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	54
Figura 6.	Diagrama radial de la evaluación sensorial en pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.....	59

I RESUMEN

La cáscara de la vaina de cacao, contiene compuestos bioactivos, que al incorporarse en la elaboración de pan blanco de caja aumenta su aporte nutrimental. Por lo que el siguiente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao, sobre las propiedades reológicas fisicoquímicas y sensoriales del pan blanco de caja para proponer su uso en la industria panificadora. Por lo que, a la harina de trigo, harina de cáscara de vaina de cacao, masas y pan blanco de caja, se les determino: análisis químico proximal, ensayos reológicos de extensibilidad uniaxial y biaxial, análisis de perfil de textura, capacidad antioxidante, microscopía confocal laser y características fisicoquímicas. Obteniendo una harina de cáscara de vaina de cacao con un rendimiento del (29%), contenido de cenizas (8%) y fibra (26%), además de tener capacidad antioxidante. Las masas y pan blanco de caja con sustitución de 5% contienen propiedades físicas y reológicas casi similares a los elaborados con harina de trigo. La inclusión de fibra dietética incrementa el valor nutricional, con una depreciación en la calidad del pan blanco de caja, influyendo en la dureza y volumen del mismo. Un nivel de sustitución del 5% con harina de cáscara de vaina de cacao es viable para su uso en panificación. El pan blanco de caja conservó un nivel considerable de antioxidantes a pesar del proceso de horneado al que fue sometido, con lo cual se genera un producto alimenticio con alto valor agregado, que propicia beneficio a la salud del consumidor.

Palabras Clave: pan blanco de caja, cáscara de vaina de cacao, compuestos bioactivos, fibra y antioxidantes.

II ABSTRACT

The shell of the cocoa pod contains bioactive compounds, which when incorporated into the production of white bread increases its nutritional contribution. Therefore, the objective of the following research work was to evaluate the effect of replacing wheat flour with cocoa pod shell flour on the physicochemical and sensory rheological properties of white bread to propose its use in the bakery industry. Therefore, the wheat flour, cocoa pod shell flour, masses and white box bread were determined: proximal chemical analysis, rheological tests of uniaxial and biaxial extensibility, texture profile analysis, antioxidant capacity, confocal laser microscopy and physicochemical characteristics. Obtaining a cocoa pod shell flour with a yield of (29%), ash content (8%) and fiber (26%), in addition to having antioxidant capacity. The masses and white box bread with 5% substitution contain physical and rheological properties almost similar to those made with wheat flour. The inclusion of dietary fiber increases the nutritional value, with a depreciation in the quality of the white box bread, influencing the hardness and volume of it. A substitution level of 5% with cocoa pod shell flour is viable for use in baking. The white bread box retained a considerable level of antioxidants despite the baking process to which it was subjected, which generates a food product with high added value, which promotes benefit to the health of the consumer.

Keywords: white box bread, cocoa pod skin, bioactive compounds, fiber and antioxidants.

III INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, aumenta la preocupación por el aprovechamiento de residuos agroindustriales debido a la amenaza de la reducción de las fuentes de alimentos, desaparición de materias primas y la creciente población mundial, con lo cual ha tomado gran fuerza la búsqueda de procesos de transformación, preservación y reutilización de materiales biológicos que se tratan como desechos (Panak y col., 2018), el tratamiento de estos residuos agroindustriales a materias primas o nuevos productos se denominan “subproductos” (Leao y col., 2017), sin embargo, estos residuos aún no han sido aprovechados eficientemente, debido a que su composición química y posibles transformaciones aún son desconocidos (Panak y col., 2018). En la industria del cacao únicamente es aprovechada económicamente, la semilla, que representa el 10% del peso del fruto fresco (Villamizar y col., 2016), mientras que la cáscara de la vaina representa entre 70 y 75% del peso total de la fruta de cacao donde cada tonelada de fruta produce entre 700 y 750 kg de cáscaras de vaina de cacao (Vriesmann, de Mello, y De Oliveira, 2011; Daud y col., 2013), consideradas como producto de desecho agroindustrial y constituyen un grave problema de contaminación ambiental (Panak y col., 2018). La cáscara de cacao es el mayor subproducto de la industria chocolatera a nivel mundial, es rico en fibra y antioxidantes (Grillo y col., 2019), los cuales constituyen ingredientes con alto potencial para la creación de nuevos productos alimentarios con alto valor agregado (Toro y col., 2014). La creciente demanda por parte de los consumidores de alimentos saludables ha llevado a la industria alimentaria a desarrollar alimentos con antioxidantes naturales y la incorporación de fibra (Umami y col., 2018). El pan es considerado el principal alimento básico en todo el mundo por su valor nutritivo (Chávez-Santoscoy y col., 2016), a pesar de carecer de antioxidantes debido al proceso de molienda de la harina de trigo y a la cocción del pan (Umami y col., 2018), además de un precio relativamente bajo y facilidad de consumo; por lo tanto, puede utilizarse como un vehículo para el suministro de compuestos bioactivos a niveles adecuados que proporcionen beneficios para la salud. Sin embargo, la adición de estos compuestos puede afectar la estabilidad y causar un efecto negativo en la funcionalidad de la masa y características del pan (Chávez-Santoscoy y col., 2016).

Actualmente existen pocos estudios a nivel mundial que propongan el aprovechamiento de las cáscaras de cacao. Por lo que se requiere realizar una investigación que proponga el uso de los antioxidantes y fibra dietética que contienen dichos desechos de la industria del chocolate, mediante la elaboración de pan blanco de caja y evaluar su efecto sobre las propiedades reológicas de la masa y características físicas, para obtener un producto organolépticamente agradable para el consumidor. Por lo que la siguiente investigación tiene como principal objetivo evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao sobre las propiedades reológicas, fisicoquímicas y sensoriales del pan blanco de caja para proponer su uso en la industria panificadora.

1 ANTECEDENTES

1.1 Cacao.

1.1.1 Taxonomía y descripción botánica.

Es una planta originaria de centro y América del sur (Villamizar y col., 2016), es el principal ingrediente para la producción de chocolate (SAGARPA, 2016), llamado científicamente *Theobroma cacao* L. La fruta madura es una baya, comúnmente conocida como vaina de cacao, con una forma ovalada, nace directamente del tallo, tiene forma de calabacín alargado, pesa entre 450 y 500 g, cuando madura, puede llegar a medir de 15 a 20 cm de largo y 7 a 10 cm de ancho (Villamizar y col., 2016), el pericarpio constituido por exocarpio y endocarpio, se compone de celulosa, hemicelulosa, lignina, agua y sales minerales en una disposición laminada (Daud y col., 2013). Se conocen aproximadamente veinte variedades de cacao (*Theobroma cacao*), los tres más populares son criollo, forastero y trinitario, los cuales representan el 95% de la producción total mundial de cacao (Panak y col., 2018). Su consumo per cápita en 2016 fue de 0.5kg, lo que representa al 0.6% del gasto total realizado en alimentos y bebidas por las familias mexicanas, representando el 0.15% del PIB agrícola nacional (SAGARPA, 2016). En México el cacao es producido principalmente por el estado de Tabasco, con una producción nacional del 66%, seguido por Chiapas con un 33% y el 1% se produce entre Oaxaca, Guerrero y Veracruz. La principal materia prima para la producción de todo tipo de productos de cacao, son los granos de cacao secos y fermentados, cuando estos son procesados, se obtienen tres tipos de coproductos: cáscara de vaina de cacao, cáscara de granos y mucílago, los cuales generalmente son arrojados en la plantación de cacao, donde se descomponen, propagando el hongo *Phytophthora spp* que contamina la plantación sana, causando pérdidas de cultivo y por ende disminución económica de la industria del chocolate (Villamizar y col., 2016), así como problemas ambientales en la producción de gases invernaderos, malos olores y propagación de enfermedades (Panak y col., 2018). Los principales desechos agroindustriales comprenden cáscaras, cortezas y semillas de ciertos frutos, los cuales contienen compuestos bioactivos, que actualmente son escasamente explotados y en algunos casos, estos se encuentran en mayor cantidad en los residuos, considerados desechos, que en la propia fracción comestible u explotada

de la fruta en la industria alimentaria. En este contexto, la explotación de los subproductos de las frutas ampliaría la diversidad de productos que podrían producirse a partir de una sola fruta, implicando un mayor beneficio económico a los productores y la reducción o eliminación completa de los residuos, impactando positivamente al medio ambiente (Leao y col., 2017). Teniendo en cuenta el volumen de mercado del cacao (*Theobroma cacao L.*), está claro que la industria del chocolate genera cantidades sustanciales de desechos. En 2013, se produjeron 3,455,622 toneladas métricas de cáscaras de cacao, estimando una tasa de crecimiento anual de 3.1% de 2014 a 2019 (World Cocoa Foundation, 2019).

1.1.2 Propiedades nutricionales de la cáscara de vaina de cacao.

La cáscara de cacao es rica en antioxidantes y fibra, por lo que se podrían utilizar como ingredientes en el desarrollo de alimentos funcionales por su actividad antioxidante y la buena relación entre fibra soluble e insoluble (Martínez y col., 2012). Azila y col. (2014) afirman que la cáscara de vaina de cacao contiene entre 45.6–46.4mg de ácido gálico equivalente de fenólico soluble; 32.3% de carbohidratos, 21.44% de lignina, 19.2% de azúcares, 8.6% de proteínas, 27.7% de minerales y 60% en peso de fibra dietaria total. En lo que se refiere a la capacidad antioxidante Toro y col. (2014) reportan que es posible obtener extractos de polifenoles a partir de la cáscara de vaina de cacao con un contenido total entre 60-91mgEAG/g. Azila y col. (2014) confirmaron en su trabajo de investigación que la cáscara de vaina de cacao tiene mayor actividad antioxidante que la cáscara que recubren las semillas. Los compuestos polifenólicos son los compuestos bioactivos antioxidantes más abundantes en la cáscara de cacao, poseen estructuras con anillos aromáticos y dobles enlaces conjugados a partir de los cuales ejercen su acción antioxidante. Los grupos de polifenoles más abundantes en cáscara de vaina de cacao son: metabolitos tipo flavonoide catequinas (37%), antocianinas (4%) y proantocianidinas (58%) (Sotelo y col., 2015). Estos resultados muestran que su composición les da el potencial de ser utilizado para obtener compuestos bioactivos y fibra dietética que podrían ser utilizados como ingrediente en la elaboración de alimentos con mayor valor agregado a partir de este tipo de residuos, además de ser una alternativa más económica para obtener metabolitos secundarios (Sotelo y

col., 2015; Villamizar-Jaimes y López-Giralgo, 2017). La cáscara de vaina de cacao es una materia prima fácilmente disponible, (Panak y col., 2018) su origen geográfico no afecta su composición (Martínez y col., 2012), lo que la convierte en un subproducto aprovechable para la industria alimentaria en la fabricación de productos de panadería, confitería y en la preparación de alimentos dietéticos bajos en calorías y ricos en fibra (Panak y col., 2018).

1.2 Harinas compuestas.

Las harinas compuestas, son mezclas de harinas a base de cereales, leguminosas, oleaginosas y otros productos de origen vegetal que se usan para producir alimentos a base de trigo, como pan, pastas y galletas con alto valor nutritivo, permitiendo la reducción de importación de este cereal, disminuyendo los costos en la producción. Dado a que el trigo es un cereal con características únicas para la elaboración del pan, un reemplazo parcial de trigo modifica las propiedades del gluten y por ende del producto mismo, por lo que es importante encontrar las proporciones adecuadas de estas, para obtener buenos parámetros de calidad y variables de proceso con las que se logre obtener productos agradables para el consumidor desde el punto de vista organoléptico y de sus propiedades nutrimentales (Vázquez y col., 2017). Debido a la necesidad de experimentar la utilización de harinas compuestas panificables que tengan características similares a las del pan de harina de trigo, se han hecho investigaciones que evalúan el comportamiento reológico y sensorial, entre ellas la investigación de Obregón y col. (2013) quienes hicieron sustitución parcial de harina de trigo por harinas de maíz y papa, confirmando la posibilidad de utilizar estas harinas como sustituto parcial de la harina de trigo, obteniendo un pan de textura suave, agradable y de muy buena aceptabilidad. A su vez Vazquez y col. (2017) evaluarón el efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan, hallando que la suplencia de 10% de harina de trigo con la de avena favoreció el volumen de la masa durante la fermentación y la utilización de harina de maíz o avena al 10% generó un pan más blando que el control. Mientras que Nareman (2016) utilizó harina compuesta de cáscaras de plátano como fuente natural de fibra dietética en la elaboración de panes, descubriendo que los panes

elaborados con un 5% y 10% de harina de cáscara de plátano eran comparables en calidad y aceptabilidad a los elaborados con 100% de harina de trigo. La elaboración de harinas con subproductos promueve la reducción de los desechos y la contaminación en la industria agroalimentaria, minimizando el desperdicio transformando los productos para otros fines industriales (Stahel, 2016), reduciendo el contenido de agua libre, disminuyendo las reacciones químicas y microbiológicas, aumentando la vida útil y seguridad microbiológica del producto. Además, la deshidratación concentra el contenido de antioxidantes y fibra dietética en el producto final (Leao y col., 2017) obteniendo así nuevos productos al final de un proceso industrial (Sherwood y col., 2017) que contienen sustancias bioactivas con un importante valor nutricional, beneficios para la salud humana y valor de mercado (Helkar y col., 2016; Sharma y col., 2016; Martins y Ferreira, 2017). La conversión de productos de base biológica, con un alto valor agregado, se convierte en una atractiva oportunidad de negocio (Lai y col., 2017). Por lo tanto, la mayoría de las industrias en todo el mundo están involucrándose en el desarrollo de protocolos amigables con el medio ambiente que reducen la producción de desechos agroindustriales, transformando nuevos productos alimenticios.

1.3 Estudio reológico en masas.

La comprensión de las propiedades mecánicas de la masa de pan es de gran interés para una producción exitosa y controlada, para deducir su comportamiento durante el procesamiento e investigar las interacciones entre sus componentes (Jekle y Becker, 2011), por lo que el estudio reológico es importante en el diseño de procesos de transformación en alimentos, ya que determina la funcionalidad de los ingredientes para el desarrollo de productos, el control de calidad, vida de anaquel y pruebas sensoriales, principalmente el parámetro de textura, del cual depende la aceptabilidad del consumidor, y comprende características físicas que dependen de los elementos estructurales y se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza y son medidas como una función de masa, tiempo y distancia. Por lo que su evaluación es fundamental en la investigación y desarrollo de nuevos productos (Saavedra, 2017). La calidad del pan, en gran medida, depende de las características de la masa, que se revela como

propiedades reológicas y estructurales (Peighambardoust col., 2010), las cuales son determinadas para establecer un control de calidad en las industrias de panadería y molienda (Jekle y Becker, 2011), debido a que la masa de harina de trigo en la elaboración de pan, muestra un comportamiento viscoelástico, combinando las propiedades de un fluido viscoso y un sólido elástico (Upadhyay y col., 2012), donde la interacción entre las proteínas insolubles del trigo (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010) como la gliadina proporciona elasticidad y la glutenina determina su resitencia, ambas forman una matriz continua que interacciona por enlaces disulfuro, puentes de hidrogeno, entrecruzamientos e interacciones hidrofóbicas para formar una red y los gránulos de almidón actúan como partículas de relleno dentro de esta matriz a través de las fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrogeno que retienen las moléculas de anhídrido carbónico y gases producidos por la acción enzimática de las levaduras que determinan la capacidad de esponjamiento (Bisio, 2016).

Los componentes principales de la harina, como el gluten y el almidón, tienen una gran influencia en las propiedades del producto final, así como la presencia de alveolos, las cuales varían según el tipo de pan, y cambian las propiedades sensoriales del pan. Por lo que las propiedades reológicas de la masa de harina de trigo dependen de los componentes principales de la harina, así como la interacción entre la matriz de proteína, los gránulos de almidón y levaduras que son la base para el desarrollo y retención de gas en la masa. La aireación influye la velocidad de entrada de trabajo que desarrolla la masa y la rotación del aire que suministra oxígeno para facilitar este desarrollo (Upadhyay y col., 2012).

1.4 Pan.

1.4.1 Elaboración de pan.

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae* (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010). Su proceso de elaboración consta principalmente de las siguientes etapas:

Pesado: El pesaje de las materias primas proporciona el conocimiento de las cantidades exactas de los componentes del pan según la formulación a elaborar.

Mezclado: Los componentes del pan deben ser combinados de manera homogénea para lograr una completa incorporación. Los ingredientes sólidos son incorporados, y una vez obtenida una mezcla homogénea el agua es adicionada paulatinamente, dando así la formación del gluten, donde las proteínas insolubles del trigo: gliadinas forman enlaces disulfuro intramoleculares con las gluteninas creando una red viscoelástica que atrapa el CO₂ liberado por la acción enzimática de las levaduras que determinan la capacidad de esponjamiento proporcionando las características típicas de textura del pan de trigo. En este proceso, las gliadinas proporcionan elasticidad y viscosidad a la masa, mientras que las gluteninas proveen resistencia y fuerza a la masa (Bisio, 2016; García-Molina y col., 2019).

Amasado: Consiste en un trabajo físico que permite la mezcla de la harina de trigo con el agua, las proteínas (gliadina y glutenina) en la harina se expanden y forman hebras de gluten, las amilasas comienzan a actuar sobre el almidón, generando azúcares fermentables (mono y disácaridos), que, junto con azúcar añadida, constituyen el sustrato para la acción de las levaduras, que transforman los azúcares en alcohol y CO₂, introduce aire en la masa y desarrolla el gluten. El tiempo de amasado depende de la proporción de los ingredientes, a mayor cantidad de proteínas y agua el amasado requerirá mayor tiempo. En este proceso cambian las propiedades físicas, facilitando la formación de las piezas de pan (Hernández y Majem, 2010).

División: La masa se trocea en porciones de tamaño adecuado al peso de la pieza de pan que se quiere obtener (Hernández y Majem, 2010).

Boleado: Este proceso consiste en dar forma de bola al fragmento de masa para reconstruir la estructura de la masa tras la división, extrayendo el aire y recomponiendo el gluten (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010).

Reposo: La masa debe reposar un tiempo para recuperarse de la desgasificación sufrida durante la división y boleado, puede ser a temperatura ambiente o en cámaras fermentadoras, controlando el tiempo, este dependerá de la dosis de levadura y la temperatura a la que está expuesta (Hernández y Majem, 2010).

Formado: Consiste en dar forma a los trozos de masa, empleando el uso de moldes y técnicas de amasado, cuidando de no desgarrar la masa en el formado ya que eso reduce el volumen del pan. Esta operación está condicionada por la fuerza y la tenacidad de la masa (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010).

Fermentación: Las enzimas (zimasa) de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* desdoblan los monosacáridos contenidos en la masa, mediante una fermentación alcohólica produciendo dióxido de carbono el cual al ser retenido por la masa esponja (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010), siendo responsable del aumento de volumen de la masa, y el etanol colabora en la producción del olor y mejora el sabor (Sciarini y col., 2016) por la producción de aldehídos y cetonas los cuales son encapsulados por el gluten. Este proceso requiere una temperatura entre 28-32°C (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010).

