Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Agroindustria Alimentaria

Ingeniería en Agroindustria Alimentaria

Proyecto Especial de Graduación

Desarrollo de harina a base de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao L.*) para la elaboración de productos de panificación y chocolatería

Estudiante

Kazzandra Isabelle Alvarado Hampton

Reichell Pilar Cruz Cabrera

Asesores

Jorge Cardona, Ph.D.

Sandra Karina Espinoza, M.Sc.

Honduras, noviembre 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora del departamento de Agroindustria Alimentaria

JULIO NAVARRO

Secretario General

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Dr. Jorge Cardona, nuestro asesor de tesis, por su invaluable guía y apoyo constante a lo largo de todo el proceso de investigación. Agradecemos también a la Ing. Katherine Alfaro por su apoyo durante la recolección de datos y su disposición para ayudarnos en cada etapa del proyecto. Nuestra gratitud se extiende a la Ing. Steffany Artica por su colaboración significativa en el desarrollo de este trabajo. Sin el apoyo y la colaboración de estas personas, este proyecto no habría sido posible.

Contenido

Agradecimientos 3

Índice de Cuadros 7

Índice de Figuras 9

Índice de Anexos 10

Resumen 12

Abstract 13

Introducción 14

Materiales y Métodos 17

Localización del Estudio 17

Materia Prima – Cascarilla de Cacao 17

Diseño Experimental 18

Fase I: Caracterización de la Harina de Cascarilla de Cacao (HCC) 19

Elaboración de la HCC 19

Análisis de Color 20

Granulometría 20

Fibra Cruda 21

Fase II: Desarrollo de la Formulación, Pruebas Fisicoquímicas, y Análisis Sensorial de las Barras de los Brownies y el Chocolate 22

Elaboración de barra de chocolate y brownies 22

Análisis Sensorial 23

Análisis Físico 24

Análisis Estadístico 24

Etiqueta Nutricional 25

Resultados y Discusión 26

Fase I: Caracterización de la Harina de Cascarilla de Cacao 26

Composición Química Proximal de la Harina de Cascarilla de Cacao 26

Granulometría 28

Color 30

Fibra Cruda 31

Fase II: Elaboración del Brownie y la Barra de Chocolate 32

Fase II – a 33

Análisis físicos del chocolate 33

Color 33

Pruebas Afectivas del Chocolate 34

Análisis Sensorial del Chocolate 34

Análisis de Correlación 35

Análisis Sensorial de Preferencia 35

Etiqueta Nutricional 36

Fase II- b 38

Análisis Físico del Brownie 38

Color 38

Textura 39

Pruebas Afectivas de Brownies 41

Análisis Atributos Sensoriales 41

Análisis de Correlación 42

Análisis Sensorial de Preferencia 42

Etiqueta Nutricional 43

Conclusiones 46

Recomendaciones 47

Referencias 48

Anexos 53

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Formulación de los Tratamientos con Sustitución Parcial de Azúcar por Harina de Cascarilla de Cacao (HCC) en el Desarrollo de Chocolate 22

Cuadro 2 Formulación de los Tratamientos con Sustitución Parcial de Mezcla Genérico de Brownie por Harina de Cascarilla de Cacao (HCC) 23

Cuadro 3 Composición nutricional y química de la cáscara del grano de cacao 26

Cuadro 4 Resultados de la prueba T media de granulometría de la harina fina y gruesa 30

Cuadro 5 Resultados del análisis de color en valores de luminosidad, ángulo de matiz y croma de la harina gruesa y fina de cascarilla de cacao 30

Cuadro 6 Resultados de la prueba T media de los parámetros de color de la harina fina y la harina gruesa 31

Cuadro 7 Resultados de colorimetría en valores de luminosidad, ángulo de matiz y croma de chocolate con sustitución harina de cascarilla de cacao y el control 33

Cuadro 8 Resultados del Análisis Sensorial de aceptación de Chocolate con sustitución parcial con cascarilla de cacao 34

Cuadro 9 Resultados del análisis de correlación de cada atributo con la aceptación general. 35

Cuadro 10 Resultados de pruebas de preferencia en chocolate 36

Cuadro 11 Resultados del análisis de color en la escala de Luminosidad, ángulo de matiz y croma de los tratamientos de brownie con sustitución parcial de cascarilla de cacao y el tratamiento control 38

Cuadro 12 Resultados del Análisis de Textura en Brownies con Sustitución Parcial de HCC y del Tratamiento Control 40

Cuadro 13 Resultados del Análisis Sensorial de los Atributos de Apariencia, Color, Olor, Textura, Sabor, Dulzura, Amargura y Aceptación General de los Brownies 42

Cuadro 14 Resultados de Análisis de correlación del brownie. 42

Cuadro 15 Resultados de Prueba de Preferencia de Brownies 43

Índice de Figuras

Figura 1 Partes del grano de cacao 18

Figura 2 Flujo de proceso para la elaboración de la harina de cascarilla de cacao 19

Figura 3 Distribución granulométrica de la harina fina y la harina gruesa de cascarilla de cacao. 29

Figura 4 Resultados de porcentajes de fibra en la harina fina y la harina gruesa de cascarilla de cacao. 32

Figura 5 Etiqueta nutricional de chocolate con 0% y 9% de sustitución con harina de cascarilla de cacao. 37

Figura 6 Etiqueta nutricional de brownie con 0% y 16% de sustitución parcial de HCC 45

Índice de Anexos

Anexo A Hoja de evaluación sensorial de brownies con sustitución parcial de harina de cascarilla de cacao 53

Anexo B Hoja de evaluación sensorial de barra de chocolate con sustitución parcial de harina de cascarilla de cacao 54

Anexo C Tabla de prueba de Basker y Kramer 55

Anexo D Diagrama de flujo de proceso de la elaboración de los brownies con sustitución parcial de cascarilla de cacao 56

Anexo E Diagrama de flujo empleado en la elaboración de las barras de chocolate 57

Resumen

La cáscara de cacao, que representa el 20% del grano de cacao seco, suele considerarse desecho, aunque es rica en nutrientes y tiene potencial de revalorización. Este estudio evaluó la sustitución parcial de harina de cáscara de cacao (HCC) en productos de panadería y chocolate, analizando su impacto en características fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales. Se realizaron dos fases: caracterización de la HCC (tamaño de partícula, color y contenido de fibra) y desarrollo de brownies y barras de chocolate. En los brownies, se probaron niveles de sustitución de HCC del 0%, 10%, 16% y 22%, reemplazando ingredientes secos; en las barras de chocolate, se sustituyó azúcar por HCC en niveles del 0%, 3%, 6% y 9%. La sustitución del 16% de HCC en brownies mantuvo la aceptación sensorial y aumentó en un 200% el contenido de fibra, clasificándolos como fuente de fibra, mientras que el 22% afectó textura y sabor. La HCC aclaró la coloración y aumentó la luminosidad en brownies. En el chocolate, los niveles de sustitución fueron aceptados sensorialmente y permitieron reducir hasta un 30% de azúcar, logrando un 40% más de fibra con el 9% de HCC, calificándolo como excelente fuente de fibra.

Palabras clave: coproducto, evaluación sensorial, revalorización, snack saludable, sustitución.