Corte: Consiste en practicar pequeñas incisiones en la superficie de las piezas para permitir el desarrollo del pan durante la cocción. Debe realizarse después de la fermentación, justo en el momento en que el pan va a ser introducido en el horno (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010).

Cocción: Cuando el pan alcanza su punto de fermentación, este es horneado a una temperatura que varía según el tamaño de los panes y el tipo de horno. En este proceso suceden tres fases: La primera fase ocurre cuando las piezas de pan dejan de fermentar hasta que alcanza los 45°C, por lo que sigue produciendo gas carbónico y estas burbujas comienzan a dilatarse por efecto del calor. La segunda fase sucede cuando son formados los alvéolos de la miga y las enzimas amilásicas degradan el almidón en dextrinas y maltosa, responsables de la caramelización de la corteza. A los 70°C, el gluten coagula y el almidón gelatiniza, al mismo tiempo el alcohol es evaporado, lo que causa que la masa levante un poco más por efecto de los vapores producidos y ocurre una refrigeración natural en el interior de la pieza que le impide hervir. Y la tercera fase consiste en la coloración de la corteza por el efecto de las dextrinas que se localizan en la superficie del producto. Una vez finalizada la cocción, las piezas de pan deben dejarse enfriar, para evitar la condensación de agua sobre la corteza, lo que la podría ablandar, perdiendo su poder crujiente y favorecer la aparición de microorganismos (Hernández y Majem, 2010).

1.4.2 Tipos de pan.

De acuerdo al porcentaje de agua son distinguidos dos tipos de pan:

1. Pan común: elaborado con harina de trigo, sal, levadura y agua, al cual pueden añadir ciertos aditivos y coadyuvantes tecnológicos. Dentro de este tipo de pan están: el pan de miga dura, el cual es elaborado con cilindros refinadores y el pan de miga blanda, es el obtenido con una mayor proporción de agua y no requiere del uso de cilindros refinadores en su elaboración.

2. Pan especial: puede incorporar algún aditivo o coadyuvante especial, como el tipo de harina u otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasas, cacao, etc.). Ejemplos de este son: el pan integral el cual utiliza harina obtenida por trituración del grano completo, pan de Viena o pan francés que entre sus ingredientes incluye azúcares, leche o ambos a la vez, pan de molde o americano utiliza moldes y es de corteza blanda, el pan de cereales que son elaborados con harina de trigo más otra harina en proporción no inferior al 51%, reciben el nombre del cereal añadido. Ejemplo: pan de centeno, pan de maíz, entre otros. Y el pan con materia prima añadida al cual le pueden agregar huevo, leche, miel, pasas o demás ingredientes, recibe su nombre de la materia prima añadida. Ejemplo: pan con pasas (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010; Hernández y Majem, 2010).

En la actualidad los productos de panadería como el pan blanco, pan de caja y pan dulce forman parte de la canasta básica (Secretaría de Economía, 2019) por su bajo costo y fácil disponibilidad (Hernández y col., 2016). De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA), el consumo per cápita anual de pan en México es de 33.5 kgs, de los cuales entre el 70% y 75% corresponde a pan blanco y el 3% al pan integral (Secretaría de Economía, 2019).

1.4.3 Valor nutricional del pan.

El pan es un alimento nutricionalmente balanceado, debido a que contiene una gran cantidad de los nutrientes esenciales que necesita el organismo, como los hidratos de carbono, proteínas, vitaminas A, B₁, B₂, niacina, ácido fólico y minerales como el calcio, magnesio, fósforo, yodo, hierro y zinc (Hernández y Majem, 2010; Sciarini y col., 2016). De acuerdo con García-Villanova y Guerra-Hernández (2010) el pan es un alimento energético que proporciona de 244 a 285 kcal/100g, dependiendo del

tipo de pan. Los panes de miga dura serán más energéticos que los panes de miga blanda, debido al diferente contenido de agua. El componente mayoritario es el almidón, contiene de 7-10% de proteínas, dependiendo del tipo de harina utilizada. La proteína de trigo es de baja calidad, debido a que es deficiente en el aminoácido esencial lisina. En cuanto al contenido de grasa este varía dependiendo del tipo de pan elaborado puede ir del 1 al 5%, con un 80% de contenido de ácidos grasos insaturados. El contenido de calcio es inferior a 25mg/100g, y hierro con 1.5 mg/100g. La cantidad de sal adicionada suele proporcionar un contenido de sodio superior a 500mg/100g. En cuanto a las vitaminas hidrosolubles de tiamina aporta un 0.06-1.12mg/100g, de riboflavina de 0.03-0.06mg/100g y niacina 0.51mg/100g. La presencia de leche puede aumentar los niveles de riboflavina y calcio. La concentración media de fibra es de 2.5% para los panes normales y 4.3% para panes de molde o integrales. Hoy en día los consumidores son muy conscientes de la salud, por lo que demandan pan más saludable y nutritivo enriquecido con fibra (Ghoshal y col., 2017). Lo que ha llevado a esfuerzos considerables para desarrollar panes que combinen beneficios para la salud con buenas propiedades sensoriales. El alto contenido de fibra dietética tiene un importante efecto en la promoción de la salud (Rieder y col., 2012). De acuerdo con la “Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005” la fibra dietética es la parte de las plantas que son resistentes a la digestión y la absorción en el intestino delgado humano, comprende células comestibles de las plantas (tejido parenquimático) que son resistentes a las enzimas digestivas del hombre (pepsina, renina gástrica y lipasa gástrica), entre sus constituyentes se distinguen: estructura de las paredes celulares de los vegetales, compuestos por celulosa, hemicelulosas, pectinas y lignina, así como materiales no estructurales (gomos, mucilagos, polisacáridos de algas y celulosa modificada) y que sufren una fermentación total o parcial en el intestino (Tapia, 2005). La fibra dietética se clasifica en dos categorías según su solubilidad en agua, como fibra dietética soluble (FDS) que comprende β -glucano y arabinoxilano que forman soluciones viscosas, aumentando la viscosidad en el intestino disminuyendo la velocidad del tránsito intestinal, retrasando el vaciamiento gástrico y retardando la absorción de glucosa y esteroles por el intestino, disminuyendo colesterol sérico, glucemia posprandial y niveles de insulina. Mientras que la fibra dietética insoluble

(FDI) la comprende lignina, celulosa y hemicelulosas, tienen alta capacidad de retención de agua que contribuye a aumentar el volumen fecal. La fibra derivada de frutas y vegetales tiene una importante proporción de fibra soluble y la derivada de cereales, una mayor proporción de fibra insoluble (Belghith y col., 2016). La fibra es un elemento importante dentro de una alimentación equilibrada, por sus características fisiológicas y múltiples efectos a nivel del tránsito digestivo (Sánchez y col., 2015). Estudios científicos indican que las dietas altas en fibra promueven la pérdida de peso, tiene un papel importante en la fisiopatología, prevención y tratamiento de múltiples enfermedades (Sánchez y col., 2015), por lo que un bajo consumo de fibra afecta al colon, produciendo constipación, diverticulosis, hemorroides, cáncer colorectal, así como desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (obesidad, diabetes y enfermedad cardiovascular) (Gutierrez y col., 2012). De acuerdo con el Comité de Expertos FAO/OMS, se estima que el consumo diario de fibra dietética en el mundo va desde 14g/día hasta 29 g/día, por lo que el consumo de fibra es inferior a la cantidad recomendada que necesita nuestro organismo para una buena salud. Las recomendaciones actuales de fibra en adultos oscilan entre 20 a 30g/día y en los niños de 2 a 18 años, se recomienda el consumo de la cantidad que resulte de sumar 5g/día a su edad. Se consideran fuentes de fibra dietética a los cereales integrales, verduras y frutas (de preferencia crudas y con cáscara) (García-Villanova y Guerra-Hernández, 2010). El pan blanco de caja es el producto de panificación con mayor consumo, por lo que para cubrir el requerimiento de fibra dietética con este alimento, es necesario, su enriquecimiento con fibra dietética, industrialmente estos productos son enriquecidos con salvado de trigo, avena, cebada, arroz, maíz y bagazo de caña. Aparte de los efectos beneficiosos en la salud, en la industria alimentaria se utiliza la fibra dietética como aditivo, debido a que presenta propiedades fisicoquímicas significativas, como la absorción de agua, capacidad de hinchamiento, retención de aceite, aumento de la viscosidad, de volumen y fermentabilidad, que son esenciales para la producción de una gran variedad de formulaciones y productos alimenticios (Leao y col., 2017), en productos horneados puede incorporarse como sustituto de harina, azúcar o grasa (Karp y col., 2017). Actualmente la fibra dietética es considerada un ingrediente indispensable en productos alimenticios en panadería, bebidas, carnes,

confitería, lácteos y pastas. Con mayor frecuencia, se incorporan para prolongar la frescura debido a su capacidad para retener agua, modificar la hogaza de pan, volumen, elasticidad, firmeza y suavidad de la miga de pan (Belghith y col., 2016). Por lo que, en los últimos años, ha habido un gran interés en el hallazgo de nuevas fuentes de fibra dietética para ser utilizado como ingrediente en formulaciones y productos alimenticios a partir de subproductos de alimentos ricos en antioxidantes (Leao y col., 2017).

1.4.4. Evaluación de las características del pan blanco de caja.

La utilización de nuevas materias primas en la industria de panificación, afecta las características del producto en apariencia física (tamaño, número, distribución de los alvéolos en las migas y el color), propiedades químicas, sensoriales, texturales y reológicas (Vega y col., 2015). Por lo que durante la utilización de materias primas no convencionales es necesario evaluar estas características en el producto final. En este sentido, diversos autores han determinado estas propiedades en el pan blanco de caja en función de las materias primas utilizadas, realizando pruebas químicas (Pascual y Zapata, 2010) con las cuales se determina la naturaleza de los alimentos, procesamiento y mejora de los alimentos para el consumidor (Chacha, 2016), contenido de fenoles totales y actividad antioxidante (Delgado-Andrade y col., 2010; Chlopicka y col., 2012; Martínez y col., 2012; Abosbora y col., 2016; Ummi y col., 2018) así como pruebas cuantitativas de determinación del color (Alvarez-Jubete y col., 2010; Peñaloza-Espinoza y col., 2017; Karp y col., 2017; Conte y col., 2018), volumen y densidad específica (Rieder y col., 2012; Le Bleis y col., 2015; Karp y col., 2017), actividad de agua (Hernández y col., 2016) y otras investigaciones en esta misma dirección evalúan microscopía confocal de barrido laser (CLSM) (Jekle y Becker 2011; Upadhyay y col., 2012) para visualizar internamente la estructura e interacción entre los principales componentes que integran el pan blanco de caja, mediante microscopía, obteniendo imágenes con mayor resolución, contraste y nitidez (Peighambardoust y col., 2010).

2 JUSTIFICACIÓN

El cacao es un fruto originario de México, del cual las semillas son exportadas para ser utilizadas en la elaboración del chocolate, dejando las cáscaras del fruto en los campos de cultivo, donde se degradan causando mal olor y proliferación de plagas, las cuales contaminan los cultivos sanos, causando pérdidas económicas a los productores, así como contaminación ambiental. Diversas investigaciones han encontrado que estos productos de desecho son buena fuente de fibra y antioxidantes, sin embargo, no se han planteado posibles usos en la industria alimentaria. El pan blanco de caja es un alimento versátil y básico en la alimentación de la población mexicana, por lo que podría utilizarse como vehículo de compuestos bioactivos (fibra y antioxidantes), los cuales influyen en el comportamiento reológico del mismo, afectando la textura del producto, el cual es uno de los aspectos organolépticos más significativo para los consumidores. Debido al creciente desabasto de trigo en la industria de la panificación, se están utilizando sustitución de harina de trigo por harina de diferentes cereales, leguminosas y cáscaras de ciertos frutos. Esto hace de la cáscara de vaina de cacao, una opción para sustituir harina en la industria de panificación, enriquecer nutricionalmente el producto y disminuir el impacto sobre el medio ambiente. Por lo que el presente trabajo de investigación propone el uso de la cáscara de vaina del cacao en la sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao, para obtener mezclas de harinas que generen masas con características reológicas adecuadas para obtener pan blanco de caja sensorialmente aceptable.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao sobre las propiedades reológicas, fisicoquímicas y sensoriales del pan blanco de caja para proponer su uso en la industria panificadora.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.Determinar las características morfométricas, análisis químico proximal y capacidad antioxidante en la harina de cáscara de vaina de cacao, para evaluar su viabilidad como materia prima en la elaboración de pan blanco de caja.

2.Realizar pruebas reológicas de masas de harina de trigo con sustitución de harina de cáscara de vaina de cacao por medio de extensibilidad uniaxial, biaxial y análisis de perfil de textura, para determinar su calidad panadera.

3.Estimar las propiedades morfométricas, análisis químico proximal, capacidad antioxidante, análisis de perfil de textura y sensorial en el pan blanco de caja con sustitución de harina de cáscara de vaina de cacao para valorar su posibilidad de uso en la industria de la panificación.

4 HIPOTESIS

La adición de harina de cáscara de vaina de cacao (*Theobroma cacao L.*), mejora las características fisicoquímicas, organolépticas y nutricionales del pan blanco de caja.

5 METODOLOGÍA

5.1 Obtención de materia prima.

La cáscara de vaina de cacao, fue adquirida en la ranchería Gregorio Méndez, del municipio de Jalpa de Méndez, en el estado de Tabasco, cuyas coordenadas son: latitud: 18°.15'12'', longitud: 93°.15'56''. La harina de trigo utilizada en este trabajo de investigación fue de la marca "Hoja de plata Elizondo", obtenida de la compra directa en la fábrica Harinas Elizondo, con dirección: Ferrocarril de Cuernavaca, no. 887, colonia Irrigación, ciudad de México, México.

5.2 Elaboración de la harina de cáscara de vaina de cacao.

La cáscara de vaina de cacao fue lavada con agua potable y jabón, posteriormente se cortó longitudinalmente para obtener hojas delgadas, las cuales fueron secadas en un horno marca (LUMISTELL) a 60°C, durante 12 h, posteriormente fue molida en un pulverizador marca (GRINDER HC-2000Y2) y pasada por un tamiz de malla de harina número 8 doble X, con un diámetro de 203mm.

El rendimiento de la harina de cáscara de vaina de cacao, fue expresado como la cantidad de harina obtenida en función de la cantidad de fruto utilizado, mediante la siguiente expresión (García y col., 2012).

$$\% \text{ rendimiento de harina} = \frac{\text{peso de la harina}}{\text{peso de la cáscara}} \times 100$$

5.3 Elaboración de masas y pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao.

Las formulaciones para la elaboración de las masas y pan blanco de caja, fueron establecidas con diferentes porcentajes de sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao (Tabla 1).

Tabla 1. Formulación de masas y pan blanco de caja elaborado con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Formulación (%)		
	Harina de Cáscara de Vaina de Cacao	Harina de Trigo
Control	0%	100%
A	5%	95%
B	10%	90%
C	15%	85%
D	20%	80%
E	25%	75%

La elaboración de las masas utilizadas para la evaluación reologica fue diferente para cada prueba, en el caso de extensibilidad uniaxial, estas se realizaron con 9g de harina y 5mL de agua destilada. En cuanto al análisis de perfil de textura la preparación de la masa consistió en 25g de harina con 16mL de agua destilada y para la determinación de extensibilidad biaxial, se utilizarón 200g de harina con 121mL de agua salina al 2.5%. Cada formulación de harina, sustituyo porcentualmente harina de trigo por harina de cáscara de vaina, de acuerdo con la Tabla 1.

5.4 Análisis químico proximal de la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

La composición químico proximal fue realizada en la harina de cáscara de vaina de cacao, harina de trigo y las seis formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao se determinaron humedad (925.10), cenizas (923.03), grasa por Soxhlet (920.85), proteína por Kjeldahl (951.03) y fibra cruda (985.29); de acuerdo con los métodos reportados por la A.O.A.C. (1995). Mientras que los carbohidratos fueron calculados por diferencia. Estos análisis se realizaron por triplicado.

5.4.1 Determinación de humedad en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

La humedad de la harina de cáscara de vaina de cacao y del pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao fue determinada pesando 10g de cada muestra en una cápsula de aluminio previamente tarada y a peso constante, la cual fue colocada en una estufa de aire marca FELISA, modelo 242A, a una temperatura de 100°C por 24h. Después de este tiempo la muestra fue colocada en un desecador hasta enfriar a temperatura ambiente, para después pesar la cápsula con el producto seco. Utilizando la siguiente fórmula (A.O.A.C., 1995).

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{W1 - W2}{w} \times 100$$

Peso del crisol más muestra húmeda (W1)

Peso del crisol más muestra seca (W2)

Peso de la muestra (W)

5.4.2 Determinación de cenizas en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

En un crisol a peso constante, fueron pesados 5g de la harina de cáscara de vaina de cacao, así como del pan blanco de caja [con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao], los cuales fueron calcinados con fuego directo, para después colocar el crisol con la muestra calcinada en una mufla modelo FE-36 marca FELISA, a temperatura de 600°C por 3h., transcurrido el tiempo el crisol fue puesto en un desecador hasta enfriar a temperatura ambiente y fue pesado, para determinar las cenizas por diferencia de peso. Utilizando la siguiente fórmula (A.O.A.C., 1995).

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{W1 - W2}{W} 100$$

Peso del crisol con muestra calcinada (W1)

Peso del crisol solo (W2)

Peso de la muestra (W)

5.4.3 Determinación de grasa en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

La determinación de grasa fue realizada mediante extracción por método Goldfish, modelo E-812/E-816 HE. El cual consistió en colocar los vasos Büchi a peso constante. Fue colocada la muestra libre de humedad dentro de un cartucho de celulosa. La extracción fue realizada con éter de petróleo. Fue programado el extractor con 2:30min para la extracción, 30min. de lavado y 30min. de secado. Pasado este tiempo, los vasos Büchi fueron retirados del extractor y se dejaron enfriar hasta tomar el peso para determinar grasa por diferencia de peso, de acuerdo con el método 920.39. Utilizando la siguiente fórmula (A.O.A.C., 1995).

$$\% \text{ de grasa cruda} = \left[\frac{W1 - W2}{W} \right] 100$$

Peso de matraz con grasa (W1)

Peso del matraz sólo (W2)

Peso de la muestra (W)

5.4.4 Determinación de proteínas en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

El análisis del contenido de proteína fue realizado por el método Kjeldhal, 929.87 (A.O.A.C., 1995). El cual consistió en pesar 1g de harina de cáscara de vaina de cacao, así como del pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, envuelta en papel libre de nitrógeno y colocarla en el tubo Kjeldhal, se adicionaron 5g de mezcla digestora (200g Sulfato de potasio y 20g de sulfato cúprico pentahidratado) y 15mL de ácido sulfúrico concentrado. Se digirió la muestra en el digestor. Terminada la digestión, los tubos Kjeldhal fueron colocados en el destilador Büchi, el destilado se obtuvo en un matraz Erlenmeyer con 50mL de ácido bórico al 2% y 2 gotas de rojo de metilo por 5min. Pasado este proceso se procedió a titular cada matraz Erlenmeyer con solución de ácido sulfúrico 0.1N hasta el vire. Utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de N} = \frac{(mL \text{ problema} - mL \text{ blanco})(meq.N)(Normalidad \text{ del ácido sulfúrico})}{\text{peso real de la muestra}} \times 100$$

El valor obtenido en la fórmula anterior, se multiplica con el factor (6.25), para obtener el porcentaje de proteína.

5.4.5 Determinación de fibra en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

Dentro de los vasos Berzelius fue añadida la muestra sin humedad y sin grasa, de harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, con 200ml de ácido sulfúrico 0.255N caliente, la cual fue colocada en el equipo de determinación de fibra marca LABCONCO modelo LAC300001-00 a ebullición por 30min. Pasado este tiempo, la muestra fue colocada en embudos de tallo largo y fue filtrada en tela aplicando lavados con agua destilada, hasta un pH neutro. Una vez filtrada, la muestra fue colocada en el equipo de determinación de fibra a ebullición por 30min, los cuales contenían la muestra con 200mL de hidróxido de sodio caliente. Después de filtrar se agregaron 25mL de ácido sulfúrico 0.013N caliente, 150mL de agua destilada y 25mL de alcohol etílico, la muestra fue colocada dentro de un crisol de porcelana, previamente a peso contante. El cual fue llevado al horno de secado marca FELISA modelo 242A por 2h a una temperatura de 130°C, posteriormente los crisoles fueron colocados en una mufla marca FELISA, modelo FE-36 a 600°C por 30min., método 962.09. Utilizando la siguiente fórmula (A.O.A.C., 1995).

$$\% \text{ de Fibra cruda} = \frac{\text{peso crisol con muestra seca} - \text{eso crisol con muestra calcinada}}{\text{peso real de la muestra}} \times 100$$

5.5.1 Contenido de fenoles totales en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

El contenido de fenoles totales fue determinado mediante la técnica colorimétrica de Folin-Ciocalteu, de acuerdo con la metodología descrita por Ondo y Ryu (2013). Para las muestras de harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, fueron pesados 1g de cada

muestra en tubos falcón y se añadieron 10mL de agua destilada, después se agitaron en un vórtex marca Barnstead Thermolyne modelo M37615 y centrifugados en una centrifuga ThermoFisher SCIENTIFIC. Posteriormente se tomó una alícuota del sobrenadante de 1.58mL (1580 μ L) y se colocaron en tubos de ensayo con 100 μ L de reactivo Folin-Ciocalteu, los tubos fueron agitados para mezclar bien y reposaron por 8min para después añadir 300 μ L de solución de carbonato y agitar hasta homogeneizar. Se dejaron reposar por 15min a 50°C fue medida la absorbancia de cada solución a 765nm, Los resultados fueron expresados como mg de ácido gálico por g de materia seca, haciendo mediciones por triplicado.

5.5.2 Determinación de capacidad antioxidante por DPPH, EC₅₀ en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

La evaluación de actividad antioxidante mediante el radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), siguió la técnica descrita por Brand-Williams y col. (1995). Consistió en la preparación de una solución madre, disolviendo 3.943mg de DPPH con 100mL de metanol al 80%. De las muestras de harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, se pesaron 2g de cada muestra en tubos eppendorf y se añadieron 1.8mL de agua destilada, después fueron agitados en un vórtex marca Barnstead Thermolyne modelo M37615 y centrifugados en una centrifuga ThermoFisher SCIENTIFIC. Posteriormente fueron tomados una alícuota del sobrenadante de 50 μ L y se colocaron en tubos de ensayo con 1.95mL de solución de metanol DPPH (0.1mM). La absorbancia fue monitoreada durante una hora en intervalos de 10min. a 517nm. Cada ensayo fue realizado por triplicado. Los resultados son expresados en g de muestra/g DPPH.

5.5.3 Capacidad antioxidante por FRAP en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

El análisis de FRAP se basa en el poder reductor de un antioxidante que reduce el ion férrico (Fe³⁺) al ion ferroso (Fe²⁺); formando un complejo azul, esta técnica fue

descrita por Benzie y Strain (1996). En la cual es necesario la realización de seis soluciones previas para la elaboración de la solución madre de FRAP, las cuales consistieron en metanol al 80%, ácido clorhídrico a 40mM, TPTZ (2,4,6-tripiridyl-5-triazine), FeCl₃ 20mM, buffer de acetato con pH de 3.6 y Trolox 400mM. Para la preparación de solución FRAP se tomaron 2.5mL de TPTZ, más 2.5mL de FeCl₃, con 25mL de buffer de acetato. Preparando una solución de FRAP para cada ensayo. Para las muestras se pesó 1g de cada muestra en tubos eppendorf y se añadieron 1.9mL de agua destilada, después fueron agitados en un vórtex marca Barnstead Thermolyne modelo M37615 y centrifugados en una centrifuga ThermoFisher SCIENTIFIC. Posteriormente se tomó una alícuota del sobrenadante de 100µL, a los cuales se les añadió 300µL de agua destilada y 3 mL de la solución de FRAP en tubos de ensayo, los cuales fueron agitados hasta homogenizar y reposaron en condiciones de oscuridad en baño María a 37°C. Tras reaccionar por 30min. fue medida la absorbancia de cada solución a 593nm, realizando tres repeticiones por cada muestra. Los resultados son expresados en µmol de Trolox por g de muestra seca.

5.5.4 Capacidad antioxidante por el radical ABTS⁺ en la harina de cáscara de vaina de cacao y pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

La determinación de actividad antioxidante por inhibición del radical 2,2-Azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) ABTS, fue realizada con la metodología descrita por Siddhuraju y Becker (2007). La cual inicia con la realización de una solución de 0.0776g de ABTS diluido en 20mL de agua destilada, más la adición de 0.0132g de persulfato de potasio en un envase cubierto con papel aluminio y se dejó reaccionar durante 12 a 16h a temperatura ambiente en la oscuridad. Después se diluyó la solución mezclando de 550µL de solución de ABTS con 49.9mL de etanol para obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.02 (0.702-0.698) a 732nm. Preparando una solución ABTS para cada ensayo. Para las muestras se pesó 1g de cada muestra en tubos eppendorf y se añadió 1.9mL de agua destilada, después fueron agitados en un vórtex marca Barnstead Thermolyne modelo M37615 y centrifugados en una centrifuga ThermoFisher SCIENTIFIC. Posteriormente fueron tomados una alícuota

del sobrenadante de 50 μ L y colocaron dentro de tubos de ensayo, añadiendo 1450 μ L de la solución de ABTS, los tubos fueron agitados para homogenizar y reposaron por 30min. en condiciones de oscuridad. Una vez pasado este tiempo de reacción. Fue medida la absorbancia de cada solución a 732nm. Realizando tres repeticiones por cada muestra. Los resultados son expresados en μ mol de Trolox por g de muestra seca.

5.6.1 Prueba de extensibilidad uniaxial en formulaciones de masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La extensibilidad en masas fue realizada con el Analizador de Textura Brookfield CT3. Las formulaciones de masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao fueron colocadas en la prensa Kieffer por un periodo de 30min, pasado este tiempo, la masa fue retirada cuidadosamente de la plancha, para evitar su fractura. Cada porción de masa fue colocada sobre la placa Kieffer para ser elongada mediante la sonda TA53, moviéndose a velocidad constante de 0.5mm/s hasta lograr su rompimiento, de acuerdo con el método reportado 54-10.01 (A.A.C.C.,1995).

5.6.2 Análisis de perfil de textura en formulaciones de masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La textura de las masas fue determinada en el Analizador de Textura Brookfield CT3, el cual consistió en comprimir dos veces consecutivas la masa sobre la base TA-BT-KIT, con un embolo de acrílico de 36mm diámetro (Sonda: TA3/1000); empleando una celda de carga de 4.5kg, con una velocidad de 0.5mm/s, con un 20% de deformación y reposo de cinco segundos entre cada compresión (Guadarrama-Lezama col., 2016).

5.6.3 Determinación de extensibilidad biaxial en formulaciones de masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La prueba de extensibilidad biaxial en masas por Dough Inflation System, mediante el equipo Dobraszczyk/Roberts Dough Inflation System (Modelo DR), tiene el objetivo de medir la resistencia de la masa a extenderse simulando la deformación

de la masa cuando es sujeta al dióxido de carbono durante la fermentación. Para su determinación la masa, fue situada sobre la tabla de preparación y extendió con un rodillo, hasta obtener el grosor de 8mm. Procedió a cortar piezas con ayuda del cortador y a tomar las piezas cortadas con ayuda de una espátula de metal, para introducirlas en el retenedor de metal previamente engrasado con aceite mineral. Sobre este fue colocado el anillo de metal, el cual fue prensado por 30s. Cada retenedor con muestra fue apilado debajo del anterior. El primer retenedor fue cubierto con la tapa de acrílico propia del kit y reposaron por 30min. Posteriormente fueron situados uno por uno en la plataforma de inflado, donde se inyectó aire a presión constante, de acuerdo con el método reportado 54-30.02 (A.A.C.C., 1995).

5.7 Elaboración de formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Para la elaboración del pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, fueron realizadas las seis formulaciones presentadas en la Tabla 1. Para lo cual fueron pesados los ingredientes que conforman la mezcla (250g total de harina, 160mL de agua, 4.5g de levadura, 2g de sal, 1g de azúcar, 5g de grasa vegetal y 2g de leche en polvo) (Güemes, 2004), incorporando de forma homogénea, la masa reposó cubierta con papel film en la fermentadora a 40°C por 30min. Posteriormente la masa fue dividida y puesta dentro de moldes para pan previamente engrasados e ingresados nuevamente a la fermentadora a 40°C por 30min. Finalmente, los moldes fueron introducidos al horno a 180°C por un lapso de 30min.

Para los ensayos reológicos, determinación de color, volumen específico, densidad específica, actividad de agua y análisis de imagen de la miga, fueron elaborados panes con moldes para pan con las siguientes medidas: 7cm de largo, 4cm de ancho y 3cm de alto.

En cuanto a la evaluación sensorial, fueron elaboradas las formulaciones control y las dos mejores sustituciones determinadas por las pruebas reológicas, las cuales comprenden la sustitución de 5 y 10%. Las masas fueron colocadas en moldes convencionales para pan de caja.

5.8.1 Análisis de perfil de textura en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La textura del pan fue determinada con el Analizador de Textura Brookfield CT3, colocando la pieza de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao sobre la base TA-BT-KIT, comprimiendo dos veces consecutivas, con un embolo de acero inoxidable de 36mm diámetro (sonda: TA-AACC36), empleando una celda de carga de 4.5 kg. con un 20% de deformación y reposo de 5s. entre cada compresión, de acuerdo con el método reportado 74-10.02 (A.A.C.C., 1995).

5.8.2 Color del pan y miga en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

El color del pan blanco de caja fue determinado colocando el colorímetro Minolta CM-508d sobre la corteza del mismo. Mientras que el color de la miga consistió cortar el pan blanco de caja de forma transversal, obteniendo dos partes, a las cuales se colocó el colorímetro sobre estas. Los datos obtenidos fueron interpretados con el gráfico del sistema internacional CIELab, el cual considera las desviaciones entre de luminosidad entre blanco y negro (L^*), el enrojecimiento entre rojo a verde (a^*) y de amarillo a azul (b^*). Tomando tres tomas de la parte superior del pan, contemplando el extremo izquierdo, centro y extremo derecho (López-Palestina col., 2016).

5.8.3 Volumen y densidad específica en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Para la determinación del volumen fue empleado el método de desplazamiento de semillas de mostaza Método 10-05 (A.A.C.C., 2000). El cual consistió en llenar una probeta graduada de 2000mL con las semillas de mostaza, retirar un poco de estas y colocarlas en un tazón, después se introdujo cada muestra de pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao y se rellenó la probeta de hasta volver a la marca de 2000mL. Después fueron medidas y pesadas las semillas restantes con una probeta graduada de 100mL. El cálculo fue obtenido mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Volumen específico} = \frac{\text{volumen cm}^3}{\text{peso g}}$$

$$\text{Densidad específica} = \frac{\text{peso g}}{\text{volumen cm}^3}$$

5.8.4 Actividad de agua (a_w) en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La determinación de actividad de agua en las muestras de pan blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, fue realizada con el equipo HygroPalm AW-1, el cual es un instrumento que mide el cambio de impedancia eléctrica producida por el cambio en la humedad relativa de una cámara en la que se encuentra la muestra (Budryn y col., 2013). Este consistió en cortar cada pieza de pan a la mitad y desmoronar con los dedos, tomando miga y corteza de la muestra, colocándolas en las charolas propias del equipo, hasta tomar la lectura dada por el equipo. Esta prueba fue realizada por triplicado.

5.9.1 Prueba de microscopía de fuerza atómica (AFM) en harina de cáscara de vaina de cacao.

El microscopio de fuerza atómica proporciona imágenes tridimensionales de superficies con alta resolución espacial en tiempo real, obteniendo imágenes con resolución de nanómetros, que permiten cuantificar la profundidad y morfología de las muestras (Giraldo y Robledo, 2015). Para determinar las propiedades morfológicas de la harina de cáscara de vaina de cacao, la muestra fue adherida a una placa de vidrio, retirando el excedente, la muestra fue posicionada en el microscopio de fuerza atómica, modelo (Multimondo V.Veeco). El análisis de imagen fue realizado con el software Gwyddion versión 2.5 (Marín-Bustamante y col., 2018).

5.9.2 Microscopía confocal de barrido laser (CLSM) en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Para conocer los principales componentes e interacciones entre proteína y fibra contenidas en las formulaciones de pan de caja (Tabla 1), las muestras fueron

observadas en un microscopio confocal de barrido laser LMS 710. La preparación de estas consistió en el uso de tres fluorocromos: Rodamina a concentración de 0.1 la cual tiene fijación a proteínas, tiñendo la muestra en color rojo, Fit C (Isotiocianato de fluoresceína) a concentración de 0.1. la cual tiene fijación a carbohidratos (almidón), pintando la muestra en color verde (Peighambardoust y col., 2010) y Calcufluor con fijación a la fibra, pintando la muestra en color azul. Realizando un lavado con agua destilada entre cada fluorocromo. A las rebanadas centrales del pan les fue añadido heparina, la cual inhibe la autofluorescencia, tras reposar 15min. para después añadir con un gotero Rodamina, dejando actuar por 3min. agregar Fit C dejando actuar por 6min. lavar con agua destilada y por último añadir Calcufluor, dejando actuar por 5min. Por último, la muestra fue colocada sobre un portaobjetos y posicionada en el microscopio confocal de barrido laser (Marín-Bustamante y col., 2018).

5.9.3 Análisis de imagen de la miga en formulaciones de pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La calidad de la miga, fue evaluada a través de la cantidad de alveolos, mediante análisis de imagen, para lo cual cada miga de pan de blanco de caja con sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao fue escaneada (HP Office Jet Pro 8710) en formato TIF a 600dpi (puntos por pulgada) e ingresadas al software Digimizer Image Analysis 5.3.5 (Totosaus y col., 2013), determinando la estructura de la miga, mediante la caracterización de la fase dispersa (alveolos de aire) respecto a la fase sólida (Espino, 2015).

5.10 Evaluación sensorial en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

El pan blanco de caja control, sustitución con 5 y 10% fueron evaluados mediante el formato de la (Figura 1), las cuales fueron elegidas de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos reológicos de: extensibilidad uniaxial, biaxial y análisis de perfil de textura. Aplicando una prueba de nivel de grado de satisfacción, con una escala hedónica de 5 puntos (un punto a "me disgusta mucho" y cinco puntos para el "me gusta mucho") utilizando un grupo de 130 jueces consumidores, las muestras

fueron presentadas de manera aleatoria y codificadas con números de 3 dígitos (Anzaldúa , 2005).

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Maestría en Ciencia de los Alimentos 

edad: _____ años sexo: F M

INSTRUCCIONES

Frente a usted se presentan tres muestras de pan Blanco, pruebe cada una de ellas de izquierda a derecha e indique que tanto le agrada o desagrada el pan, marcando con una X sobre la opción que mejor refleje su opinión.

Nota: recuerde tomar agua entre cada muestra.

	MUESTRA		
	628	474	750
Me gusta mucho			
Me gusta moderadamente			
No me gusta ni me disgusta			
Me disgusta moderadamente			
Me disgusta mucho			

¡Gracias por su colaboración!

Figura 1. Formato de evaluación sensorial.

6 Análisis estadístico.

El diseño experimental realizado fue completamente al azar. Los datos recopilados para propiedades fisicoquímicas, capacidad antioxidante y evaluación sensorial fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), considerando diferencias significativas a $p < 0.05$. Al encontrar estas diferencias fue empleado la prueba de comparación de medias de Tukey, con el paquete estadístico SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Los gráficos fueron realizados con Microsoft Excel 2016.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Rendimiento de la harina de cáscara de vaina de cacao.

La harina de cáscara de vaina de cacao obtenida, presentó un porcentaje de rendimiento del 29.08%, esto quiere decir que de cada 100kg de cáscara de vaina de cacao, se obtienen 29kg de harina de cáscara de vaina de cacao. El cual es menor al reportado por Villamizar y col. (2017), quienes caracterizaron una harina con cáscara de vaina de cacao, con el mismo método de secado por aire caliente, reportando un rendimiento del 37%. Perilla (2010) concluye en su estudio de investigación de obtención de fibra a partir de cáscara de cacao tostado, que se puede obtener un rendimiento del 60%, mediante la concentración con ácido cítrico, la cual podría ser una opción para aumentar el rendimiento de esta harina y ser aprovechada industrialmente, alcanzando un rendimiento similar al de la harina de trigo (65,5%), reportado por De la Horra y col. (2012), con lo cual se disminuiría el impacto ambiental, al aprovechar este producto de desecho en la industria alimentaria. El motivo por el cual el rendimiento obtenido en este estudio de investigación fue menor al reportado por Villamizar y col. (2017), podría deberse a que la cáscara de vaina de cacao en esta investigación pudo ser sometido a un mayor tiempo de secado que el utilizado por Villamizar y col. (2017), reduciendo significativamente su tamaño y por ende un menor rendimiento.

7.2 Análisis químico proximal en la harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo.

Los resultados obtenidos del análisis químico proximal de la harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo se muestran en la Tabla 2, mostrando que la harina de trigo presentó mayor contenido de humedad (10.62%), mientras que la harina de cáscara de vaina de cacao contiene mayor cantidad de cenizas (8.41%), el contenido de grasa fue mayor en la harina de trigo, que la harina de cáscara de vaina de cacao (1.33%), en cuanto a la proteína, esta fue mayor en la harina de trigo (12.61%), la cantidad de fibra cruda fue mayor en la harina de cáscara de vaina de cacao (26.75%) y finalmente el contenido de carbohidratos fue mayor en la harina de trigo (74.60%). La harina de cáscara de vaina de cacao mostro diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los parámetros.

Tabla 2. Análisis químico proximal en harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo.