Abstract

The cocoa husk, which accounts for 20% of the dry cocoa bean, is often considered waste, although it is rich in nutrients and has potential for revalorization. This study evaluated the partial substitution of cocoa husk flour (CHF) in bakery and chocolate products, analyzing its impact on physicochemical, sensory, and nutritional characteristics. The study involved two phases: characterization of the CHF (particle size, color, and fiber content) and the development of brownies and chocolate bars. In the brownies, CHF substitution levels of 0%, 10%, 16%, and 22% were tested, replacing dry ingredients; in the chocolate bars, sugar was replaced with CHF at levels of 0%, 3%, 6%, and 9%. A 16% CHF substitution in brownies maintained sensory acceptance and increased fiber content by 200%, qualifying them as a source of fiber, while the 22% level affected texture and flavor. The CHF lightened the color and increased brightness in brownies. In the chocolate, the substitution levels were sensorially accepted and allowed for a sugar reduction of up to 30%, achieving 40% more fiber with 9% CHF, qualifying it as an excellent source of fiber.

Keywords: coproduct, healthy snack, revalorization, sensory evaluation, substitution.

Introducción

En la búsqueda constante de alternativas saludables y sostenibles en la industria alimentaria, se ha despertado un interés creciente en el aprovechamiento de subproductos agroindustriales para desarrollar productos alimenticios funcionales (Alejandra M. Preciado-Saldaña et al., 2022). Uno de estos subproductos con gran potencial es la cascarilla de cacao, un coproducto generado en grandes cantidades durante el proceso de producción de cacao (Beda M. Yapo et al., 2013).

La cascarilla del cacao, también conocida como tegumento o testa, es uno de los principales residuos generados tras la separación del cotiledón en un proceso de secado y tostado, mientras que los fragmentos rotos del cotiledón, denominados nibs y libres de cáscara, se utilizan en la elaboración de chocolate (Jozinović et al., 2018). Considerada como un subproducto industrial en la producción de cacao, la cáscara de cacao suele ser subutilizada o vista como residuo, y se emplea principalmente como combustible en calderas (Arlorio et al., 2005). Sin embargo, también se han explorado aplicaciones en la alimentación animal y en la preparación de fertilizantes (Ntiamoah y Afrane, 2008).

A pesar de las aplicaciones actuales de la cascarilla del cacao, los esfuerzos para su aprovechamiento en la alimentación humana han sido limitados, en comparación con otros usos industriales. Esta subutilización destaca una importante oportunidad para la investigación y el desarrollo de productos alimenticios más sostenibles, como sugieren estudios recientes sobre la potencialidad nutricional y funcional de este subproducto (Rojo-Poveda et al., 2020b).

Se estima que la producción de cascarilla de cacao es bastante significativa, representando entre el 12% y el 20% de la semilla seca de cacao (Mendes & Lima, 2007). La cantidad total de este co-producto a nivel mundial se calcula en aproximadamente 700 mil toneladas, lo que constituye una cantidad considerable (Organización Internacional del Cacao, 2016).

Teniendo en cuenta los beneficios para la salud asociados al consumo de fibra dietética y polifenoles en la dieta, la presencia de ambos componentes bioactivos en la cascarilla de los granos

de cacao podría resaltar el interés de dicho producto como ingrediente potencial para la industria de alimentos funcionales (Lecumberri, Mateos, et al., 2007a).

Por otro lado, el mercado mundial de la panadería experimenta un fuerte crecimiento debido a la creciente popularidad de los pasteles personalizables y a la mayor demanda de productos alimentarios innovadores (Mickiewicz y Britchenko, 2022). Aunque el valor de la industria mundial de productos de panadería ha alcanzado un valor estimado de 350.000 millones de dólares en 2020, se espera que crezca en más de 100.000 millones de dólares en los próximos 5 años, la Organización Mundial de la Salud recomendó en el 2020 la reducción de la cantidad de energía, grasas saturadas, grasas trans, sodio y azúcares añadidos (World Health Organization, 2020). El desarrollo de productos de panadería enriquecidos tiene como objetivo mejorar el estado nutricional de los pacientes al tiempo que se modifican otras características del producto, como la digestibilidad, la estabilidad de la masa, la capacidad antioxidante y la vida útil, entre otras (Milla et al., 2021).

El brownie es uno de los productos de panificación más famosos del mundo. Su origen tiene muchas variantes, pero todas coinciden en su creación accidental por la falta de polvo leudante en una mezcla (Weinstein y Scarbrough, 2002). En general, los brownies son productos horneados con sabor a chocolate y forma cuadrada o rectangular. Se consumen en todo el mundo, aunque son originarios de Estados Unidos, y se elaboran con harina, grasa, azúcar, huevos y chocolate (Betancourt Suarez et al., 2016). Con anterioridad la formulación tradicional de este producto clasificado como sobremesa se ha modificado con el objetivo de brindar alternativas de consumo a productos ajenos a este y también para aumentar su valor nutritivo. Así, (Insuasti Benítez y López Gómez, 2021) utilizaron la pulpa húmeda del café con el propósito de aprovechar este subproducto para evaluar su efecto en las características físico-químicas, sensoriales y nutricionales en la elaboración de brownies.

Por otra parte, la industria chocolatera ha sido durante mucho tiempo una fuente de deleite para los amantes del chocolate en todo el mundo. Sin embargo, en los últimos tiempos, se ha vuelto cada vez más evidente que muchas barras de chocolate con bajos contenidos de sólidos de cacao en

el mercado carecen de un componente esencial en la dieta humana: la fibra dietética. Cabe destacar que incluso el chocolate con alto contenido de cacao puede tener un aporte bajo de fibra dietética. La fibra desempeña un papel fundamental en la salud digestiva y puede tener beneficios significativos para la salud en general (Cabrera Llano y Cárdenas Ferrer, 2006).

El objetivo de la presente investigación se centró en la utilización de la cascarilla de cacao, un subproducto de la misma industria chocolatera, como una excelente oportunidad para aumentar los niveles de fibra dietética en las barras de chocolate sin necesidad de invertir en otros insumos más costosos para la fortificación de este alimento. Además, de evaluar la viabilidad de sustituir parcialmente mezcla de brownie por harina de cascarilla de cacao en la industria de la panificación para crear productos más rentables, más nutritivos y aprovechar nutricionalmente un subproducto que actualmente se considera un desecho de la industria del cacao. Además, se busca determinar qué porcentaje máximo de harina de cascarilla de cacao se puede sustituir en la producción de productos de panificación y chocolatería sin comprometer la nutrición, calidad, sabor y textura del producto final. Adicionalmente, se realizó una etiqueta nutricional de cada producto con el fin de comparar cómo la adición de harina de cascarilla de cacao influye en el perfil nutricional de los productos.

Materiales y Métodos

Localización del Estudio

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, ubicada en el departamento de Francisco Morazán, Honduras.

La elaboración de la harina de cascarilla de cacao se realizó en la Planta Hortofrutícola de Procesamiento de Zamorano (PHF), los tratamientos para el brownie se llevaron a cabo en la Planta de Innovación de Alimentos (PIA). los tratamientos de la barra de chocolate se ejecutaron en la misma PHF. Los análisis fisicoquímicos se efectuaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ) y la evaluación sensorial se realizó en el Laboratorio de Análisis Sensorial de Alimentos de Zamorano.