Análisis	Harina de cáscara de vaina de cacao %	Harina de trigo %
Humedad	6.26 ± 0.12 ^b	10.62 ± 0.00 ^a
Cenizas	8.41 ± 0.06 ^a	0.78 ± 0.02 ^b
Grasa	0.69 ± 0.02 ^b	1.33 ± 0.03 ^a
Proteína	5.27 ± 0.06 ^b	12.61 ± 0.12 ^a
Fibra Cruda	26.75 ± 0.21 ^a	0.05 ± 0.02 ^b
Carbohidratos	52.61 ± 0.02 ^b	74.60 ± 0.21 ^a

Los valores representan la media y desviación estándar, los superíndices ^{a,b} en la misma fila, representan diferencias significativas (P<0.05).

La composición química de la harina de cáscara de cacao ha sido evaluada por diversos autores: Martínez y col. (2012) caracterizaron harina con las tres partes de cáscaras del fruto de cacao, por el mismo método de secado de aire caliente que esta investigación, reportando en la harina de cáscara de vaina de cacao un porcentaje de humedad y contenido de cenizas similares a lo reportado en esta investigación. Mientras que el porcentaje de proteína y fibra son similares a los encontrados por Villamizar y col. (2016) quienes caracterizaron harina con cáscara de vaina de cacao por dos métodos de secado, con lo que el porcentaje de grasa obtenido en este estudio es igual al reportado por el método de secado al sol y menor al secado por charolas, esto puede depender del método de obtención de grasa utilizado, el cual no está descrito en la investigación de Villamizar y col., mientras que en esta investigación la técnica aplicada fue por extracción con método Goldfish mediante una unidad de extracción de modelo reciente, modelo E-812 / E-816 HE, lo cual puede influir considerablemente en una mayor extracción de grasa, influyendo en su determinación.

Shodehinde y Adamson (2016) evaluaron el análisis químico proximal de la harina de cáscara de vaina de cacao fermentadas y no fermentadas, concluyeron que las concentraciones presentes en el análisis químico proximal se encuentran en valores aceptables para su incorporación en la producción de alimentos, reduciendo el impacto ambiental y la escasez de alimentos en los países en desarrollo. Las cuales son similares a las reportadas en esta investigación, por lo que de esta forma se

promueve la utilización de las cáscaras de vainas de cacao en la elaboración de una harina y su incorporación en un producto de panificación.

7.3 Análisis químico proximal en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

El análisis químico proximal de las formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao, se presentan en la Tabla 3, observando que el contenido de humedad no presenta diferencia significativa ($P < 0.05$), sin embargo, numéricamente la formulación con sustitución de 5% obtuvo el valor más alto (33.13%) en comparación de las demás muestras. En cuanto a la cantidad de cenizas, se observa una tendencia de aumento, conforme incrementa la sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, siendo la fórmula de sustitución del 25%, la que obtuvo el valor más alto (1.45%). El contenido de grasa fue numéricamente mayor en la muestra control (2.63%) y se observa una disminución conforme aumenta la cantidad de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao. En el caso del contenido de proteína se presenta diferencia significativa ($P < 0.05$) en la muestra control (11.35%) con una tendencia de disminución conforme aumenta la cantidad de sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao. La fibra cruda incrementa su concentración conforme aumenta la sustitución de harina de trigo, por harina de cáscara de vaina de cacao, mostrando diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$), siendo la sustitución de 25% la que contiene mayor cantidad de fibra cruda (13.98%) que las demás muestras. El mayor contenido de carbohidratos lo presentan la muestra control (47.31%), sin embargo, no presenta diferencias significativas en comparación con las demás muestras, a pesar de observar una ligera disminución conforme aumenta la sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao.

En este trabajo de investigación, el mayor contenido de humedad, numéricamente lo presentó el pan blanco de caja con sustitución del 5%, mientras que Pascual y Zapata (2010), quienes elaboraron pan blanco de caja con sustitución de harina de

Tabla 3. Análisis químico proximal en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Análisis	Formulaciones de Pan (%)					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Humedad	30.62 ± 0.01 ^a	33.13 ± 0.08 ^a	30.71 ± 0.12 ^a	32.89 ± 2.85 ^a	30.26 ± 0.57 ^a	30.31 ± 0.53 ^a
Cenizas	1.30 ± 0.00 ^a	1.30 ± 0.00 ^a	1.30 ± 0.00 ^a	1.40 ± 0.00 ^a	1.40 ± 0.00 ^a	1.45 ± 0.07 ^a
Grasa	2.63 ± 0.26 ^a	2.53 ± 0.16 ^a	2.25 ± 0.00 ^a	2.39 ± 0.70 ^a	2.14 ± 0.21 ^a	2.19 ± 0.73 ^a
Proteína	11.35 ± 0.00 ^a	10.67 ± 0.31 ^{a,b}	10.18 ± 0.12 ^{b,c}	9.77 ± 0.31 ^c	9.86 ± 0.06 ^c	9.64 ± 0.12 ^c
Fibra Cruda	6.80 ± 0.04 ^f	4.71 ± 0.06 ^e	7.23 ± 0.11 ^d	10.78 ± 0.07 ^c	12.87 ± 0.05 ^b	13.98 ± 0.16 ^a
Carbohidratos	47.31 ± 0.19 ^a	47.66 ± 3.74 ^a	48.33 ± 0.60 ^a	42.77 ± 2.53 ^a	43.47 ± 0.22 ^a	42.43 ± 0.28 ^a

Los valores representan la media y desviación estándar, los superíndices ^{a,b,c,d,e,f} en la misma fila, representan diferencias significativas (P<0.05).

trigo por harina de kiwicha (familia del amaranto de Perú), reportan que la sustitución con 15% obtuvo el mayor contenido de humedad, el cual al ser comparado con el reportado en esta investigación es menor por cinco puntos porcentuales, esto podría deberse a que la harina de kiwicha puede contener mayor cantidad de fibra dietética soluble, que la harina de cáscara de vaina de cacao, lo que permite una mayor absorción de agua y por ende una menor disponibilidad del agua durante la formación del pan ocasionando una menor humedad en el pan de caja. En cuanto al contenido de cenizas Pascual y Zapata (2010) obtuvieron mayor cantidad de cenizas en su pan blanco de caja con sustitución del 5% con harina de kiwicha, mientras que en este trabajo de investigación se observa una tendencia de aumento, conforme se incrementa la sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, observando el valor numéricamente más alto en la sustitución con 25%, siendo menor al reportado por estos autores, esto se podría deber a que la harina de kiwicha contiene una mayor cantidad de minerales, que la harina de cáscara de vaina de cacao. La grasa cruda reportada en esta investigación, presenta una ligera disminución numérica a menor sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao. Caso similar a lo reportado por Pascual y Zapata (2010), en su pan blanco de caja con harina de kiwicha. En el caso del contenido de proteína presenta diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) y disminución con conforme se aumenta la sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, caso similar a lo reportado por Pascual y Zapata (2010), en su pan blanco de caja con harina de kiwicha, lo cual se debe a que la harina de trigo es rica en proteínas y al realizar sustitución con otra harina baja en proteínas, esta se ve disminuida.

La fibra cruda reportada en esta investigación, presenta diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$), a mayor sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao. Caso similar a lo reportado por Pascual y Zapata (2010), en su pan blanco de caja con harina de kiwicha.

El contenido de carbohidratos presenta una ligera disminución conforme aumenta la sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao. Esto se puede deber a que la determinación de este parámetro fue calculado por diferencia, por lo que a mayor porcentaje de algún otro parámetro (fibra), este tendrá a disminuir.

7.4 Contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante por FRAP y por el radical ABTS⁺ en harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo.

Los resultados del contenido de fenoles totales capacidad antioxidante por FRAP y por el radical ABTS⁺ en harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo, se observan en la Tabla 4, presentando diferencia significativa ($P < 0.05$) en la harina de cáscara de vaina de cacao en el contenido de compuestos fenólicos (8.48mg ácido gálico/g muestra seca), en comparación con la harina de trigo (5.37mg ácido gálico/g muestra seca). Siendo casi similar a lo reportado por Karim y col. (2014), (7.15mg ácido gálico/g muestra seca) en su determinación de fenoles en harina de cáscara de vaina de cacao. Esta ligera variación podría deberse al número de repeticiones realizadas o al dominio de la técnica Folin-Ciocalteau.

Tabla 4. Contenido de antioxidantes en harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo.

Muestra	Fenoles mg ácido gálico / g muestra seca	FRAP $\mu\text{mol Trolox /}$ g muestra seca	ABTS $\mu\text{mol Trolox /}$ g muestra seca
Harina de trigo	5.37 \pm 0.01 ^b	85.79 \pm 3.24 ^b	73.46 \pm 20.81 ^b
Harina de cacao	8.48 \pm 0.14 ^a	176.42 \pm 8.30 ^a	163.46 \pm 9.45 ^a

Los valores representan la media y desviación estándar, los superíndices ^{a,b}, en la misma columna, representan diferencias significativas ($P < 0.05$).

La evaluación de actividad antioxidante mediante FRAP, encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en la harina de cáscara de vaina de cacao (176.42 $\mu\text{mol Trolox/g muestra seca}$), en comparación con la harina de trigo (85.79 $\mu\text{mol Trolox/g muestra seca}$). El cual es mayor a lo reportado por Sotelo y col. (2015) (169.04 $\mu\text{mol Trolox/g muestra seca}$), quienes evaluaron la capacidad antioxidante de los extractos de cáscara de cacao con FRAP. Esto se puede deber a que las cáscaras de cacao, entre más cerca estén de la semilla, presentan mayor actividad antioxidante, razón por lo que la cáscara de vaina de cacao, la cual es la fracción más alejada a la semilla contiene menor actividad en comparación con la cáscara que recubre a la semilla (Martínez y col., 2012). Karim y col., (2014) determino actividad antioxidante en vaina de cacao mediante FRAP con ácido gálico y ácido

ascórbico, encontrando que la mayor reducción de los iones férricos fue con ácido ascórbico, lo que indica mayor actividad antioxidante, por lo que futuras investigaciones, podrían utilizar esta opción para mejorar la actividad antioxidante mediante FRAP en extractos de cacao.

Los resultados de la capacidad antioxidante por el radical ABTS, presenta diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en la harina de cáscara de vaina de cacao ($163.46 \mu\text{mol Trolox/g}$ muestra seca), sobre la harina de trigo ($73.46 \mu\text{mol Trolox/g}$ muestra seca). Sotelo y col. (2015) evaluaron la capacidad antioxidante de los extractos de cáscara de cacao mediante ABTS, reportando una absorbancia muy similar a lo reportado en este trabajo de investigación, por lo que la harina de cáscara de vaina de cacao, demuestra poseer compuestos fenólicos con potencial redox menor al del ABTS (0.68V) (Martínez y col., 2012).

7.5 Contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante por FRAP y por el radical ABTS⁺ en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

En cuanto al contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante por FRAP y por el radical ABTS⁺ en los panes elaborados con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao (Tabla 5), se observan diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de fenoles totales, incrementando su concentración conforme aumenta la sustitución de harina de trigo, por harina de cáscara de vaina de cacao, siendo la sustitución de 25% quien obtuvo la mayor cantidad de fenoles totales ($49.28 \text{mg ácido gálico/g}$ muestra seca) en comparación con las demás muestras.

En cuanto a la determinación de actividad antioxidante por FRAP se encontró diferencias significativas ($P < 0.05$) a mayor sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, encontrando la mayor actividad antioxidante en la sustitución de 25% con harina de cáscara de vaina de cacao ($100.55 \mu\text{mol Trolox/g}$ muestra seca), en comparación con las demás muestras.

La evaluación con el radical libre ABTS en las formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de cacao., presento diferencias

significativas ($P < 0.05$) en la sustitución de 25% de harina de cáscara de vaina de cacao ($103.46 \mu\text{mol Trolox/g}$ muestra seca), demostrando que la actividad antioxidante aumenta, conforme aumenta la sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao.

Tabla 5. Contenido de antioxidantes en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

	Fenoles	FRAP	ABTS
Muestra	mg ácido gálico / g muestra seca	$\mu\text{mol Trolox} /$ g muestra seca	$\mu\text{mol Trolox} /$ g muestra seca
0%	31.86 ± 0.09^f	80.33 ± 0.47^c	80.13 ± 1.15^b
5%	35.33 ± 0.23^e	88.17 ± 3.34^c	80.80 ± 2.00^b
10%	37.91 ± 0.16^d	$90.71 \pm 0.95^{b,c}$	$82.13 \pm 11.01^{a,b}$
15%	41.75 ± 0.85^c	$95.16 \pm 2.39^{a,b}$	$88.13 \pm 11.71^{a,b}$
20%	45.23 ± 0.04^b	98.81 ± 1.64^a	$91.46 \pm 11.01^{a,b}$
25%	49.28 ± 0.18^a	100.55 ± 1.92^a	103.46 ± 3.05^a

Los valores representan la media y desviación estándar, los superíndices ^{a,b,c,d,e,f} en la misma columna, representan diferencias significativas ($P < 0.05$).

El procesamiento de la harina de cáscara de vaina de cacao en la elaboración del pan blanco de caja disminuyó significativamente las propiedades antioxidantes de la harina de cáscara de vaina de cacao, caso similar a lo reportado por Li y col., 2015, quienes evaluaron fenoles y capacidad antioxidante en harina de trigo y pan blanco. De acuerdo con estos resultados, el contenido fenólico en la harina fue aproximadamente 3 a 4 veces mayor en comparación con los panes en todos los casos. Esto se puede deber a las reacciones de Maillard que se producen durante la cocción en horno a temperatura de 180°C y pueden dar lugar a la síntesis de sustancias con propiedades antioxidantes (Vogrinc, y col., 2010; Umami, y col., 2018) y compuestos que confieren propiedades funcionales, organolépticas y nutricionales (Peñaloza-Espinosa y col., 2017). Hye-Min y Bong-Kyung (2011), refieren en su investigación del efecto del proceso de cocción en la actividad antioxidante en panificación, que los ácidos fenólicos ejercen efectos antioxidantes después del proceso de cocción del pan.

Ummi y col. (2018), evaluaron el contenido fenólico total en pan con grano de café verde, obteniendo 9.75mg de ácido gálico/g de extracto seco, cantidad inferior a la reportada en esta investigación, donde el contenido de fenoles en las muestras de pan se incrementó gradualmente al aumentar los niveles de fibra, siendo el contenido de fenol más bajo en el pan control, comportamiento similar a la investigación de Aboshora y col. (2016), quienes elaboraron panes con sustitución de harina de trigo por harina de un fruto comestible, proveniente de la palmera africana (*Hyphaene thebaica*) conocido como “doum”, el cual contiene fibra y antioxidantes, similar también al comportamiento reportado por Bhol y col., (2016) quienes determinaron fenoles en pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de bagazo de granada, con los cuales se podrían eliminar los radicales libres e inhibir la oxidación de lípidos en el organismo, generando un beneficio a la salud del consumidor.

La valoración de actividad antioxidante mediante FRAP en este trabajo de investigación, presento aumento de actividad antioxidante, conforme aumenta la sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao. Chlopicka y col. (2012), evaluaron el contenido de antioxidantes con FRAP en panes con sustitución de harina de trigo por harina de amaranto, quínoa y alforfón, encontrando valores menores a los reportados en este trabajo de investigación, lo cual se puede deber a que la harina de cáscara de vaina de cacao contiene mayor poder antioxidante reductor del hierro que las harinas de amaranto, quínoa y alforfón.

Los resultados de la capacidad antioxidante por el radical ABTS son similares a lo reportado por Delgado-Andrade y col. (2010), quienes evaluaron antioxidantes en pan, incluyendo la técnica de ABTS. Martínez y col. (2012), reportan absorbancias en cáscara de vaina de cacao, menores a lo encontrado en esta investigación, esto puede deberse a que sus extractos de cáscara de vaina de cacao fueron tratados con metanol: acetona, lo cual podría disminuir el potencial redox del ABTS, generando absorbancias menores a las de este estudio de investigación.

7.6 Determinación de capacidad antioxidante por DPPH, EC₅₀

La determinación de capacidad antioxidante por DPPH, en harina de cáscara de vaina de cacao y harina de trigo, se muestra en la Figura 2, observando diferencias significativas ($P < 0.05$) en la harina de cáscara de vaina de cacao, inhibiendo el (93%) del radical DPPH con 0.2g de muestra, lo cual fue superior a lo determinado por Almeida y col. (2018) con un porcentaje de inhibición en cáscara de cacao del 81%. Mientras que la harina de trigo apenas alcanza el (34%) de inhibición, indicando que la harina de cáscara de vaina de cacao presenta mayor actividad antioxidante que la cáscara que recubre la semilla del cacao y la harina de trigo.

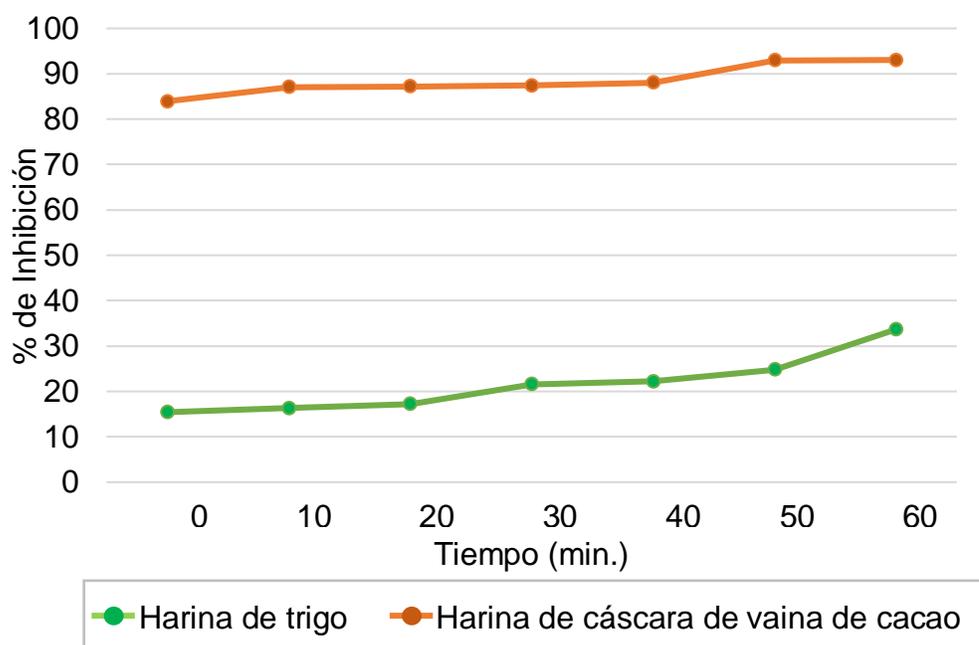


Figura 2. Comparación actividad antioxidante en harina de trigo y harina de cáscara de vaina de cacao, mediante ensayo de DPPH.

La Figura 3, presenta la inhibición del radical DPPH en las formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao, presentando diferencias significativas ($P < 0.05$) en todas las formulaciones de pan a mayor sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao. Debido a que el pan blanco de caja control con 0.2g de muestra alcanza a inhibir el 30% del radical DPPH, mientras que la muestra con sustitución del 25% obtuvo el mayor porcentaje de inhibición en comparación con las demás muestras, inhibiendo el 39%.

Encontrando que a mayor sustitución de harina de trigo con harina de cáscara de vaina de cacao el porcentaje de inhibición del radical DPPH aumenta, comportamiento similar a lo reportado por Bhol y col., (2016) quienes determinaron actividad antioxidante por DPPH en pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de bagazo de granada. Aboshora y col. (2016), reportan una concentración efectiva media (EC_{50}) con 0.98 gramos en la elaboración de panes con sustitución de harina de trigo por harina de un fruto comestible, proveniente de la palmera africana (*Hyphaene thebaica*) conocido como “doum”, el cual contiene alto contenido de fibra y antioxidantes. Esta comparación indica que la harina de cáscara de vaina de cacao, contiene mayor capacidad antioxidante, debido a que con una menor cantidad (0.2 gramos) alcanza el EC_{50} . Esto puede ser beneficioso en la conservación de los alimentos, disminuyendo las reacciones de oxidación de lípidos que generan el deterioro de los productos alimenticios (Bhol y col., 2016), así como generar un beneficio a la salud del consumidor.

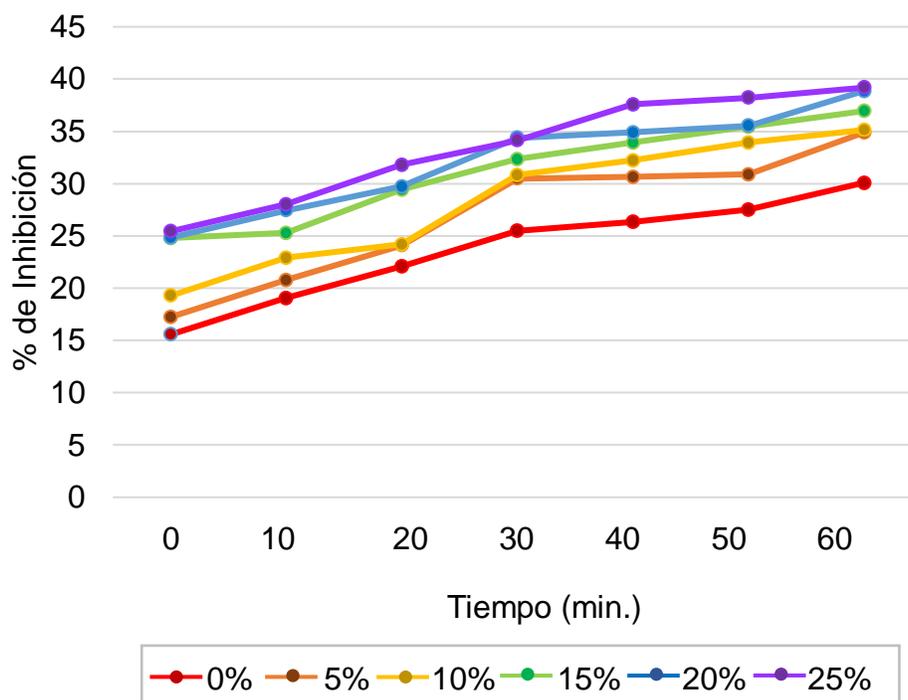


Figura 3. Comparación actividad antioxidante en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao, mediante ensayo de DPPH.

7.7 Prueba de extensibilidad uniaxial, análisis de perfil de textura (APT) y extensibilidad biaxial en masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La determinación de extensibilidad uniaxial, análisis de perfil de textura (APT) y extensibilidad biaxial en masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao se presentan en la Tabla 6. Encontrando en la extensibilidad uniaxial diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en la resistencia a la extensión (N) a mayor sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, siendo la formulación con 25% de harina de cáscara de vaina de cacao, quien obtuvo la mayor resistencia a la extensión (0.65N) en comparación con las demás muestras. En cuanto a la extensibilidad en mm, se observa diferencia significativa ($p < 0.05$) en la muestra con sustitución de 5% (41.01mm) obteniendo el valor mayor.

En el análisis de perfil de textura (APT) se observa en el parámetro de dureza (N) diferencia significativa ($p < 0.05$) en la muestra control (0.48N) y sustitución de 25% (0.44N) con durezas similares, la adhesividad presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) en la muestra control (7×10^{-4} J) en comparación con las demás muestras. En cuanto a la cohesividad la muestra con sustitución de 5% obtuvo diferencias significativas ($p < 0.05$) siendo más cohesiva que las demás muestras (1.76), mientras que la muestra control fue la que menor cohesividad presentó (0.51). La masticabilidad fue mayor en la muestra control (7×10^{-4}) en comparación con las demás muestras ($p > 0.05$).

La Extensibilidad biaxial presenta diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la resistencia a la deformación, debido a la mayor retención de aire o presión (tenacidad "P") en la muestra control (141.84mm). En cuanto a la extensibilidad, la cual mide la viscosidad dada por el volumen máximo de aire contenido (L) no presenta diferencias significativas, sin embargo, numéricamente se observa que la muestra control fue la que obtuvo el valor más alto (47.16mm). Mientras que la muestra control numéricamente presentó mayor fuerza (330), representado con (W) (trabajo de deformación de la masa). La relación entre la tenacidad y extensibilidad (P/L), numéricamente indican que la muestra con sustitución del 5% es más extensible que la muestra control.

Tabla 6. Extensibilidad uniaxial, análisis de perfil de textura y extensibilidad biaxial en masas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Variables	Formulaciones de masa (%)					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Extensibilidad uniaxial						
Resistencia a la Extensión (N)	0.18 ± 0.05 ^c	0.19 ± 0.05 ^c	0.21 ± 0.01 ^c	0.43 ± 0.03 ^b	0.39 ± 0.02 ^b	0.65 ± 0.08 ^a
Extensibilidad (mm)	26.17 ± 13.02 ^b	41.01 ± 15.08 ^a	20.56 ± 4.79 ^{b,c}	14.44 ± 1.68 ^c	13.07 ± 1.57 ^c	13.85 ± 3.87 ^c
Análisis de Perfil de Textura						
Dureza (N)	0.48 ± 0.07 ^a	0.15 ± 0.00 ^d	0.19 ± 0.02 ^{c,d}	0.27 ± 0.01 ^{b,c}	0.33 ± 0.07 ^b	0.44 ± 0.06 ^a
Adhesividad (J)	7x10 ⁻⁴ ± 3x10 ^{-4a}	1x10 ⁻⁴ ± 2x10 ^{-5b}	1x10 ⁻⁴ ± 2x10 ^{-5 b}	1x10 ⁻⁴ ± 4x10 ^{-5 b}	1x10 ⁻⁴ ± 7x10 ^{-5 b}	7x10 ⁻⁵ ± 3x10 ^{-5 b}
Cohesividad	0.51 ± 0.09 ^b	1.76 ± 0.47 ^a	1.04 ± 0.02 ^{a,b}	1.20 ± 0.64 ^{a,b}	0.95 ± 0.26 ^b	1.07 ± 0.48 ^{a,b}
Masticabilidad (J)	7x10 ⁻⁴ ± 2x10 ^{-4a}	1x10 ⁻⁴ ± 4x10 ^{-5b}	9x10 ⁻⁵ ± 9x10 ^{-5 b}	1x10 ⁻⁴ ± 9x10 ^{-5 b}	1x10 ⁻⁴ ± 8x10 ^{-5 b}	1x10 ⁻⁴ ± 8x10 ^{-5 b}
Extensibilidad biaxial						
Presión (mm)	141.84 ± 11.82 ^a	128.47 ± 15.63 ^{a,b}	7.35 ± 1.38 ^c	8.78 ± 1.95 ^c	10.37 ± 4.66 ^c	16.27 ± 7.68 ^{b,c}
L (mm)	47.16 ± 37.99 ^a	40.11 ± 19.63 ^a	25.35 ± 5.81 ^a	29.86 ± 21.21 ^a	23.34 ± 25.06 ^a	18.34 ± 7.39 ^a
W (fuerza)	330.01 ± 48.90 ^a	288.66 ± 44.61 ^a	93.82 ± 20.26 ^a	127.23 ± 84.61 ^a	112.29 ± 89.90 ^a	188.78 ± 116.72 ^a
P/L (tenacidad/ extensibilidad)	3.70 ± 3.70 ^a	5.40 ± 8.60 ^a	0.31 ± 0.13 ^a	0.35 ± 0.12 ^a	0.84 ± 0.48 ^a	0.87 ± 0.15 ^a

Los valores representan la media y desviación estándar, los superíndices ^{a,b,c,d} en la misma fila, representan diferencias significativas (P<0.05).

La evaluación de resistencia a la extensión de Rieder y col. (2012) en masas de pan con salvado de avena, mediante técnica Kieffer, presentó una resistencia a la extensión (N) con un valor menor al reportado en esta investigación, lo cual se podría deber al aumento de la cantidad de fibra que genera un pan con textura más dura (Totosaus y col., 2013) y por ende con una menor resistencia a la extensión, por lo que el aporte de fibra por el salvado de trigo podría ser menor al de la cáscara de vaina de cacao. En cuanto a la extensibilidad (mm), Rieder y col. (2012) reportaron en su investigación en masa de pan con salvado de avena, con técnica Kieffer que su muestra control alcanzo una mayor extensibilidad, con un valor similar al reportado en este estudio de investigación para la misma muestra, sin embargo, la muestra con sustitución del 5%, logró una mayor extensibilidad. De acuerdo con Martínez-Jiménez y col. (2015) el aumento en la elasticidad de la masa refleja el grado de unión entre los elementos estructurales, por lo tanto, valores altos de elasticidad implican una menor deformación o ruptura de la red de gluten, por lo que la sustitución con 5% logró una unión más fuerte del gluten que la muestra control, lo que le permitió una mayor extensibilidad.

El análisis de perfil de textura en masas con harinas compuestas ha sido reportado por diversos autores: Saha y col. (2011) evaluaron masas con sustitución de harina de trigo por harina de mijo, reportando que la dureza en las masas aumenta conforme al contenido de harina de trigo en la masa y este podría deberse al mayor contenido de proteínas que permite la formación de la red de gluten. La adhesividad reportada por Saha y col. (2011) disminuye conforme a la cantidad de harina de trigo en las masas de mijo, caso similar a lo reportado en esta investigación. De acuerdo con Baños-Espinola y col. (2007) la fuerza adhesiva de las masas adicionadas con fibra soluble disminuye conforme se aumenta el contenido de fibra lo cual podría deberse a la menor cantidad de agua disponible absorbida por la fibra soluble contenida en la harina de cáscara de vaina de cacao.

Saha y col. (2011) afirman que la masa se volvió más cohesiva con un mayor nivel de harina de trigo debido a las cargas positivas y negativas, el agua se adhiere a la fibra mediante los puentes de hidrogeno que se forman entre sus moléculas, los cuales las mantienen muy unidas, es decir, son cohesivas. Olmedo y Franco (2016) menciona que esta cohesividad otorga mayor densidad y un menor volumen

específico conforme se disminuye la cantidad de harina de trigo, lo cual se relaciona con el aumento de dureza en los panes.

De la Horra y col. (2012) afirman que la extensibilidad biaxial aumenta con el contenido proteico de la harina, razón por la cual, a mayor sustitución de harina de cáscara de vaina de cacao, menor cantidad de harina de trigo y en consecuencia menor cantidad de proteína en las masas, obteniendo una menor extensibilidad.

Gómez y col. (2011) mencionan que los cambios en las propiedades alveográficas de la masa están relacionados con un alto contenido de fibra y con las interacciones entre esta y el gluten, dada su capacidad de absorber agua que compite con otros ingredientes de la masa. Rieder y col. (2012) reportan que tanto la fibra soluble como insoluble, unen fuertemente cantidades elevadas de agua, lo que la vuelve menos disponible para el desarrollo de la red de gluten generando una menor retención del gas producido durante la cocción. Esta podría ser la razón por la cual las formulaciones con mayor cantidad de fibra obtuvieron la menor extensibilidad.

La A.A.C.C. (1995) indica que muestras de harinas con valores de W (fuerza) menores a 200 son considerados trigo de gluten débiles, mientras que de 200 a 300 son harinas con gluten medio fuerte con calidad panadera y W mayores de 300 son harinas de trigo fuerte, para realizar pastas alimentarias, Magaña y col. (2011) indican que valores de P/L (tenacidad / extensibilidad) mayores a 1 se consideran con buena extensibilidad, por lo que de acuerdo con los valores en la masa control de 330W y la muestra de sustitución de 5% 288W y a sus valores de P/L superiores a 1, ambas muestras son consideradas viables para su uso en panificación, mientras que las demás formulaciones presentan un gluten débil incapaz de retener gas carbónico, por lo que no son factibles para su utilización en la elaboración de pan. Las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas son más fuertes y tenaces, mientras que una mayor proporción de gliadinas las vuelve más viscosas y extensibles. Una relación balanceada entre ambas proteínas proporciona una fuerza media, la cual puede ser utilizada en panadería, mientras que las harinas que presentan una mayor proporción de gluteninas se utilizan para elaborar pastas y las gliadinas para elaborar galletas (De la Vega, 2009). De acuerdo con esto, las masas control y sustitución 5% presentan una fuerza media con un buen balance entre gliadinas y gluteninas, mientras que las demás formulaciones contienen en

mayor cantidad gluteninas, convirtiéndolas en masas más fuertes aptas para la elaboración de pastas.

7.7.1 Análisis de perfil de textura en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

El análisis de perfil de textura en las formulaciones de pan, se observa en la Tabla 7, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$) para todos los parámetros, en dureza la sustitución de 25% (17.65N). Para la cohesividad la muestra control y la sustitución con 5% (0.56):(0.57). La elasticidad en la muestra con sustitución de 20 y 25% (0.78):(0.79), en la firmeza (9.44N) y la masticabilidad (0.10J) fueron en la muestra control, mientras que la resiliencia fue significativamente mayor en la formulación con sustitución del 5% (0.29) seguida de la muestra control (0.27), con lo cual ambas son similares.

Aboshora y col. (2016), evaluaron dureza en pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de un fruto comestible, proveniente de la palmera africana (*Hyphaene thebaica*) conocido como “doum”, reportando que esta fue mayor conforme aumento la cantidad de esta harina, debido al alto contenido de fibra del fruto, similar a lo reportado por Karp y col. (2017), quienes elaboraron muffins con fibra de cáscara de cacao, asegurando que la fibra afecta la dureza debido a que contiene un gran número de grupos hidroxilo que interactúan con los enlaces de hidrógeno del agua (Gómez y col., 2011), influyendo en la migración del agua (Karp y col., 2017), limitando su disponibilidad durante la formación de la red gluten-almidón, engrosamiento de las paredes que rodean los alveolos en la miga, volviendo al pan más rígido, influyendo en su capacidad de recuperación después de la compresión (Totosaus y col., 2013), razón por la cual, en esta investigación, la cantidad de fibra pudo influir en el parámetro de dureza obtenido en el pan blanco de caja, lo cual no es favorable para la industria panificadora, debido a que la dureza en un pan, se relaciona con la frescura del mismo, por lo que, al obtener un pan con mayor dureza, se podría asociar con un pan que no fue elaborado recientemente. La cohesividad presentó el mismo comportamiento que el reportado por Aboshora y col. (2016), en su investigación, observando una disminución conforme aumenta la sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, esto podría deberse al

Tabla 7. Análisis de perfil de textura en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Variables	Formulaciones de Pan (%)					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Dureza (N)	16.71 ± 1.44 ^{a,b}	14.47 ± 2.67 ^{b,c}	13.75 ± 1.47 ^{c,d}	13.23 ± 1.81 ^{c,d}	11.06 ± 1.21 ^d	17.65 ± 3.43 ^a
Cohesividad	0.56 ± 0.49 ^a	0.57 ± 0.29 ^a	0.53 ± 0.54 ^{a,b}	0.53 ± 0.26 ^{b,c}	0.48 ± 0.28 ^{a,b}	0.44 ± 0.68 ^c
Elasticidad	0.73 ± 0.005 ^b	0.72 ± 0.007 ^b	0.72 ± 0.005 ^b	0.73 ± 0.006 ^b	0.78 ± 0.003 ^a	0.79 ± 0.008 ^a
Firmeza (N)	9.44 ± 1.14 ^a	8.33 ± 1.62 ^{a,b}	7.39 ± 1.16 ^{b,c,d}	6.42 ± 1.19 ^{c,d}	5.97 ± 0.85 ^d	7.66 ± 0.89 ^{b,c}
Masticabilidad (J)	0.10 ± 0.12 ^a	0.09 ± 0.18 ^{b,c}	0.08 ± 0.13 ^{b,c}	0.06 ± 0.13 ^c	0.06 ± 0.00 ^c	0.08 ± 0.10 ^{b,c}
Resiliencia	0.27 ± 0.03 ^{a,b}	0.29 ± 0.02 ^a	0.23 ± 0.02 ^c	0.20 ± 0.02 ^{c,d}	0.23 ± 0.01 ^{b,c}	0.17 ± 0.04 ^d

Los valores representan la media y desviación estándar, los superíndices ^{a,b,c,d} en la misma fila, representan diferencias significativas (P<0.05).

aumento en el contenido de fibra (Totosaus y col., 2013). De acuerdo con Martínez-Jiménez y col. (2015) un pan con valores bajos de cohesividad, indican que los panes son susceptibles a la fractura, esto se podría explicar, porque la fibra retiene mayor cantidad de agua que la harina de trigo, afectando la estructura de la masa por lo que, a mayor cantidad de fibra, los panes son más susceptibles a su ruptura, lo cual no es deseable en el proceso de panificación.

La elasticidad (mm) reportada en este estudio de investigación obtuvo valores superiores a los reportado por Vázquez y col. (2017), quien sustituyó harina de trigo, por harina de avena, maíz y sorgo y similar a lo encontrado por Alvarez-Jubete y col. (2010), donde sus panes elaborados con amaranto quinoa y alforfón obtuvieron una elasticidad de miga significativamente mayor en comparación con el control ($p < 0.05$). Esto se puede deber a que los panes de avena, maíz y sorgo de Vázquez y col. (2017) contenían menor cantidad de proteína que los panes de amaranto, quinoa y alforfón elaborados por Alvarez-Jubete y col. (2010). De acuerdo con Loja (2015) las gliadinas confieren elevada extensibilidad, tenacidad y baja elasticidad en los panes, por lo que las formulaciones de pan con cáscara de vaina de cacao, amaranto quinoa y alforfón, contienen mayor cantidad de gliadina que los panes con avena, maíz y sorgo.

En los parámetros de firmeza y masticabilidad, la muestra control presentó diferencias estadísticamente significativas, con respecto a las demás muestras, presentando un patrón de disminución conforme aumenta la sustitución de harina de trigo, igual a lo reportado por Vázquez y col. (2017) en sus panes con sustitución de harina de trigo, por harina de avena, maíz y sorgo. Magaña y col., (2011) reportan en su investigación sobre el efecto del contenido de proteína en la calidad de pan tipo francés, que la firmeza está íntimamente relacionada con las propiedades reológicas de las masas, por lo que, a menor cantidad de proteínas para la formación del gluten, menor firmeza en los panes. De acuerdo con Hernández y Duran (2012) el pan más masticable es aquel que presenta menores valores de masticabilidad ya que requiere desde el punto vista sensorial mayor tiempo de deglución en la boca antes de tragarlo, por lo que el pan control es el que requiere menos tiempo de masticación.