Materia Prima – Cascarilla de Cacao

La harina empleada en la elaboración de las barras de chocolate y los brownies se obtuvo a partir del cotiledón de cacao (*Theobroma cacao*) que se muestra en la (Figura 1) proveniente de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). El cultivo se encontraba en la región de Peña Blanca, Lago de Yojoa, Honduras, a una altitud de 700-860 msnm. El proceso de fermentación se llevó a cabo durante 7 días con dos volteos, en cajas escalonadas de madera, y el secado se realizó utilizando camas africanas durante 8 días. Las condiciones ambientales del grano incluyeron una humedad del 9%, con una tolerancia a defectos del 2%. El almacenamiento de los granos fermentados secos se realizó en condiciones herméticas a una temperatura de 18-24 °C, con una humedad relativa del 65-68%.

Figura 1

Partes del grano de cacao

Nota. Tomado de Rojo-Poveda et al., (2020b)

Diseño Experimental

Este proyecto se estructuró en dos fases. En la Fase I, se llevó a cabo un análisis fisicoquímico de la harina de cascarilla de cacao (HCC), utilizando la técnica de análisis proximal con un diseño completamente al azar.

En la Fase II, se llevó a cabo la formulación y elaboración de brownies y chocolate. Se desarrollaron cuatro tratamientos para cada producto, en los cuales se sustituyó parcialmente la mezcla comercial de brownie por harina de cáscara de cacao (HCC), además de elaborar cuatro tipos de barras de chocolate variando los niveles de adición de HCC. En total, se emplearon 12 unidades experimentales para cada producto desarrollado. Además, a todos los tratamientos se les realizaron pruebas fisicoquímicas. Y se llevó a cabo con un diseño experimental, completamente al azar.

Finalmente, se llevó a cabo un análisis sensorial con una prueba de aceptación de ambos productos empleando una escala hedónica de 9 puntos.

Fase I: Caracterización de la Harina de Cascarilla de Cacao (HCC)

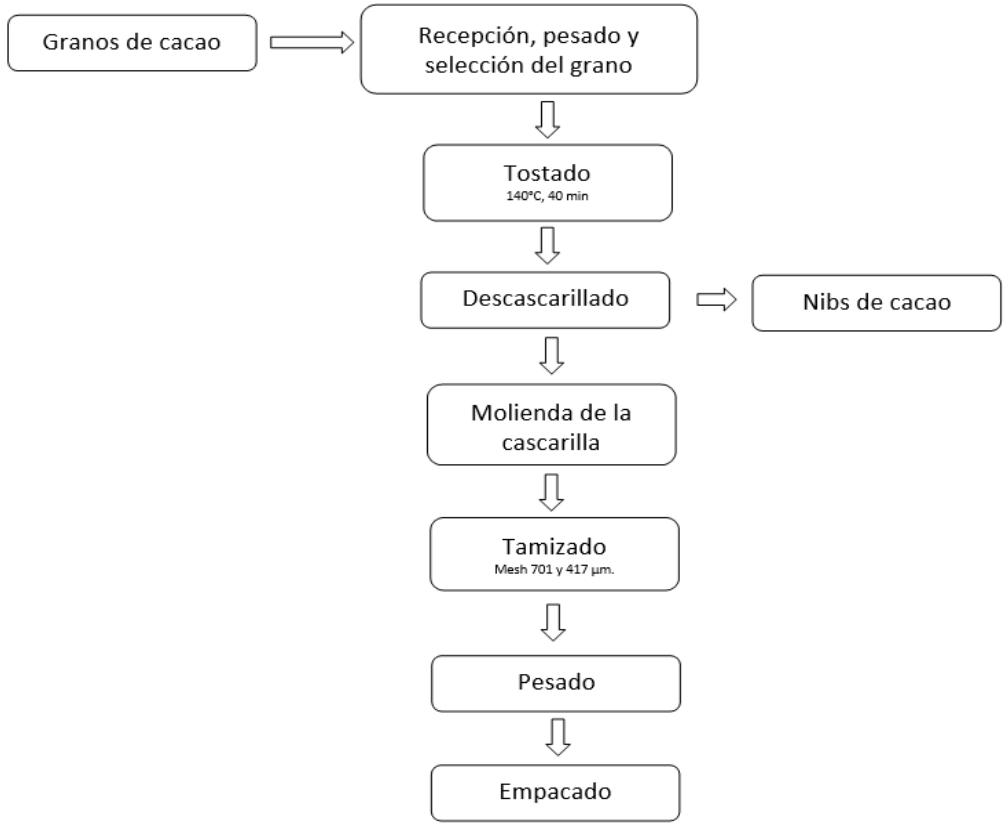
Elaboración de la HCC

El proceso (Figura 2) comenzó con la recepción, pesado y selección del grano. A continuación, el cacao fermentado seco fue tostado a 140 °C durante 40 minutos y posteriormente sometido al proceso de descascarillado, donde sólo se utilizó la cascarilla. Luego, se procedió a la molienda de la cascarilla y al tamizado con mallas de 701 y 417 µm. Posteriormente, se realizó el pesado final y se empaquetó la harina en bolsas de polietileno de baja densidad hasta su uso en posteriores análisis.

La harina fue almacenada en un cuarto de almacenamiento cerrado, con un ambiente seco, con una temperatura entre los 24 y 26 °C y con ventilación constante.

Figura 2

Flujo de proceso para la elaboración de la harina de cascarilla de cacao



Análisis de Color

Se realizó un análisis en tres repeticiones siguiendo el protocolo establecido por Colorflex Huenterlab, utilizando los valores L*, a* y b*. En este contexto, L* representa la luminosidad, a* indica la intensidad del color rojo, y b* denota la intensidad del color amarillo. Los rangos de los parámetros fueron los siguientes:

Para L*: la luminosidad varía desde 0, que corresponde al rojo, hasta 100, que representa el blanco.

Para a*: mide la tendencia del color al rojo (+60) y verde (-60).

Para b*: mide la tendencia de color al amarillo (+60) y azul (-60).

En la escala angular en grados para describir el matiz (ángulo de tono) en términos de dirección en el plano a∗ y b∗:

0° apunta hacia la derecha (rojo),

90° apunta hacia arriba (amarillo),

180° apunta hacia la izquierda (verde),

270° apunta hacia abajo (azul).

Granulometría

El método AOAC 965.22 (1990) se utilizó para clasificar las partículas por tamaño. Se tomaron 50 gramos de muestra de harina de cascarilla de cacao y se tamizaron utilizando un conjunto de cinco tamices con aberturas de malla equivalentes a 2 mm, 850 µm, 600 µm, 425 µm, y 250 µm, con un diámetro de 20 cm. Antes y después de la medición, los tamices fueron pesados, y se calculó el porcentaje de retención de cada uno utilizando la siguiente ecuación:

$$\%\ de\ retención = \frac{(Ptm - Pt)}{Pm} x\ 100 \qquad [1]$$

Donde:

Ptm: peso del tamiz con la muestra

Pt: peso del tamiz

Pm: peso de la muestra

Fibra Cruda

Se empleó el método AOAC 962.09 para analizar la fibra cruda, utilizando el equipo analizador de fibra de ANKOM A200 (Latimer 2012). La preparación de las muestras incluyó la identificación y el registro del peso de los filtros ANKOM F-57. Inicialmente, se determinó el peso vacío de cada filtro, luego se pesaron 1±0.005 g de las muestras homogeneizadas en cada repetición. Posteriormente, cada filtro se selló utilizando una selladora "ATW Manufacturing" de 220V.

Para la digestión, se prepararon reactivos, incluyendo ácido sulfúrico 0.255±0.005N al 1.25% y hidróxido de sodio 0.313±0.005N al 1.25%, ambos en una cantidad de 2000 mL. Durante el proceso de digestión, los filtros que contenían las muestras se colocaron en el analizador de fibra, se agregó ácido sulfúrico al 1.25%, y se activaron las funciones de agitación y calor durante una hora, hasta alcanzar una temperatura de 70 °C. Posteriormente, se detuvo el equipo, se liberó el HCL, se agregó el NaOH y se esperó una hora adicional. Después, se realizaron tres enjuagues con agua. Una vez completada la digestión de la muestra, se trasladaron los filtros del equipo digestor a un horno Fisher Scientific 750F a 105 °C durante dos horas para el secado. Finalmente, se registró el peso de los filtros después del secado para utilizar la Ecuación 2 en la determinación de la fibra cruda.

$$\% \, fibra \, cruda = \frac{(w_3 - w_1)}{w_2} \, x \, 100 \qquad [2]$$

Donde:

W1: peso de tara del filtro

W2: peso de la muestra

W3: peso final después del secado

Fase II: Desarrollo de la Formulación, Pruebas Fisicoquímicas, y Análisis Sensorial de las Barras de los Brownies y el Chocolate

Se llevaron a cabo cuatro tratamientos tanto para brownie como para chocolate. Se contó con tres niveles de sustitución y un control sin la adición de HCC, respectivamente. En el caso del brownie, se sustituyó la mezcla de brownie por HCC en proporciones del 10, 16 y 22%. Por otro lado, en el chocolate, se sustituyó el azúcar por HCC con proporciones de 3, 6 y 9%.

Para determinar los niveles de sustitución de harina de cascarilla de cacao (HCC) en los productos, se llevó a cabo un cálculo de formulación basado en los datos reportados en la literatura sobre la cantidad de fibra dietética presente tanto en la cascarilla de cacao como en las barras de chocolate y brownies. A partir de esta información, se estableció el nivel de sustitución necesario para clasificar el producto como una excelente fuente de fibra, sin exceder las recomendaciones de la RTCA, que estipulan que el consumo de fibra no debe superar el 20% del valor diario recomendado. Una vez determinado el nivel más alto de sustitución que cumplía con esta condición, se seleccionaron niveles equidistantes hacia abajo, lo que permitió definir cuatro niveles de sustitución para su posterior evaluación en los productos desarrollados.

Elaboración de barra de chocolate y brownies

Se adoptó la formulación de barras de chocolate al 70% descrita por (Norazura et al., 2020) junto con la formulación trabajada en la PHF. Se redujo el nivel de azúcar a medida incrementaba el porcentaje de HCC. El resto de los ingredientes no tuvo cambios entre tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1

Formulación de los Tratamientos con Sustitución Parcial de Azúcar por Harina de Cascarilla de Cacao (HCC) en el Desarrollo de Chocolate

Ingredientes (%)	T1*	T2	T3	T4
	0% HCC	3% HCC	6% HCC	9% HCC
Nibs molidos de cacao	62	62	62	62
Azúcar	29.5	26.5	23.5	20.5
Manteca de cacao	8	8	8	8
Harina de cascarilla de cacao	0	3	6	9

Ingredientes (%)	T1*	T2	T3	T4
	0% HCC	3% HCC	6% HCC	9% HCC
Emulsificante	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	100	100	100	100

Nota. Tomado de Divya et al. (2017), Tratamiento control. HCC: Harina de cascarilla de cacao.

Paralelamente, se empleó una mezcla comercial de brownies y se utilizó la formulación indicada en su empaque. Se redujo el nivel de mezcla de brownie a medida incrementaba el porcentaje de HCC. El resto de los ingredientes requeridos en la formulación no experimentó cambios entre tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2

Formulación de los Tratamientos con Sustitución Parcial de Mezcla Genérico de Brownie por Harina de Cascarilla de Cacao (HCC)

Ingredientes (%)	T1*	T2	T3	T4
	0% HCC	10% HCC	16% HCC	22% HCC
Mezcla de Brownie	60.21	54.19	50.58	46.96
Margarina	15.67	15.67	15.67	15.67
Huevos	13.26	13.26	13.26	13.26
Agua	10.85	10.85	10.85	10.85
Harina de cascarilla de cacao	0.00	6.02	9.63	13.25
Total	100	100	100	100

Nota. Tomado del empaque de la compañía, Betty Crocker (2024). Tratamiento control. HCC: Harina de cascarilla de cacao.

Análisis Sensorial

Se llevó a cabo evaluaciones sensoriales afectivas de aceptación tanto para chocolates como para brownies con o sin sustitución parcial de HCC. Las evaluaciones de cada producto contaron con la participación de 100 panelistas no entrenados, quienes probaron las muestras elaboradas el mismo día de la prueba. Las muestras fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos, presentadas de manera uniforme, y ordenadas de forma diferente para cada panelista. Cada panelista recibió una boleta para evaluar individualmente las muestras, utilizando una escala hedónica de 9 puntos que abarcaba desde "Me desagrada mucho" (1) hasta "Me agrada mucho" (9). Se evaluaron atributos como apariencia, color, olor, textura, sabor y aceptación general, además de un espacio para comentarios. Adicionalmente, se llevó a cabo una prueba de preferencia por ordenamiento, donde

los panelistas clasificaron los tratamientos del uno al cuatro según su preferencia, siendo uno el más preferido y cuatro el menos preferido.

Análisis Físico

Se realizaron análisis físicos de los tratamientos de chocolates y brownies utilizando dos pruebas: el análisis de color y el análisis de textura. Para el análisis de color, se empleó la aplicación Color Assist, que realizó la medición en la escala de colorimetría L*, a*, b*. Donde L* indica la luminosidad (de 0 a 100, donde 0 es negro y 100 es blanco), mientras que a* mide los tonos entre rojo y verde (+60, -60), y b* (+60, -60) mide los tonos entre amarillo y azul. Las muestras se analizaron bajo luz uniforme y las lecturas se registraron para comparar los diferentes tratamientos de sustitución. Además, para evaluar la textura, se utilizó un texturómetro Brookfield. Para los brownies, se empleó la sonda TA11/1000, un cilindro con un diámetro de 25.4 mm, para medir la firmeza y la cohesión de las muestras. En el caso del chocolate, se utilizó la sonda TA7, una cuchilla diseñada para medir la resistencia al corte. Las mediciones se realizaron en muestras a temperatura ambiente y los resultados se utilizaron para comparar la calidad textural entre los diferentes tratamientos.

Análisis Estadístico

Este proyecto se estructuró en dos fases. En la Fase I, se realizó un análisis fisicoquímico de la harina de cascarilla de cacao (HCC) mediante la técnica de análisis proximal. Los datos obtenidos durante la evaluación del estudio fueron procesados utilizando el software Statistical Analysis System (SAS®) versión 9.4. Se realizó un ANDEVA y separación de medias Duncan. Para analizar los resultados de la prueba de preferencia en el análisis sensorial, se utilizaron las tablas de Basker y Kramer. En la primera etapa del estudio, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo para caracterizar los resultados.

Para establecer si existió una diferencia estadística entre la harina fina y la harina gruesa en cuanto a los parámetros de color y granulometría, se aplicó una prueba t con un nivel de significancia de 95%.