Los valores obtenidos en esta investigación en la resiliencia fueron menores a los reportado por Vázquez y col. (2017) en su investigación de elaboración de panes con sustitución de harina de trigo, por harina de avena, maíz y sorgo. Este parámetro indica como la muestra se recupera de la deformación, los panes elaborados con cáscara de vaina de cacao, tienen una menor recuperación elástica que los panes con harina de trigo, avena, maíz y sorgo, lo cual se podría deber a la cantidad de fibra contenida en la harina de cáscara de vaina de cacao, la cual interfiere con una mayor deformación o ruptura de la red de gluten, convirtiendo los panes con menor capacidad de recuperar su deformación.

7.8 Color en corteza, color en miga, volumen específico, densidad y actividad de agua de formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La evaluación del color en la corteza, miga, volumen específico, densidad y actividad de agua en las formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao se muestra en la Tabla 8, presentando diferencias significativas ($P < 0.05$) en color tanto de corteza como en miga en sus tres parámetros, encontrando mayor luminosidad (L^*) en la muestra control de ambas partes del pan (64.59):(66.70) respectivamente, mientras que el enrojecimiento (a^*) se encuentra en las muestras con mayor sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, en corteza la sustitución con 20% (5.53) obtuvo un valor mayor, seguida de la sustitución con 25% (5.26) y en la miga la muestra con 25% (2.90). En la tonalidad amarillo (b^*) ambas muestras control presentan los valores más altos en corteza (19.79) y en miga (14.11), observando una disminución de este conforme aumenta la sustitución con harina de vaina de cacao.

El volumen específico se calculó como el cociente entre el volumen y la masa de la pieza de pan blanco de caja, observando que numéricamente la muestra control presentó el volumen ($1.50\text{cm}^3/\text{g}$) más alto en comparación con los demás panes sin presentar diferencias significativas, con una ligera disminución en el volumen conforme aumenta la sustitución, siendo los panes con sustitución de 20 y 25%, los de menor volumen ($1.46\text{cm}^3/\text{g}$).

Tabla 8. Color en corteza, color en miga, volumen específico, densidad y actividad de agua en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Variables	Formulaciones de Pan (%)					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Color en Corteza de pan						
L*	64.59 ± 2.18 ^a	60.87 ± 3.91 ^b	59.93 ± 0.94 ^b	59.13 ± 1.86 ^{b,c}	57.30 ± 1.70 ^c	53.89 ± 1.90 ^d
a*	4.98 ± 1.51 ^a	3.41 ± 0.89 ^b	4.77 ± 0.93 ^a	4.91 ± 0.57 ^a	5.53 ± 0.65 ^a	5.26 ± 0.79 ^a
b*	19.79 ± 0.94 ^a	16.34 ± 1.59 ^b	17.19 ± 1.48 ^b	17.11 ± 0.94 ^b	16.44 ± 1.04 ^b	15.00 ± 0.97 ^c
Color en Miga de Pan						
L*	66.70 ± 1.81 ^a	61.05 ± 2.03 ^b	55.82 ± 3.00 ^c	53.72 ± 2.35 ^{c,d}	51.50 ± 2.63 ^{d,e}	48.84 ± 2.36 ^e
a*	0.74 ± 0.23 ^e	1.52 ± 0.24 ^d	2.31 ± 0.24 ^c	2.55 ± 0.24 ^{b,c}	2.63 ± 0.29 ^{a,b}	2.90 ± 0.44 ^a
b*	14.11 ± 0.65 ^a	13.08 ± 0.52 ^b	12.73 ± 0.73 ^{b,c}	12.34 ± 0.62 ^{c,d}	11.72 ± 0.62 ^{d,e}	11.45 ± 0.85 ^e
Volumen específico y Densidad						
Volumen específico (cm ³ /g)	1.50 ± 0.01 ^a	1.47 ± 0.01 ^a	1.47 ± 0.01 ^a	1.48 ± 0.01 ^a	1.46 ± 0.01 ^a	1.46 ± 0.01 ^a
Densidad (g/cm ³)	0.66 ± 0.05 ^a	0.67 ± 0.05 ^a	0.68 ± 0.05 ^a	0.67 ± 0.05 ^a	0.68 ± 0.05 ^a	0.68 ± 0.05 ^a
Actividad de Agua (a_w)						
Actividad de agua	0.950 ± 0.01 ^b	0.970 ± 0.01 ^a	0.949 ± 0.01 ^b	0.921 ± 0.01 ^c	0.964 ± 0.01 ^{a,b}	0.963 ± 0.00 ^{a,b}

Los valores representan la media y desviación estándar, los superíndices ^{a,b,c,d,e} en la misma fila, representan diferencias significativas (P<0.05).

En densidad no se presentaron diferencias significativas en ninguna formulación, por lo que todas las muestras son similares a la muestra control (0.66g/cm^3), aunque se observa un ligero aumento de densidad, conforme aumenta la sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

La determinación de actividad de agua (a_w) muestra diferencias significativas ($P < 0.05$) en la muestra de pan blanco de caja con sustitución del 5%, presentando una mayor cantidad de agua (0.970) en comparación con las demás formulaciones, mientras que la muestra control (0.950) y la muestra con sustitución del 10% (0.949) muestran semejante a_w .

En cuanto a la luminosidad Alvarez-Jubete y col., (2010), reportaron que el color de la corteza de los panes horneados, con quinoa y alforfón fueron significativamente más oscuros, presentando valores de luminosidad menores en comparación con el control. Caso similar a lo encontrado por Abosbora y col. (2016), que elaboraron pan con sustitución de harina de trigo por harina de doum, con resultado similar en la muestra control y disminución del valor conforme se sustituye esta harina.

Se podría pensar que el oscurecimiento en los panes con mayor sustitución se puede deber al color propio de la harina de cáscara de vaina de cacao, la cual es color marrón-café, sin embargo, Karp y col., (2017) mencionan que la presencia de muestras más oscuras en sus muffins con harina de cáscara de semilla de cacao, se debió a la adición de fibra dietética propia de esa cáscara. Díaz (2013) menciona en su investigación sobre el efecto de la incorporación de fibras dietéticas en la calidad de panes para celíacos, que las fibras solubles disminuyen la luminosidad de la corteza de los panes, siendo la povidexrosa la que confiere un color más oscuro a la corteza. Mientras que Peñaloza-Espinoza y col. (2017) refieren en su investigación del efecto de las condiciones de horneado sobre el desarrollo del color en el pan, que valores menores de (L^*) indican mayor cantidad de compuestos fenólicos, durante el horneado, debido a un mayor avance de la reacción de Maillard, que tiene lugar durante el horneado del pan, donde ocurre la condensación de los grupos amino libres, con los grupos carbonilo de los azúcares reductores ya que al deshidratar la corteza se comienza a otorgar la coloración dorada característica del pan (Arone, 2015). lo cual podría estar pasando en los panes reportados en esta investigación, razón también por lo que el enrojecimiento (a^*) se presenta en las

muestras con mayor sustitución y por consiguiente las muestras control tienden a un tono más amarillo (b*).

El volumen específico (cm^3/g) en los panes, presenta un comportamiento similar a lo reportado por Rieder y col. (2012) en su investigación, donde evaluaron pan blanco de caja con salvado de avena, obteniendo numéricamente el mayor volumen en el pan control y una disminución conforme aumenta la sustitución. Esto se puede deber a la cantidad presente de fibra en ambas muestras (harina de cáscara de cacao y salvado de avena), las cuales tienen la capacidad de absorber el agua disponible, limitando la formación de la red gluten-almidón, produciendo una masa muy compacta que crece muy poco en el proceso de leudado tornando al pan con menor tamaño y por ende con menor volumen (Totosaus y col., 2013; Martínez-Jiménez y col., 2015; Sciarini, y col., 2016; Karp, y col., 2017).

En cuanto a la densidad Le Bleis y col. (2015), realizo pan blanco de caja con adición de salvado de trigo, mencionando que la fibra presente en el salvado propició el aumentó en la densidad del pan.

La determinación de actividad de agua fue similar a lo encontrado en la investigación de Hernández y col. (2016), quienes evaluaron la sustitución de harina de yuca en pan blanco de caja, reportando la mayor actividad de agua en la sustitución de 5%, sin diferencias significativas con las demás muestras. Esto se podría deber a que la harina de yuca y la harina de cáscara de vaina de cacao, contienen similar cantidad de fibra, que le otorga una a_w similar a la reportada en este estudio de investigación. De acuerdo con Montoya y Giraldo (2010) los valores de actividad de agua muestran la fracción del contenido de agua total de las muestras que está libre para diversas reacciones químicas que afectan su estabilidad, en el caso de la elaboración de pan se relaciona directamente con la textura de las muestras, por lo que valores de a_w elevados otorgan una textura más jugosa, tierna y masticable, además de definir la estructura de la miga, por lo que es de suma importancia su evaluación en la elaboración de pan, ya que puede ser utilizado como un parámetro predictivo del análisis de perfil de textura y de la evaluación sensorial.

7.9 Prueba de microscopía de fuerza atómica (AFM) en la harina de cáscara de vaina de cacao.

Para determinar la morfología superficial de la harina de cáscara de vaina de cacao se empleó microscopía de fuerza atómica (AFM), utilizando un tamaño de partícula de (2,380nm), de acuerdo con el número de tamiz (8 doble X.) empleado en la elaboración de harina (Salager, 2007), en la Figura 4, se muestran tres diferentes áreas de escaneo (2.5, 1.0 y 0.5mm) ubicadas por filas, con sus triplicados ubicados en las columnas. Las imágenes representan la topografía de la harina de cáscara de vaina de cacao, reportando una altura máxima de (36nm ± 10.81), observando en las tres áreas de escaneo en la serie de imágenes (1 y 2), aglomerados en la harina, mientras que en las imágenes de la serie (3), se percibe una línea central que atraviesa las topografías, esto se debió a un error del equipo, el cual topografió la base del microscopio de fuerza atómica, tal vez por contener poca muestra que topografiar, por lo que estas imágenes no representan una característica morfológica propia de la harina evaluada.

El tamaño de partícula resultante después del proceso de tamizado, propició el incremento del área superficial, lo cual coincide con lo reportado por Jan y col. (2018), quienes evaluarón harina de arroz mediante microscopía de fuerza atómica, reportando que, a menor tamaño de partícula, existe un incremento en la cohesividad de las harinas, generando aglomerados. Lopes y col. (2013) evaluaron harina de papa, mediante AFM, observando gránulos de almidón con estructuras superficiales menores, como fibra u otros carbohidratos diferentes al almidón, los cuales también se podrían visualizar dentro de estos aglomerados. Sin embargo, esta investigación no determinó propiedades de flujo de polvo en la harina de cáscara de vaina de cacao, con lo cual se hubiera podido obtener una evaluación de la calidad de la harina en la industria de los alimentos (Jan y col., 2018), por lo que se sugiere su realización en próximos estudios, para predecir el comportamiento de la harina de cáscara de vaina de cacao en una matriz alimentaria, para proporcionar datos de densidad, tendencia a cohesividad y características que pueden mejorar las técnicas de conservación en harinas destinadas a la elaboración de alimentos (Neri-Torres y col., 2016).

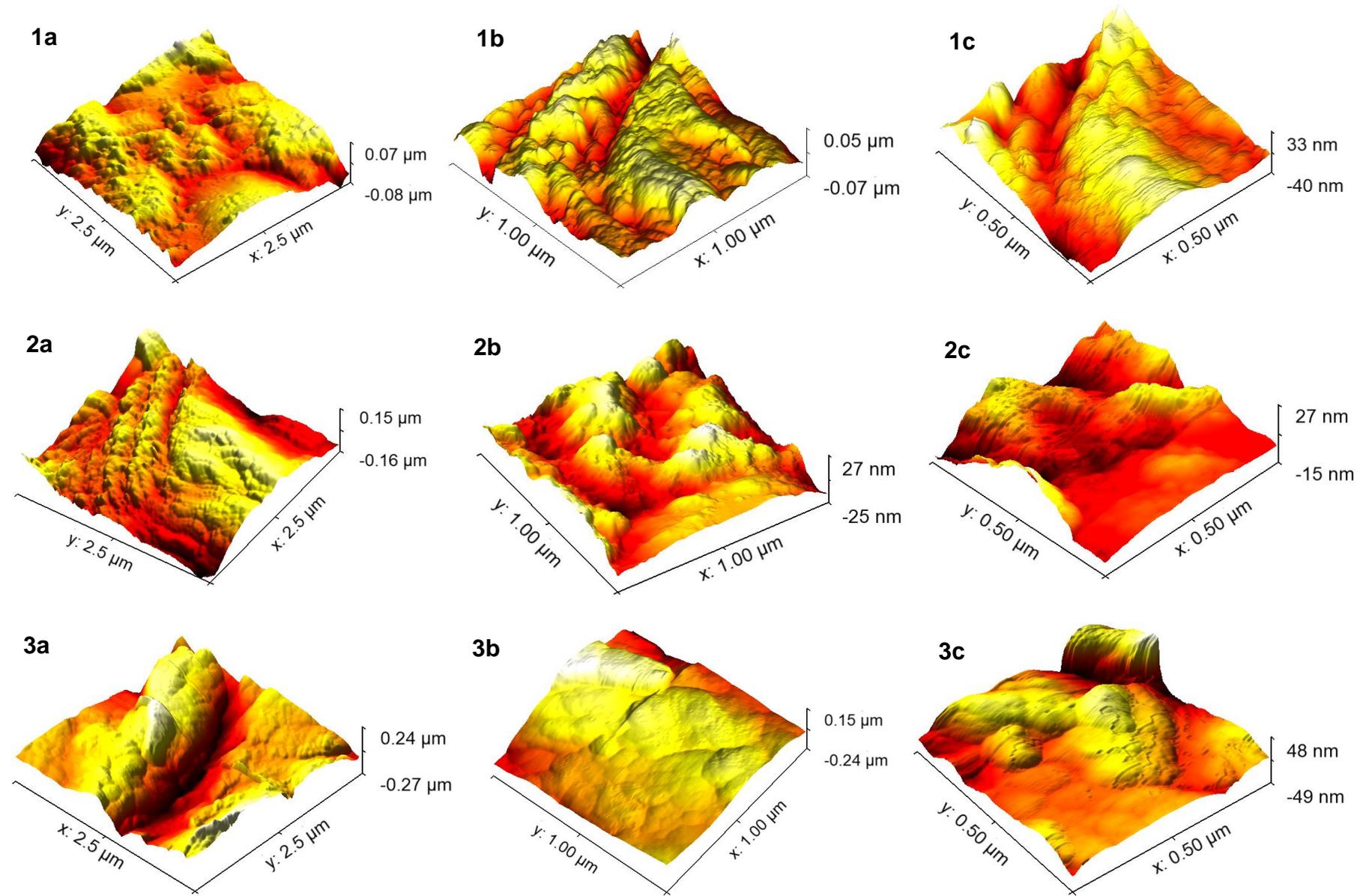


Figura 4. Imágenes de topografía AFM en harina de cáscara de vaina de cacao.

7.10 Microscopía confocal de barrido laser (CLSM) en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Por medio de un microscopio confocal de barrido laser se observaron las formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao. Debido a los colorantes utilizados, la fibra resulto teñida en color azul, los carbohidratos en verde, las proteínas de rojo. A partir de las imágenes obtenidas en la Figura 5, se observa en la miga de pan blanco de caja un incremento evidente en la presencia de fibra, la cual se observa teñida en color azul, siendo mayor conforme al incremento de sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao. En los carbohidratos, los cuales están teñidos en color verde, solo se perciben estructuras de almidón, en la muestra control, mientras que, en las sustituciones de 5,10,15 y 20% este fue desdoblado e integrado con los componentes del pan, razón por la cual no se observan almidones, en cuanto a la sustitución con 25%, los gránulos de almidón se perciben intactos. La estructura de proteína se vio gravemente afectada conforme aumento la cantidad de fibra, observándose la formación de gluten solo en la muestra control y un poco en la sustitución de 5% mientras que las demás muestras no presentan una matriz proteica continua, presentandose de manera dispersa. Por ultimo las imágenes globales, muestran la interacción entre los tres componentes evaluados (fibra, carbohidratos y proteína), observando un correcto empalme en la muestra control, mientras que en las demás sustituciones se percibe que la fibra sobresale de la imagen global, particularmente en la sustitución de 25%, mayoritariamente se observan gránulos de almidón intactos, sobre la matriz global.

El contenido de fibra interfirió con la estructura de proteína en las formulaciones de pan, disminuyendo la formación de gluten conforme aumenta su concentración, esto se puede deber a que la fibra contiene grupos hidroxilo que interactúan con los enlaces de hidrógeno uniendo fuertemente grandes cantidades de agua mediante la capa externa de la pared celular iniciando un hinchamiento gelatinoso, limitando su disponibilidad para la correcta formación de la red del gluten, el cual es responsable de muchas de las características de los productos panificados, como la viscosidad y elasticidad en la masa, además de retener la difusión del gas,

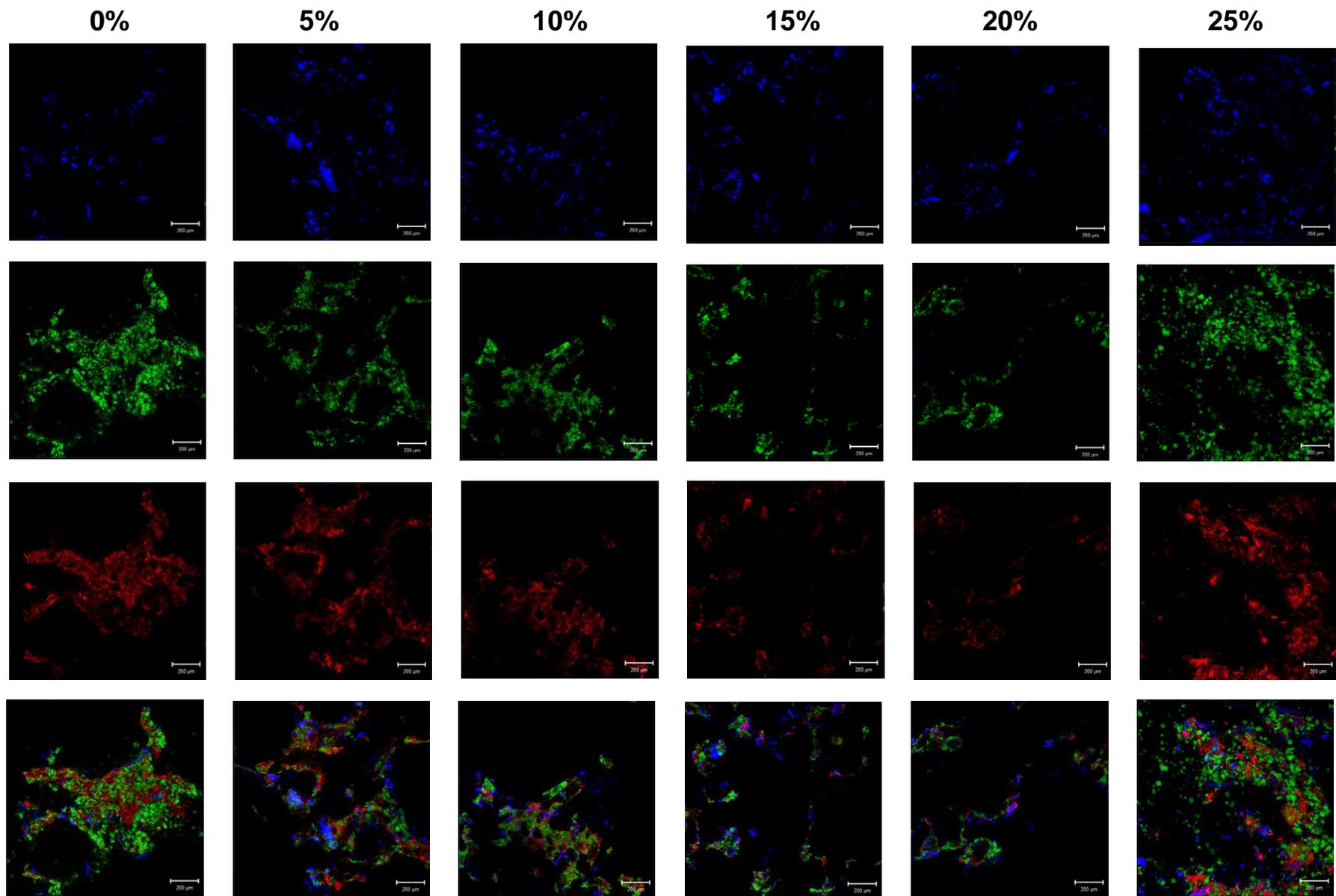


Figura 5. Imágenes de microscopía confocal laser por columna, obtenidas a 200µm en miga de pan blanco con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

formación y estabilización de las paredes alveolares en el pan horneado (Gómez y col., 2011; Rieder y col., 2012; Díaz, 2013; Totosaus y col., 2013; Sciarini y col., 2016).

El almidón intacto presentado en la sustitución con 25%, fue igual al reportado por Alvarez-Jubete y col. (2010) en sus panes con quinoa y alforfón, por lo que estos autores sugieren que la gelatinización parcial de los gránulos de almidón ocasionó el mayor número de gránulos de almidón integros, visualizados en microscopía confocal de barrido laser, lo cual confiere propiedades texturales de dureza, debido a que los gránulos de almidón no liberan el agua absorbida, disminuyendo la disponibilidad de agua para la formación del gluten (Noel, 2014).

La estructura dispersa de proteína puede deberse a que la fibra compite por la cantidad de agua disponible en la formulación de masa, impidiendo que se forme la red de gluten al no haber agua aprovechable para la unión de las proteínas que conforman el gluten (gliadina y glutenina) (Bisio, 2016; Karp y col., 2017). Caso similar a lo encontrado por Li y col. (2017) quienes analizaron la distribución de la fibra dietética soluble de salvado de trigo en masas de pan, encontrando que los panes fortificados con fibra dietética mostraron menos redes de proteínas, que los elaborados con trigo. De acuerdo con Jekle y Becker (2011), esto se debe a que la microestructura de la masa se ve modificada por la cantidad de agua disponible, por lo que desempeña el papel más importante en las propiedades viscoelásticas de la masa debido a su influencia en el desarrollo de la red de proteínas de gluten. El estudio de la microestructura del pan ha sido útil para determinar los cambios que ocurren en la estructura física durante la preparación del pan, por lo que la determinación de las fracciones y la localización del almidón y el gluten en el desarrollo de la masa es importante para la industria del pan (Peighambardoust y col., 2010), motivo por lo que el estudio del comportamiento interno del pan ha emergido recientemente como un punto importante de investigación para el desarrollo de nuevos productos de panificación.

7.11 Análisis de imagen de formulaciones de la miga de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

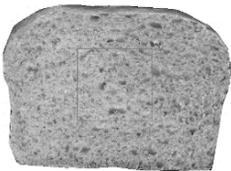
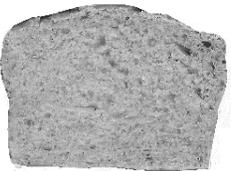
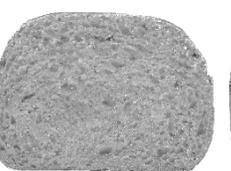
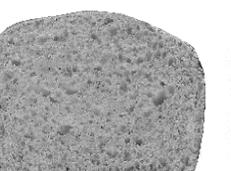
La calidad de la miga se determinó a través del número de alveolos en miga de pan, con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao, los resultados se muestran en la Tabla 9, observando diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en el número de alveolos (cm^2), siendo la muestra control (284.52cm^2) y sustitución con 5% (272.92cm^2) los de mayor cantidad de alveolos, con una tendencia de disminución conforme aumenta la cantidad de harina de cáscara de vaina de cacao, siendo la muestra con sustitución de 25%, la que presenta menor número de alveolos (6.27cm^2). y en el área de los alveolos (mm^2) las muestras con mayor sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao presentaron alveolos de mayor tamaño 20% (6.18), 25% (5.05) y estos disminuyen a menor sustitución.

En cuanto a las imágenes de la miga, se observa que conforme se sustituye harina de cáscara de vaina de cacao, la miga es más compacta y cerrada en el centro, mientras que en los extremos los alveolos son más prominentes y de formas variables.

El número de alveolos fue descrito por Upadhyay y col., (2012) señalando que la aireación depende de la velocidad de entrada de trabajo que desarrolla la masa y la rotación del aire que suministra oxígeno para facilitar este desarrollo Totosaus y col., (2013) mencionan en su investigación de pan blanco de caja con sustitución con lupinus y jatropha, que la interferencia en la formación de la red de gluten disminuye la expansión de células por la presión de gas durante la fermentación y la cocción.

En cuanto al área de alveolos mm^2 , Espino, (2015) señala que el tamaño estándar de los alveolos es generalmente de $0.75\text{--}1.5\text{mm}^2$. lo cual concuerda con el pan control y el pan con sustitución del 5%, mientras que las demás formulaciones sobrepasan este valor, presentando alveolos de tamaños desiguales conforme aumenta la sustitución con harina de cáscara de vaina de cacao, esto se debe al aumento de la porosidad de las masas, generada por la cantidad de fibra contenida en la muestra, la cual disminuye la capacidad de absorción. Totosaus y col., (2013) mencionan que la interferencia en la formación del gluten genera migas más

Tabla 9. Análisis de imagen de formulaciones de la miga de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao

Variables	Formulaciones					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Número de alveolos/cm ²	284.52 ± 5.63 ^a	272.92±5.44 ^a	233.31 ± 2.08 ^b	199.47 ± 3.19 ^{b,c}	151.78 ± 0.95 ^c	106.27 ± 0.24 ^c
Área de alveolos/(mm ²)	0.75 ± 0.06 ^c	1.15±0.95 ^c	2.23 ± 0.24 ^b	2.31 ± 3.19 ^b	6.18 ± 5.63 ^a	5.05 ± 5.44 ^a
Imágenes de miga de pan analizadas en Digimizer						

Los valores representan la media y desviación estándar, los superíndices ^{a,b,c} en la misma fila, representan diferencias significativas (P<0.05).

compactas con menor volumen del pan, cohesividad y resistencia a la extensión, obteniendo panes con textura más dura y de menor volumen, debido a la menor retención de gas carbónico por la disminución en la fracción alveolar. Caso similar a lo obtenido en esta investigación con la sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao. La calidad del pan consiste en tener una estructura esponjosa, la cual depende de la miga de pan, que requiere de la obtención de una masa con propiedades mecánicas apropiadas que permitan la retención de gases, reflejándose con una miga pareja (Sciarini y col., 2016), de acuerdo con Montoya y Giraldo (2010) la a_w define la estructura de la miga, por lo que valores entre 45-50% de agua, se logra una miga densa con alveolo pequeño, regular y corteza lisa; entre un 55-65% el alveolo es regular y pequeño; y con más del 70% de agua, se obtiene una miga con alveolos grandes e irregulares. En esta investigación los panes con las formulaciones 10,15,20 y 25% no cumplen con calidad panadera, debido al tamaño de sus alveolos que impiden la correcta retención de CO_2 y por ende el esponjamiento en el pan. El uso de gomas como la xantana y guar pueden mejorar el producto, aumentando la retención de gas al interior de la matriz, ayudando a la estabilidad de la masa, disminuyendo la dureza, aumentando la elasticidad y permitiendo una mayor capacidad de retención de agua (Martínez-Jiménez y col., 2015), por lo cual se recomienda en futuras investigaciones, la evaluación de estas gomas en panes con harina de cáscara de vaina de cacao, para comprobar si mejoran las características del producto, para volverlos más agradables a los consumidores.

7.12 Evaluación sensorial en formulaciones de pan con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Los resultados de la evaluación sensorial en las tres mejores formulaciones determinadas por los estudios reológicos aplicados en esta investigación, establecieron a la muestra control, sustitución con 5 y 10%, las cuales fueron evaluadas sensorialmente en 130 panelistas con edades entre 19 y 25 años de edad (Figura 6). Se observan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) en las tres muestras, siendo la muestra control la de mayor agrado en los consumidores (50%) indicada por la frase “me gusta mucho”, seguido de la muestra con sustitución

de 5% (30%) y por último la muestra con sustitución del 10% (18%). En cuanto al “me gusta moderadamente”, siguió el mismo orden descrito anteriormente obteniendo un (50%) en la muestra control, (43%) sustitución con 5% y (41%) la muestra de 10%. Mientras que en “no me gusta ni me disgusta” la muestra control obtuvo el menor porcentaje, en comparación con las demás muestras, obteniendo un (20%) y las muestras 5 y 10% empataron con un (40%) en este parámetro. En la opción de “me disgusta moderadamente” el pan con sustitución del 10% obtuvo el valor más alto con un (37%), seguido de la muestra de 5% (28%). Finalmente, menos del (1%) de los consumidores encuestados marcaron la opción de “me disgusta mucho”.

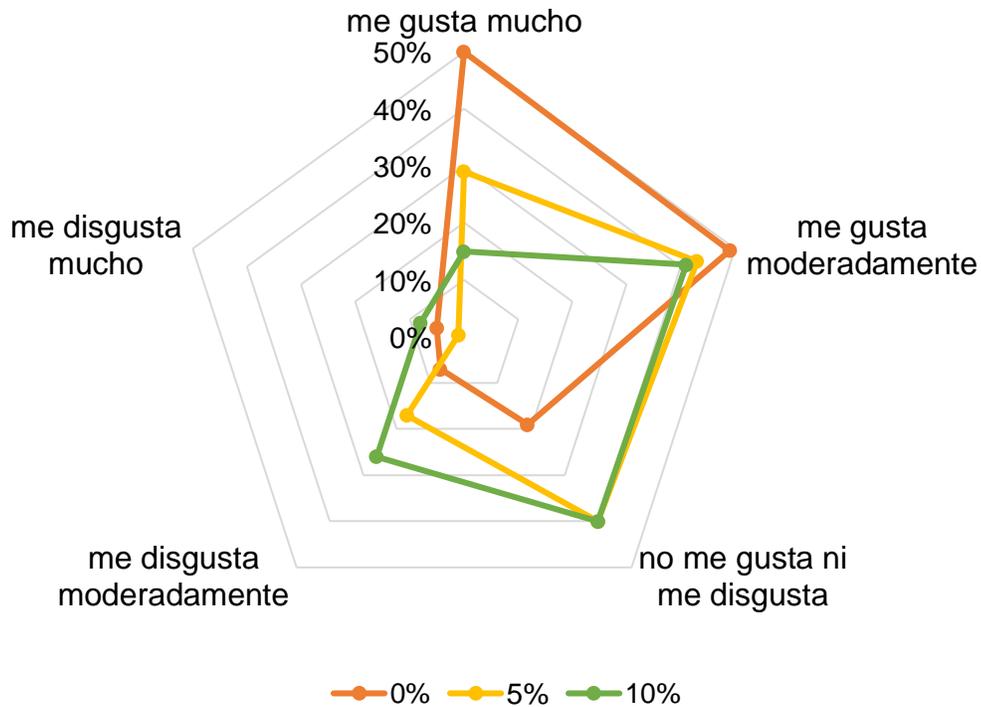


Figura 6. Diagrama radial de la evaluación sensorial en pan blanco de caja con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao.

Villamizar y col. (2016) evaluarón sensorialmente con prueba hedónica galletas con sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de cacao, reportando que la muestra con mayor agrado por los consumidores, fue la de menor sustitución con harina de cáscara de cacao, concluyendo que es necesario la inclusión de harina de trigo para lograr la aceptación del consumidor por la textura y apariencia característica que este genera en los productos de panificación, debido a que la elección de los consumidores está orientada por sus gustos y requisitos de aceptabilidad (Ramírez-Navas, 2012), es usual que un pan blanco de caja sea suave, esponjoso, de fácil masticabilidad, adhesivo y con resiliencia, por lo que, al presentar un pan con características diferentes a las convencionales, no es tan preferido como el tradicional, sin embargo, se debe considerar el beneficio a la salud que este puede otorgar a los consumidores. Por lo que se sugiere para futuras investigaciones la utilización de mejoradores como: levaduras, enzimas (lipasa, amilasa y proteasa), gomas (xantana y guar), ácido ascórbico y bromato de potasio, que generan una mejor miga, debido a que permite una mayor retención de gas y mejoran las propiedades mecánicas de la masa (Bisio, 2016). Para mejorar las características del pan blanco de caja con cáscara de vaina de cacao, volviéndolos texturalmente más agradables a los consumidores.

8 CONCLUSIÓN

En el presente trabajo de investigación se demuestra que la harina de cáscara de vaina de cacao, aporta cenizas y fibra, además de mostrar capacidad antioxidante, lo cual la convierte en una materia prima con interés agroindustrial en la industria panificadora.

Los estudios reológicos, mostraron que la incorporación de la fibra contenida en la harina de cáscara de vaina de cacao, impide la formación del gluten, modificando el comportamiento de la masa, volviéndola factible para la elaboración de pastas integrales. Sin embargo, la sustitución de harina de trigo por harina de cáscara de vaina de cacao a un nivel de 5% produce una masa con buenas propiedades reológicas, casi similares a la de la harina de trigo, con lo cual es viable para su uso en panificación.

La inclusión de harina de cáscara de vaina de cacao incrementa el valor nutricional y presenta capacidad antioxidante, con una depreciación en la calidad del pan, afectando a la dureza, cohesividad, resiliencia, volumen y calidad de la miga, debido al impedimento en la formación del gluten, así como la obtención de un color más oscuro a mayor sustitución y de un menor agrado por el consumidor, por lo que la sustitución del 5% con harina de cáscara de vaina de cacao produce un pan con propiedades considerables para su utilización en panificación, obteniendo un producto con valor agregado, debido al aporte de fibra, que propiciaría beneficio a la salud del consumidor.

De acuerdo con la presente investigación se comprueba que, la harina de cáscara de vaina de cacao modifica las propiedades reológicas, fisicoquímicas y sensoriales del pan blanco de caja, por lo que se recomienda para obtener un pan con las características reológicas, físicas y sensoriales agradables para los consumidores se realice el estudio en próximas investigaciones, sobre el efecto de la utilización de mejoradores (levaduras, enzimas, gomas, ácido ascórbico y bromato de potasio).

9 BIBLIOGRAFÍA

1. A.A.C.C. (1995). *American Association of Cereal Chemist* (8th ed. ed.). St.Paul: The Association.
2. A.O.A.C. (1995). *Official Methods of Analysis* (16 edición ed.). Washington D.C. USA: Association of Official Analytical Chemist.
3. Abosbora, W., Lianfu, Z., Dahir, M., Qingran, M., Musa, A., Gasmalla, M. A., y Khamis, A.O. (2016). Influence of doum (*Hyphaene thebaica L.*) flour addition on dough mixing properties, bread quality and antioxidant potential. *Journal Food Science and Technology*, 53 (1), 591-600.
4. Almeida, L.O., Nadabe dos Santos, R., Gomes, S.F., Estrada, M.L., Oliveira, A.S., Andrade, S.G., Rangel de Oliveira, J., Aguilar-Oliveira E. y Franco, M. (2018). Effect of the solid state fermentation of cocoa shell on the secondary metabolites, antioxidant activity, and fatty acids. *Food Science and Biotechnology*, 27 (1), 107-113.
5. Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E.K., y Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal Xours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, 230, 437-445.
6. Anzaldúa, M. (2005). *La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
7. Arone, H. D. (2015). *Tesis" Evaluación de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del pan tipo molde enriquecido con harina de quinua (Chenopodium willd) y chia (Salvia hispanica L.)*. Andahuaylas– Perú: Universidad Nacional José María Arguedas, Ingeniería Agroindustrial.
8. Azila, A.K., Azrina, A., Amin, I., Puziah, H., y Nur, A.A. (2014). Antioxidant properties of cocoa pods and shells. *Malaysian Cocoa Journal*, 8, 1-8.
9. Baños, E.B. (2007). *Tesis " Caracterización reológica de masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble"*. Tulancingo, Hidalgo: UAEH, ICAP.
10. Belghith, L.F., Chaari, F., Maaloul, M., Kallel, F., Abdelkafi, L., Ellouz, S.C., y Ghribi-Aydi, D. (2016). Wheat bread enrichment by pea and broad bean pods fibers: Effect on dough rheology and bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, 1-34.

11. Benzie, I.F., y Strain, J.J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239 (1), 70-76.
12. Bisio, A. (2016). *Cómo se hace. El pan.*(págs.13-20). USA:Editorial de Vecchi S.A.
13. Brand-Williams, Cuvelier, M.E., y Berset, C.L. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28 (1), 25-30.
14. Bhol, S., Lanka, D. y Don Bosco S.J.(2016). The quality characteristics and the antioxidant properties of the breads are incorporated with all the pomegranate fruit bagasse. *Journal of Food Science and Technology*. 53 (3): 1717-1721.
15. Budryn, G., Zyzelewicz, D., Nebesny, E., Oracz, J., y Krysiak, W. (2013). Influence of addition of green tea and green coffee extracts on the properties of fine yeast pastry fried products. *Food research international*, 50 (1), 149-160.
16. Chacha, A.F. (2016). Importancia de los principales métodos analíticos de control de calidad en el análisis bromatológico. Machala : Universidad Técnica de Machala. pp:1-3.
17. Chávez-Santoscoy, R.A., Lazo-Vélez, M.A., Serna-Sáldivar, S.O., y Gutiérrez-Urbe, J. A. (2016). Delivery of Flavonoids and Saponins from Black Bean (*Phaseolus vulgaris*) Seed Coats Incorporated into Whole Wheat Bread. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 222-236.
18. Chlopicka, J., Pasko , P., Gorinstein, S., Jedryas, A., y Zagrodzki, P. (2012). Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads. *Food Science and Technology*, 46, 548-555.
19. Conte, P., Del Caro, A., Balestra, F., Piga, A. y Fadda, C. (2018). Bee pollen as a functional ingredient in gluten-free bread: A physicalchemical, technological and sensory approach. *LWT-Food Science and Technology*. 90,1-7.