En la Fase II de la investigación, se realizó un Análisis de Varianza con un nivel de significancia del 95% ($P \leq 0.05$), y para determinar el mejor tratamiento que sustituyó parcialmente la harina de cascarilla de cacao se usó una prueba de separación de medias Duncan. Además, se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson para examinar la relación entre los atributos evaluados por los panelistas y la aceptación general en el análisis sensorial. Para el análisis sensorial se usó una separación de medias Duncan.

Etiqueta Nutricional

Se realizó una etiqueta nutricional para la cual se utilizó el programa Genesis R&D® Food Formulation & Labeling Software para la creación de etiquetas nutricionales tanto del brownie como del chocolate. Este software permite calcular los valores nutricionales basados en las fórmulas exactas de los productos y los ingredientes utilizados. Para este análisis, se ingresaron las formulaciones detalladas de ambos productos, especificando cantidades y tipos de ingredientes. El programa generó automáticamente la información nutricional, incluyendo el contenido de calorías, grasas, carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales. Además, se incluyó el porcentaje del valor diario recomendado, que se basa en una dieta de 2,000 calorías, según las regulaciones vigentes de etiquetado nutricional.

Resultados y Discusión

Los resultados se reflejan según las etapas de esta investigación. En este estudio, se investigaron dos calidades de harina: harina fina y harina gruesa resultados del proceso de reducción de tamaño de partícula de la cascarilla de cacao.

Fase I: Caracterización de la Harina de Cascarilla de Cacao

Composición Química Proximal de la Harina de Cascarilla de Cacao

La composición proximal de la cascarilla de cacao (CC) ha sido reportada por varios autores. La composición proximal de la CC incluye proteínas, grasas, azúcares, humedad y cenizas, y se ha descrito como similar a la de los granos de cacao (Cuadro 3). Sin embargo, la CC presenta un porcentaje mucho menor de grasas en comparación con los granos de cacao, lo cual es compensado por una cantidad mucho mayor de fibras. Además, la CC tiene un contenido más alto de proteínas, grasas y carbohidratos en comparación con otros subproductos del cacao, como las vainas de cacao (Rojo-Poveda et al., 2020a). obstante, la composición proximal de la cascarilla de cacao puede variar de manera significativa, ya que, siendo un producto vegetal, su composición está influenciada por varios factores variables como las condiciones climáticas de la región de cultivo, la variedad de cacao y las condiciones de procesamiento (fermentación, secado, temperatura de tostado), entre otros (Diomande et al., 2015).

Cuadro 3

Composición nutricional y química de la cáscara del grano de cacao

Parámetros	Cantidad	Referencias
Energía (kcal/100 g)	121	(Rojo-Poveda et al., 2020a)(N.A Adamafio, 2013)
Humedad (%)	3.60–13.10	(Barbosa-Pereira et al., 2019; Vojvodić et al., 2016)
Ceniza (g/100 g)	5.96–11.42	(Bonvehí y Jordà, 1998; Nsor-Atind et al., 2012; Okiyama et al., 2019b)
Proteínas (g/100 g)	10.20–27.20	(Arlorio et al., 2001; Barbosa-Pereira et al., 2019; Martínez et al., 2012; Okiyama et al., 2019a)
Grasas (g/100 g)	1.40–8.50	(Barbosa-Pereira et al., 2019; Bonvehí y Jordà, 1998; Vojvodić et al., 2016)
Carbohidratos (g/100 g)	7.80–70.35	(Belščak-Cvitanović et al., 2018; Rojo-Poveda et al., 2020a)
Almidón (g/100 g)	0–2.70	(Pérez et al., 2015; Serra Bonvehí y Ventura Coll, 1999)

Parámetros	Cantidad	Referencias
Azúcares solubles (g/100 g)	0.17–1.64	(Lecumberri, Mateos, et al., 2007b; Serra Bonvehí y Ventura Coll, 1999; Vojvodić et al., 2016)
Fibra alimentaria (g/100 g)	39.24–66.30	(Arlorio et al., 2001; Bonvehí y Jordà, 1998; Martínez et al., 2012; Rojo-Poveda et al., 2020a)
Fibra soluble (g/100 g)	7.03–16.91	(Bonvehí y Jordà, 1998; Martínez et al., 2012; Rojo-Poveda et al., 2020a)
Fibra insoluble (g/100 g)	28.34–50.42	(Bonvehí y Jordà, 1998; Martínez et al., 2012; Rojo-Poveda et al., 2020a)
Pectina (g/100 g)	7.62–15.59	(Arlorio et al., 2001; Chan y Choo, 2013; Mollea et al., 2007)

Los valores de humedad encontrados para el CC varían entre el 3,60% y el 13,13%, dependiendo en gran medida de si la cascarilla ha sido tostada o no (Agus et al., 2018). (Bonvehí y Jordà, 1998) obtuvieron valores de humedad entre el 3,6% y el 7,8%, indicando que este rango es aceptable para un almacenamiento estable de la cascarilla. Sin embargo, se ha informado que la cascarilla de cacao es considerablemente higroscópica, lo que significa que pueden aparecer mohos si se almacena con niveles de humedad más altos (Rojo-Poveda et al., 2020a).

Según la literatura, los carbohidratos constituyen entre el 7.85% y el 70.25% del peso seco del CC. Estos valores varían considerablemente dependiendo de si se tiene en cuenta el contenido de fibra o no, y también porque a menudo se calculan por sustracción, lo que añade variabilidad (Martínez et al., 2012). En cuanto a los carbohidratos digeribles, el CC no contiene o presenta cantidades muy pequeñas de almidón (Pérez et al., 2015), mayormente almidón disponible, y una cantidad muy reducida de azúcares solubles, considerados insignificantes en algunos estudios (Lecumberri, Mateos, et al., 2007b). En lo que respecta a la fracción no digerible, esta está formada por polisacáridos pectínicos (45%), hemicelulosa (20%) y celulosa (35%), y constituye la fibra dietética (Redgwell et al., 2003).

La fibra dietética del CC está compuesta por carbohidratos estructurales, también conocidos como polisacáridos no amiláceos. Está formada por residuos de las paredes celulares vegetales y no es digerible por las enzimas humanas, por lo que no aporta valor energético (Vojvodić et al., 2016). El consumo de fibra dietética es crucial debido a su contribución al tránsito intestinal adecuado (Rojo-

Poveda et al., 2020a). Algunos autores también han señalado que la fibra dietética contenida en el CC tiene varias otras biofunciones, como reducir los riesgos cardiovasculares al disminuir los niveles de colesterol y triacilgliceroles, o mitigar los efectos de la diabetes al ralentizar la absorción de glucosa (Lecumberri, Goya, et al., 2007).

El presente estudio, se centró en la evaluación de parámetros específicos de la harina de cáscara de cacao (HCC), limitándose a la medición de granulometría, color, y fibra dietética. Esta selección de parámetros se realizó con el propósito de abordar los aspectos más influyentes en las características sensoriales de productos como chocolate y brownies.