20. Daud, Z., Kassim, M., Sari, A., Aripin, M., Awang, H., Hatta, M., y Zainuri, M. (2013). Chemical composition and morphological of cocoa pod husks and cassava peels for pulp and paper production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7, 406-411.
21. Díaz, M.A. (2013). Efecto de la incorporación de fibras dietéticas en la calidad de panes para celíacos. *Tecnología de los Alimentos*, 1(1), 1-25.
22. De la Horra, A.E., Seghezze, M.L., Molfese, E., Ribotta, P.D., y León, A.E. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia*, 29 (2), 91-89.
23. De la Vega, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 13 (38), 27-32.
24. Delgado-Andrade, C., Conde-Aguilera, J.A., Haro, A., Pastoriza de la Cueva, S., y Rufián-Henares, J.A. (2010). A combined procedure to evaluate the global antioxidant response of bread. *Journal of Cereal Science*, 52, 239-246.
25. Espino, S.O. (2015). Tesis "Elaboración de pan blanco de caja y pan dulce tipo concha libre de gluten utilizando harina pregelatinizada de oxalis tuberosa". Tulancingo, Hidalgo: UAEH, ICAP.
26. Galanakis, C.M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26, 68-87.
27. García, O., Aiello, C., Peña, M.C., Ruiz, J.L., y Acevedo, I.C. (2012). Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12 (4), 918-928.
28. García-Molina, M.D., Giménez, M.J., Sánchez-León, S., y Barro, F. (2019). Gluten Free Wheat: Are we there? *Nutrients*, 11 (3), 1-13.
29. García-Villanova, B., y Guerra-Hernández, E. (2010). Cereales y Productos Derivados. En A. Gil, *Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos* (págs. 108-112). Madrid: Médica Panamericana.
30. Ghosthal, G., Shivhare, U.S., y Banerjee, U.C. (2017). Rheological properties and microstructure of xylanase containing whole wheat bread dough. *Journal of Food Science & Technology*, 54 (7), 1928-1937.

31. Giraldo, M.A., y Robledo, L.M. (2015). *Tesis "Estudio por microscopía de fuerza atómica (AFM) del soporte de TiO₂ sobre vidrio para la degradación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea"*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
32. Gómez, M., Jiménez, S., Ruiz, E., y Oliete, B. (2011). Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *Food Science and Technology*, 44, 2231-2237.
33. Grillo, G., Boffa, L., Binello, A., Mantegna, S., Cravotto, G., Chemat, F., Dizhbite, T., Lauberte, L. y Telysheva, G. (2019). Cocoa bean shell waste valorisation; extraction from lab to pilot-scale cavitation reactors. *Food Research International*, 115, 200-208.
34. Guadarrama-Lezama, A.Y., Carrillo-Navas, H., Vernon-Carter, E.J., y Alvarez-Ramirez, J. (2016). Rheological and thermal properties of dough and textural and microstructural features of bread obtained from nixtamalized corn/wheat flour blends. *Journal of Cereal Science*, 69, 158-165.
35. Güemes, N. (2002). *Tesis "Características Reológicas, Sensoriales y nutricionales de masas y productos de panificación fortificados con lupinus mutabilis"*. México: IPN.
36. Gutierrez, J.P., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Villalpando-Hernandez, S., Franco, A., Cuevas-Nasu, L. Romero-Martínez, M. y Hernández-Ávila, M. (2012). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales*. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública.
37. Helkar, P.B., Sahoo, A.K., y Patil, N.J. (2016). Review: Food industry by-products used as a functional food ingredients. *International Journal of waste Resources*, 6 (3), 248.
38. Hernández, E., Ruiz, L.E., y Mendoza-Corvis, F.A. (2016). Adición de Harina de yuca en masas de panificación. *Vitae*, 23 (1), 702-707.
39. Hernández, G., y Majem, S. (2010). *Libro Blanco del Pan*. (págs.39-43) España: Médica Panamericana .

40. Hernández, O.M. y Duran, O.D. (2012). Características reológicas del pan de agua producto autóctono de Pamplona (Norte de Santander). *Bistua:Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10 (2), 61-74.
41. Hye-Min, H., y Bong-Kyung, K. (2011). Antioxidant activity of hard wheat flour, dough and bread prepared using various processes with the addition of different phenolic acids. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 604-608.
42. Jan, S., Karde, V., Ghoroi, C., y Saxena, D.C. (2018). Effect of particle and surface properties on flowability of rice flours. *Food Bioscience*, 23, 38-44.
43. Jekle, M., y Becker, T. (2011). Dough microstructure: Novel analysis by quantification using confocal laser scanning microscopy. *Food Research International*, 44, 984-991.
44. Karim, A.A., Azlan, A., Ismail, A., Hashim, P., y Azilah, N.A. (2014). Antioxidant Properties of Cocoa Pods and Shells. *Malaysian Cocoa Journal*, 8, 1-8.
45. Karp, S., Wyrwicz, J., Andrzej, K.M., y Wierzbicka, A. (2017). Combined use of cocoa dietary fibre and steviol glycosides in low-calorie muffins production. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 944-953.
46. Lai, W.T., Khong, N.M., Lim, S.S., Hee, Y.Y., Sim, B.I., Lau, K.Y., y Lai, O.M. (2017). A review: Modified agricultural by-products for the development and fortification of food products and nutraceuticals. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 148-160.
47. Le Bleis, F., Chaunier, L., Chiron, H., Della Valle, G., y Saulnier, L. (2015). Rheological properties of wheat flour dough and French bread enriched with wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 65, 167-174.
48. Leao, D.P., Franca, A.S., Oliveira, L.S., Bastos, R., y Coimbra, M.A. (2017). Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) fruit by-products. *Food Chemistry*, 225, 146-153.
49. Li, Y., Ma, D., Sun, D., Wang, C., Zhang, J., Xie, Y. y Guo, T. (2015). Total phenolic, flavonoid content, and antioxidant activity of flour, noodles, and

- steamed bread made from different colored wheat grains by three milling methods. *The Crop Journal* . 1, 1-12.
50. Li, Q., Liu, R., Wu, T., y Zhang, M. (2017). Interactions between soluble dietary fibers and wheat gluten in dough studied by confocal laser scanning microscopy. *Food Research International*, 95, 19-27.
51. Loja, M.J.G. (2015). *Tesis* "sustitución parcial de la harina de trigo (*triticum spp*) por la harina de banano (*musa cavendish*), y su influencia en las características reológicas de la masa (elasticidad y tenacidad) para la elaboración de pan común". Machala el oro, Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
52. Lopes, C.L., Oliveira, F.J., Ramirez, R., Sossela de Freitas, R.J., Cachoeira, S.S., y Schnitzler, E. (2013). Structural, physico-chemical, thermal and pasting properties of potato (*Solanum tuberosum L.*) flour. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 111, 2211-2216.
53. López-Palestina, C.U., López-Duran, M.C., Gutiérrez-Tlahque, J., Arenales-Sierra, I.M., Laureano-López, B., Vargas-Torres, A., y Hernández-Fuentes, A.D. (2016). Efecto del uso de biopelículas sobre calidad poscosecha de tomate nativo "ojo de venado" (*Solanum lycopersicum L. var. cerasiforme*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1 (2), 405-411.
54. Magaña, B.E., Ramírez, W.B., Torres, C.P.I, Sánchez, M.D.I. y López, C.J. (2011). 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.
55. Marín-Bustamante, M.Q., Chanona-Pérez, J.J., Güemes-Vera, N., Arzate-Vázquez, I., Perea-Flores, M.J., Mendoza-Pérez, J. A., Calderón-Domínguez, G. y Casarez-Santiago, R.G. (2018). Evaluation of physical, chemical, microstructural and micromechanical properties of nopal spines (*Opuntia ficus-indica*). *Industrial Crops & Products*, 123, 707-718.
56. Martínez, R., Torres, P., Meneses, M., Figueroa, J., Pérez-Álvarez, J., y Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, Technological and in vitro antioxidant

- properties of cocoa (*Theobroma cacao L.*) co-products. *Food Reserch International*, 1 (49), 39-45.
57. Martínez-Jiménez, F., Rodríguez-Sandoval, E. y Hernández-Gómez, M.S. (2015). Impacto de la adición de caboximetilcelulosa y agua en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 18 (2), 445 - 454.
58. Martins, N., y Ferreira, I. C. (2017). Wastes and by-products: Upcoming sources of carotenoids for biotechnological purposes and health-related applications. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 33-48.
59. Montoya, L.J. y Giraldo, G.A. (2010). Caracterización físico-química de harina de trigo, masa y pan. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 20, 29-35.
60. Nareman, S. (2016). Sensory evaluation and nutritional value of balady flat bread supplemented with banana peels as a natural source of dietary fiber. *Annals of Agricultural Science*, 61 (2), 229-235.
61. Neri-Torres, E.E., Chanona-Pérez, J.J., Calderón, H.A., Torres-Figueredo, N., Chamorro-Cevallos, G., Calderón-Domínguez, G., y Velasco-Bedrán, H. (2016). Structural and Physicochemical Characterization of Spirulina (*Arthrospira maxima*) Nanoparticles by High-Resolution Electron Microscopic Techniques. *Microscopy and Microanalysis*, 22, 887-901.
62. Noel, G. (2014). Tesis" Efecto del almidón dañado sobre las propiedades de las masas panarias y la calidad de los panificados". Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
63. Obregón, A., Contreras, E., Muñoz, A., Ayquipa, R., y Fernández, W. (2013). Evaluación Sensorial y Físicoquímica de panes con sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harinas de maíz (*Zea mays*) y papa (*Solanum tuberosum*). *Ciencia e Investigación*, 16 (2), 73-76.
64. Olmedo, H. y Franco, I. (2016). Efecto sobre las propiedades reológicas y panificables de la enzima transglutaminasa en masas con almidón de yuca. *RIDTEC*, 12 (2), 56-67.

65. Ondo, S.E., Ryu, G.H. (2013). Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn meal with natural cocoa powder. *Food Science and Biotechnology*, 22, 167-175.
66. Panak, B.J., Ackar, D., Jokic, S., Jozinovic, A., Babic, J., Milicevic, B., Subaric, D. y Pavlovic, N. (2018). Cocoa Shell: A by-product with great potential for wide application. *Molecules*, 23, 1404-1418.
67. Pascual, C.G., y Zapata, H.J. (2010). Sustitución parcial de Harina de Trigo (*Triticum aestivum* L.) por Harina de Kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.), usando el Método directo y esponja y masa, en la elaboración de pan. *Revista Sociedad Química del Perú*, 76 (4), 377-388.
68. Peighambardoust, S.H., Dadpour, M.R., y Dokouhaki, M. (2010). Application of epifluorescence light microscopy (EFLM) to study the microstructure of wheat dough: a comparison with confocal scanning laser microscopy (CSLM) technique. *Journal of Cereal Science*, 51, 21-27.
69. Peñaloza-Espinosa, J., Salgado-Cruz, M.P., Chanona-Pérez, J.J., y Calderón-Domínguez, G. (2017). Efecto de las condiciones de horneado sobre el desarrollo de color y su relación con la capacidad antioxidante en pan dulce. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 8-14.
70. Perilla, N.E. (2010). Obtención de fibra cruda para consumo humano a partir de la cáscara de cacao tostado. *Revista Publicaciones e Investigación*. 4, 43-52.
71. Ramírez-Navas, J.S. (2012). Análisis sensorial: pruebas orientadas al consumidor. (págs:87-92). Colombia: Editorial ReCiTelA.
72. Rieder, A., Holtekjolen, A.K., Sahlstrom, S., y Moldestad, A. (2012). Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 1 (1430), 44-52.
73. Saavedra, W.C. (2017). Tesis "Análisis de Textura en Cereales". Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
74. SAGARPA. (2016). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. México: SAGARPA.

75. Saha, S., Gupta, A., Singh, S. R., Bharti, N., Singh, K.P., Mahajan, V., y Gupta, H.S. (2011). Compositional and varietal influence of finger millet flour on rheological properties of dough and quality of biscuit. *Food Science and Technology*, 44, 616-621.
76. Salager, J.L. (2007). *Granulometría Teoría*. (págs. 1-6). Mérida-Venezuela: Universidades de los Andes, Facultad de Ingeniería.
77. Sánchez, R., Martín, M., Palma, S., López, B., Bermejo, J., y Gómez, C. (2015). Indicaciones de diferentes tipo de fibra en distintas patologías. *Nutrición Hospitalaria*, 31 (6), 2372-2383.
78. Sciarini, L.S., Steffolani, M.E., y León, A.E. (2016). El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *AGRISCIENTIA*, 33 (2), 61-74.
79. Secretaría de Economía. (22 de Febrero de 2019). *gob.mx*. Obtenido de Conoce más sobre la industria panificadora en México: <https://www.gob.mx/se/articulos/conoce-mas-sobre-la-industriapanificadora-en-mexico?idiom=es>
80. Sharma, S.K., Bansal, S., Mangal, M., Dixit, A.K., Gupta, R.K., y Mangal, A.K. (2016). Utilization of food processing by-products as dietary, functional, and novel fiber: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56 (10), 1647-1661.
81. Sherwood, J., Clark, J.H., Farmer, T.J., Herrero-Davila, L., y Moity, L. (2017). Recirculation: A new concept to drive innovation in sustainable product design for bio-based products. *Molecules*, 22 (1), 48.
82. Shodehinde, S.A., y Adamson, A. (2016). Tapping in to the good use of cocoa (*Theobroma cacao*) pod husks: towards finding alternative sources of nutrients for animals in Nigeria. *Journal of Food Technology and Preservation*, 1 (1), 42-46.
83. Siddhuraju, P., y Becker, K. (2007). The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seed extracts. *Food Chemistry*, 101 (1), 10-19.
84. Sotelo, L., Alvis, A., y Arrázola, G. (2015). "Evaluación de la epicatequina, teobromina y cafeína en cáscaras de cacao (*Theobroma cacao* L.),

- determinación de su capacidad antioxidante". *Revista Colombiana de ciencias hortícolas*, 9 (1), 124-134.
85. Stahel, E.R. (2016). The circular economy. *Nature*, 531, 435-438.
86. Tapia, R. (2005). *NORMA Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2005, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia*. México: Diario Oficial de la Federación.
87. Toro, S., Estupiñan, M.R., y López, L.J. (2014). Cocoa husk as source of natural phenolic antioxidants: comparison of polyphenols and antioxidant activity in theobroma cacao beans and husk. *Congreso Internacional de Investigación e Innovación en Ingeniería, ciencia y Tecnología de alimentos*. Medellín : Fac. Nal. Arg. 1 (1), 1-9.
88. Totosaus, A., López, H., y Güemes-Vera, N. (2013). Effect of *Lupinus (Lupinus albus)* and *Jatropha (Jatropha curcas)* protein concentrates on wheat dough texture and bread quality: optimization by A D-optimal mixture design. *Journal of Texture Studies*, 1 (1), 1-12.
89. Ummi, K.L., Nurul , S.A., Suzihaque, M.U., Syafiza, A.H., y Rabiatal, A.A. (2018). Evaluation of Antioxidant Activity and Total Phenolic Content in Bread Incorporated with Green Coffee Beans (GCB). *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4), 156-160.
90. Upadhyay, R., Debjani, G., y Mehra, A. (2012). Characterization of bread dough: Rheological properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 109, 104-113.
91. Vázquez, L., Verdú, A.S., Islas, A.R., Barat, J.M., Grau, M.R., y Casillas, P. (2017). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena, maíz y sorgo sobre las propiedades reológicas de la masa, texturales y sensoriales del pan. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 71 (25), 19-26.
92. Vega, O., De Marco, R. y Di Risio C. (2015). Propiedades Físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de enzimas lacasa, xilanas y lipasa. *Escuela de Ingeniería en Antioquia* 12 (24), 87-100.

93. Villamizar, Y.L., Rodríguez, J.S., y León, L.C. (2016). Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao L.*) variedad CCN-51.1. *Cuaderno Activa*, 1 (9), 65-75.
94. Villamizar-Jaimes, A.R., y López-Giralgo, L.J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22 (1), 75-83.
95. Vogrinc, M., Timoracka, M., Melichacova, S., Vollmannova, A., y Kreft, I. (2010). Degradation of Rutin and Polyphenols during the Preparation of Tartary Buckwheat Bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 4883-4887.
96. Vriesmann, L.C., De Mello, C.A., y De Oliveira, P.C. (2011). Cacao pod husks (*Theobroma cacao L.*): Composition and hot-water-soluble pectins. *Industrial Crops and Products*, 34, 1173-1181.
97. *World Cocoa Foundation*. (08 de Marzo de 2019). Obtenido de World Cocoa Foundation: <https://www.worldcocoafoundation.org/>

AcademiaJournals.com



Universidad Veracruzana

ACADEMIA JOURNALS



OPUS PRO SCIENTIA ET STUDIO

Congreso Internacional de Investigación Academia Journals
Tuxpan 2018
Ciencias y Sustentabilidad

CERTIFICADO

otorgado a

L.N. María Fernanda Ríos Pérez
Dra. Norma Güemes Vera
Dr. Sergio Soto Simentel
Dra. Aurorra Quintero Lira

por su artículo intitulado

PROPIEDADES DE EXTENSIBILIDAD, TEXTURA Y ADHESIVIDAD DE
MASAS ELABORADAS CON MEZCLAS DE HARINA DE TRIGO Y
HARINA DE CÁSCARA DE CACAO

Artículo No. **Tux365**

El artículo fue presentado en el congreso llevado a cabo los días 25 al 27 de septiembre del año 2018 en Tuxpan, Veracruz, México y se incluyó (1) en los volúmenes de internet publicados por AcademiaJournals.com con ISSN 1946-5351, Vol. 10, No. 6, 2018 online e indización por Fuente Académica Plus de EBSCOHOST y (2) en el e-libro intitulado *La investigación y su contribución a la formación profesional*, mismo que cuenta con ISBN 978-1-939982-40-7 online. Ambas publicaciones tienen enlaces para su libre acceso en el portal AcademiaJournals.com/tuxpan.

FACULTAD DE CONTADURÍA



Dr. Edalid Álvarez Velázquez **ZONA POZA RICA-TUXPAN**
Presidente de la Comisión Organizadora
Directora de la Facultad de Contaduría
Universidad Veracruzana Región Poza Rica-Tuxpan

Dr. Rafael Moras
Editor, Academia Journals
Profesor de Ing. Industrial
St. Mary's University, San Antonio, Texas



UNAM
CUAUTILÁN

5° CONGRESO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Otorgan la presente

CONSTANCIA

AL AUTOR(ES):

María Fernanda Ríos Pérez; Norma Güemes Vera; Sergio Soto Simental

POR EL TRABAJO EN MODALIDAD PRESENTACIÓN ORAL TITULADO:
**PRUEBAS REOLÓGICAS EN FORMULACIONES DE MASA Y PAN CON
SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE CÁSCARA DE VAINA DE
CACAO**

Presentado en el 5º Congreso de Ciencia, Educación y Tecnología
Que se llevó a cabo del 17 al 21 de junio de 2019 en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Estado de México a 09 mayo de 2019

Alma L. Revilla V.

Dra. Alma Luisa Revilla Vázquez
Jefa de la División de Ciencias Químico Biológicas