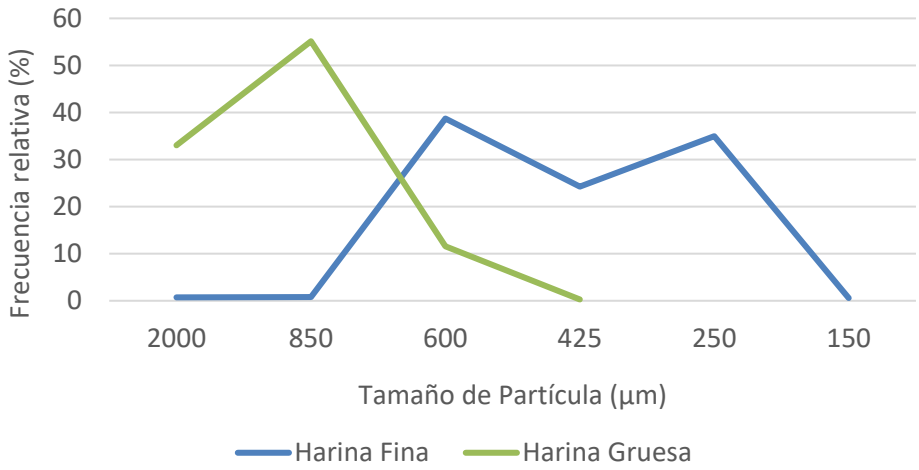
Granulometría

El análisis de granulometría proporciona información crítica sobre la distribución del tamaño de las partículas en la harina de cascarilla de cacao. Esta información es esencial para determinar las propiedades funcionales de la harina en diferentes aplicaciones industriales, como en la elaboración de productos alimenticios y materiales compuestos (Barbosa et al., 2007).

Se realizaron dos etapas de molienda utilizando un molino de alta velocidad (modelo VEVOR). La primera y segunda molienda, se obtuvo la harina fina, caracterizada por un tamaño de partícula menor. Durante estas etapas, el molino funcionó a temperaturas óptimas. Sin embargo, conforme el molino se calentaba debido al uso continuo, causando que los restos de nibs de cacao al tener un alto contenido de grasa den una mayor adhesividad entre las partículas, dando como resultado en una harina con partículas más gruesas debido a la aglomeración. Esta variación en el tamaño de partícula permitió la obtención de dos calidades de harina: fina y gruesa. La harina gruesa, obtenida en las etapas posteriores de molienda, presentaba una textura más tosca debido a las condiciones de operación del molino (Figura 3).

Figura 3

Distribución granulométrica de la harina fina y la harina gruesa de cascarilla de cacao.



La harina fina presenta un rango más amplio de partículas más pequeñas y una distribución más dispersa en los tamaños menores, mientras que la harina gruesa tiene un rango limitado, con una mayor proporción de partículas grandes que se concentran en un tamaño específico (850 µm).

A medida que la máquina se calentaba, se observaba la formación de partículas de mayor tamaño en la harina, posiblemente debido a la pectina presente en la cascarilla de cacao, que oscila entre 7.62 y 15.59 g/100 g de cascarilla (Rojo-Poveda et al., 2020a). La pectina, un tipo de fibra soluble, es conocida por sus propiedades gelificantes cuando se somete a calor en presencia de ácidos y azúcares. La pectina forma una red que atrapa agua y aglutina las partículas (Gawkowska et al., 2018).

Sin embargo, la prueba t realizada muestra que no hay una diferencia estadísticamente significativa en la granulometría entre la harina fina y la harina gruesa. El valor t negativo indica que la media de la harina fina es menor que la de la harina gruesa, y la harina gruesa presenta una menor dispersión de los datos en comparación con la harina fina (Cuadro 4).

Cuadro 4

Resultados de la prueba T media de granulometría de la harina fina y gruesa

Tipo de Harina	N	Media	DE	t	GL	P	Resultado
Fina	6	12.89	14.03	-0.9796	10	0.3503	Acepto la Ho
Gruesa	6	41.85	57.23				

Nota. DE: Desviación estándar. GL: Grados de Libertad. Hipótesis nula: No existe diferencia significativa entre la harina fina y la harina gruesa. Hipótesis alternativa: Existe diferencia significativa entre la harina fina y la harina gruesa.

Color

El color es una característica clave en la percepción del producto por parte del consumidor. Para medir esta característica se utilizó el ColorFlex EZ de HunterLab que se basa en el estándar de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). Los valores L*, a*, y b* representan la luminosidad y las coordenadas de color en los ejes verde-rojo y azul-amarillo, respectivamente. Además, se calcularon el valor h y el croma con los datos obtenidos. En este estudio, se analizaron dos tipos de harina de cascarilla de cacao: harina fina y gruesa. Los resultados obtenidos se presentan en el (Cuadro 5).

Cuadro 5

Resultados del análisis de color en valores de luminosidad, ángulo de matiz y croma de la harina gruesa y fina de cascarilla de cacao

Tipo de Harina	Luminosidad	Ángulo de matiz	Croma
	Media ± desviación estándar		
Harina Fina	7.45 ± 0.27[a]	44.88 ± 0. 11[a]	91.47±0.35[a]
Harina Gruesa	6.53 ± 0.33[b]	44.81 ± 0.03[a]	89.66±0.20[b]
CV %	3.34	0.18	0.35
Pr>F	0.0011	0.4065	0.0001

Nota. %C.V.: Coeficiente de Variación. Medias de la misma columna con letras diferentes (a, b) son significativamente diferentes (P ≤ 0.05).

El tamaño de partícula afecta significativamente la claridad y la intensidad del color de la harina, pero no influye en el tono específico del color. La harina fina presenta un color más claro y saturado en comparación con la harina gruesa. Por las características de cada tipo de harina, la harina gruesa fue usada para la sustitución parcial en los brownies y la harina fina se utilizó en la sustitución de las barras de chocolate.

Barros y colaboradores (2020) destacaron que la reducción del tamaño de partícula en la harina puede aumentar la superficie específica, mejorando así la reflexión de la luz y resultando en una mayor luminosidad (L*). Esto explica por qué la harina fina de cascarilla de cacao presentó una mayor luminosidad en comparación con la harina gruesa. La mejora en la reflexión de la luz en partículas más finas contribuyó a una apariencia más clara y brillante de la harina.

Por otro lado, en la prueba T student se obtuvo que el valor P era menor en todos los parámetros del color que fueron medidos en comparación con el nivel de significancia de 5%. Por lo que, para todos los casos, la hipótesis nula que plantea que no existe diferencia significativa entre los parámetros medidos de ambas harinas es rechazada (Cuadro 6).

Cuadro 6

Resultados de la prueba T media de los parámetros de color de la harina fina y la harina gruesa

Parámetro	Tipo de Harina	N	Media	DE	t	GL	P	Resultado
Croma	Fina	10	91.42	0.35	3.28	18	0.004	Rechazo Ho
	Gruesa	10	89.76	0.2				
L	Fina	10	7.45	0.27	2.61	18	0.017	Rechazo Ho
	Gruesa	10	6.53	0.33				
a	Fina	10	4.81	0.23	2.1	18	0.008	Rechazo Ho
	Gruesa	10	3.61	0.14				
b	Fina	10	4.54	0.32	3.63	18	0.0019	Rechazo Ho
	Gruesa	10	3.19	0.15				
h	Fina	10	44.88	0.11	2.1009	18	0.001922	Rechazo Ho
	Gruesa	10	44.81	0.03				

Nota. N: Número de repeticiones DE: Desviación estándar. GL: Grados de Libertad. Hipótesis nula: No existe diferencia significativa entre la harina fina y la harina gruesa. Hipótesis alternativa: Existe diferencia significativa entre la harina fina y la harina gruesa.

Fibra Cruda

La fibra cruda es un componente orgánico no nitrogenado que no se logra disolver tras una hidrólisis continua, primero una ácida continua de una alcalina (García et al., 2008).

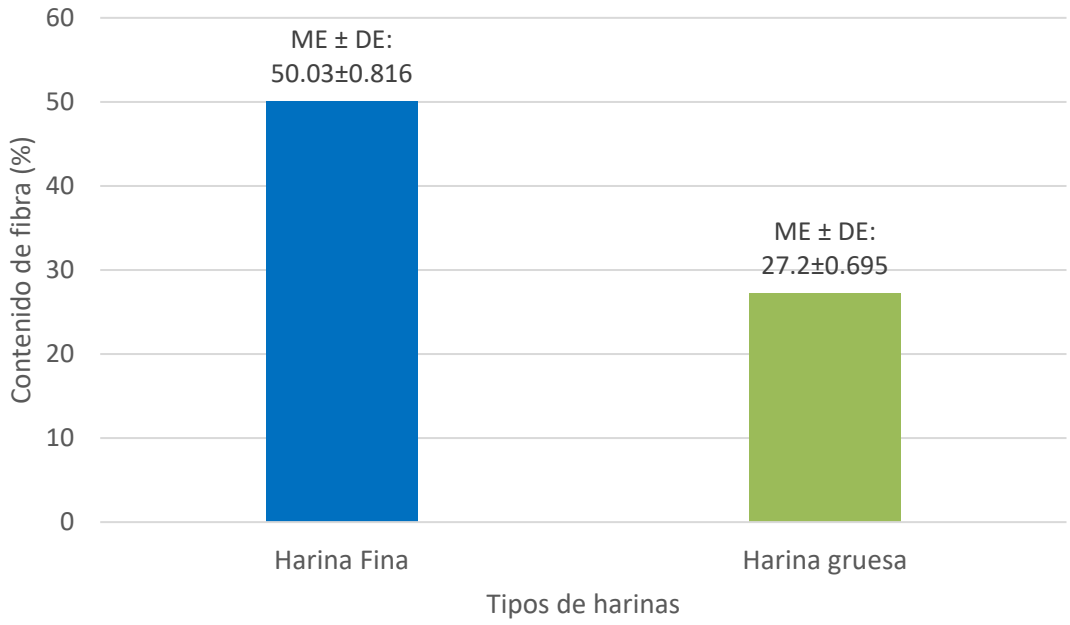
Durante el proceso de molienda de la HCC, se obtuvieron dos tipos de granulometría, como se discutió previamente. La primera correspondió a una granulometría predominante de 850 micrómetros (harina gruesa), y la segunda presentó un rango predominante de partículas entre 600 y 250 micrómetros (harina fina). Cada tipo de harina mostró un contenido diferente de fibra, siendo

27.2 g de fibra por 100 g de harina en el caso de la gruesa, y 50.03 g de fibra por 100 g en la harina fina (Figura 4).

El aumento de la temperatura durante la molienda de la harina gruesa pudo haber causado la aglutinación de las partículas, afectando su estructura. La composición de la cascarilla de cacao sugiere que la fibra y otros componentes, como las pectinas, que se encuentran en concentraciones de 7.62–15.59 g/100 g de cascarilla de cacao (Rojo-Poveda et al., 2020b), podrían haber interactuado de manera diferente bajo el calor. Esta aglutinación podría haber atrapado la fibra, reduciendo su disponibilidad para análisis y resultando en un menor contenido de fibra en la harina gruesa en comparación con la harina fina.

Figura 4

Resultados de porcentajes de fibra en la harina fina y la harina gruesa de cascarilla de cacao



Nota. ME: Media. DE: Desviación estándar.

Fase II: Elaboración del Brownie y la Barra de Chocolate

En esta fase se elaboraron los brownies y las barras de chocolate con sustituciones parciales de harina de cascarilla de cacao, seguido de su análisis sensorial, físico y etiqueta nutricional de cada producto.

Fase II – a

Análisis físicos del chocolate

Color

El análisis de color es fundamental para evaluar la apariencia del chocolate, ya que es un factor crucial en la percepción del consumidor y un indicador clave de su calidad. Este análisis permite determinar si la incorporación de la harina de cascarilla de cacao afecta o no los atributos visuales del chocolate. En el Cuadro 4, se presentan los resultados del análisis de colorimetría, en los diferentes niveles de sustitución de la HCC.

Cuadro 7

Resultados de colorimetría en valores de luminosidad, ángulo de matiz y croma de chocolate con sustitución harina de cascarilla de cacao y el control

Sustitución con harina de cascarilla de cacao (%)	Luminosidad	Ángulo de matiz	Croma
	Media ± desviación estándar		
0	37.20± 1.96^{b}	43.77 ± 0.65 ^{b}	92.78 ± 0.80^{c}
3	36.99 ± 0.55^{b}	43.45 ± 0.49^{ab}	99.44 ± 0.55^{b}
6	35.13 ± 0.47^{c}	44.18 ± 0.19^{ab}	91.65 ± 0.42^{d}
9	41.08 ± 0.82^{a}	44.57 ± 0.54^{a}	100.1 ± 0.55^{a}
CV %	3.13	1.16	0.46
Pr > F	0.0004	<.0001	<.0001

Nota. %C.V.: Coeficiente de Variación. Medias de la misma columna con letras diferentes (a, b) son significativamente diferentes (P ≤ 0.05).

La adición de harina de cascarilla de cacao produce cambios significativos en las características de color del chocolate, pero estos efectos son relativamente moderados. La luminosidad, el ángulo de matiz y el croma se ven afectados de manera controlada, lo que permite ajustar la formulación del chocolate sin comprometer significativamente las características visuales del producto. Los resultados demostraron que la luminosidad varía con los diferentes niveles de sustitución, siendo el tratamiento de 9% de harina de cascarilla de cacao, lo que indica que fue el más oscuro. El ángulo de matiz y el croma también presentaron variaciones, pero sin comprometer la calidad visual del producto. Estos resultados resaltan que es posible realizar ajustes en la formulación para mejorar el perfil nutricional

del chocolate, sin afectar significativamente su apariencia estética, lo que respalda el uso de la harina de cascarilla de cacao como un sustituto viable en la industria chocolatera.

Pruebas Afectivas del Chocolate

Análisis Sensorial del Chocolate

Este análisis sensorial se llevó a cabo con la finalidad de determinar cómo las distintas sustituciones en su formulación afectan las características organolépticas. En este estudio, se llevó a cabo una prueba afectiva de aceptación para comparar las barras de chocolate con diferentes niveles de sustitución parcial de azúcares por harina de cascarilla de cacao (0%, 3%, 6% y 9%). Este enfoque permite obtener datos sobre las percepciones sensoriales de los consumidores y su agrado por el producto (Semper, 2019). Los panelistas evaluaron atributos como apariencia, color, olor, textura, sabor, dulzura, amargura y aceptación general. Este análisis proporcionó información sobre la percepción del producto por parte del consumidor (Cuadro 8).

Cuadro 8

Resultados del Análisis Sensorial de aceptación de Chocolate con sustitución parcial con cascarilla de cacao

Sustitución con HCC (%)	Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor	Aceptación General
	Media ± desviación estándar					
0	7.9±1.9^{a}	7.9±1.6^{a}	7.2±1.4^{a}	6.8±2.0^{b}	6.2±1.5^{a}	6.8±1.4^{a}
3	7.5±1.4^{b}	7.6±1.4^{b}	7.1±1.5^{a}	8.0±7.1^{a}	6.5±2.2^{a}	6.9±1.7^{a}
6	7.7±1.3^{ab}	7.7±1.2^{ab}	7.2±1.5^{a}	6.6±1.8^{b}	5.6±2.3^{b}	6.4±1.8^{b}
9	7.9±1.1^{a}	7.8±1.3^{ab}	7.2±1.5^{a}	7.3±1.7^{ab}	6.1±2.3^{a}	6.7±2.0^{ab}
CV %	10.2	10.1	14	52.6	25.9	17.9
Pr > F	<.0001	<.0001	<.0001	0.0558	<.0001	<.0001

*Nota***.** %C.V.: Coeficiente de Variación. Medias de la misma columna con letras diferentes (a, b) son significativamente diferentes (P ≤ 0.05). HCC: Harina de cascarilla de cacao. 0%,3%,6% y 9%: porcentaje de sustitución con harina de cascarilla de cacao. Escala hedónica de 1-9: 1= Me disgusta extremadamente y 9=Me gusta extremadamente.

Los resultados muestran que la sustitución parcial de azúcares por harina de cascarilla de cacao (HCC) en barras de chocolate afectó significativamente todos los atributos sensoriales, a excepción del olor.

Con la sustitución del 9% se muestra una aceptación igual a la barra sin sustitución (0%). Estos hallazgos fueron consistentes con estudios previos, que indicaron que la reducción de azúcar puede afectar el perfil sensorial de las barras de chocolate, pero que, en niveles adecuados, no compromete su aceptación general (Martínez, 2022).

Análisis de Correlación

Se muestran los resultados del análisis de correlación de los atributos respecto a la aceptación general. Se pudo notar que los atributos sabor fue el que obtuvo la mayor influencia sobre la aceptación general de los tratamientos, por parte de los panelistas, con una correlación alta positiva en todas las muestras (Cuadro 9). Estos resultados son consistentes con resultados de estudios similares donde el atributo de mayor puntuación promedio en los tratamientos de chocolate tipo pasta fue el sabor (Morón et al., 2015). Además, los resultados de este estudio muestran que la textura y el olor también fueron los segundos en tener una influencia significativa que varió según las muestras.

Cuadro 9

Resultados del análisis de correlación de cada atributo con la aceptación general.

	Coeficientes de correlación Pearson, Prob <0.0001			
Atributos	0%	3%	6%	9%
Apariencia	0.214	0.242	0.256	0.175
Color	0.216	0.232	0.308	0.260
Olor	0.214	0.590	0.354	0.464
Textura	0.607	0.028	0.539	0.380
Sabor	0.784	0.745	0.729	0.729

Nota. 0 %,3 %,6 % y 9 %: porcentaje de sustitución con harina de cascarilla de cacao.

Análisis Sensorial de Preferencia

En el Cuadro 10 se observan los resultados de las pruebas de preferencia en chocolate.

El tratamiento que obtuvo la menor suma de categorías fue el que presentó una sustitución del 3% de harina de cascarilla de cacao (HCC). A pesar de esta baja proporción de sustitución, es relevante destacar que, al comparar los valores obtenidos en este tratamiento con el valor crítico

establecido en 46.9, no se encontraron diferencias significativas en comparación con el tratamiento que tuvo la mayor sustitución, que fue del 9%, ni con el tratamiento de control. Esto indica que, aunque la cantidad de HCC utilizada en el tratamiento del 3% fue inferior, su efecto en los atributos evaluados fue comparable al de los tratamientos con mayores niveles de sustitución, sugiriendo que incluso con una menor incorporación de HCC, es posible lograr una aceptación similar a la de los productos sin sustitución.

Cuadro 10

Resultados de pruebas de preferencia en chocolate

Sustitución con HCC (%)	Tratamiento	T1	T2	T3	T4
	Suma de categoría	251	222	280	247
T1 0	251	0	29	-29	4
T2 3	222	-29	0	-58	-25
T3 6	280	29	58	0	33
T4 9	247	-4	25	-33	0

Nota. 0%,3%,6% y 9%: porcentaje de sustitución con harina de cascarilla de cacao. Valor critico=46.9. HCC: Harina de cascarilla de cacao

Etiqueta Nutricional

Se evaluó el impacto de la sustitución parcial del azúcar por harina de cascarilla de cacao (HCC) en las barras de chocolate, considerando su influencia en el perfil nutricional. Se compararon los tratamientos con 0% y 9% de azúcar por la sustitución de harina de cascarilla de cacao. La comparación de estos tratamientos permitió observar cómo la adición de HCC impactó en la composición de nutrientes claves, como el contenido de fibra y azúcar en las barras de chocolate (Figura 5).

Figura 5

Etiqueta nutricional de chocolate con 0% y 9% de sustitución con harina de cascarilla de cacao.

Chocolate de 0% de sustitución de HCC

Nutrition Facts
Datos de Nutrición

Approx. 3 servings per container
Aprox. 3 Raciones por Envase

Serving size	**3 Blocks (33g)**
Tamaño por Ración	**3 Bloques (33g)**

Amount per serving / Cantidad por ración

Calories / Calorías 190

	% Daily Value* / % Valor Diario*
Total Fat / Grasa Total 13g	**17%**
Saturated Fat / Grasa Saturada 7g	**35%**
Trans Fat / Grasa Trans 0g	
Cholesterol / Colesterol 0mg	**0%**
Sodium / Sodio 10mg	**0%**
Total Carbohydrate / Carbohidrato Total 16g	**6%**
Dietary Fiber / Fibra Dietética 5g	**18%**
Total Sugars / Azúcares Totales 10g	
Includes 10g Added Sugars / Incluye 10g Azúcares Añadidos	**20%**
Protein / Proteínas 3g	
Vitamin D / Vitamina D 0mcg	0%
Calcium / Calcio 10mg	0%
Iron / Hierro 0.8mg	4%
Potassium / Potasio 0mg	0%

*The % Daily Value tells you how much a nutrient in a serving of food contributes to a daily diet. 2,000 calories a day is used for general nutrition advice.
*El % Valor Diario le indica cuánto un nutriente en una porción de alimentos contribuye a una dieta diaria. 2,000 calorías al día se utiliza para asesoramiento de nutrición general.

Chocolate de 9% de sustitución de HCC

Nutrition Facts
Datos de Nutrición

Approx. 3 servings per container
Aprox. 3 Raciones por Envase

Serving size	**3 Blocks (33g)**
Tamaño por Ración	**3 Bloques (33g)**

Amount per serving / Cantidad por ración

Calories / Calorías 180

	% Daily Value* / % Valor Diario*
Total Fat / Grasa Total 13g	**17%**
Saturated Fat / Grasa Saturada 7g	**35%**
Trans Fat / Grasa Trans 0g	
Cholesterol / Colesterol 0mg	**0%**
Sodium / Sodio 10mg	**0%**
Total Carbohydrate / Carbohidrato Total 14g	**5%**
Dietary Fiber / Fibra Dietética 7g	**25%**
Total Sugars / Azúcares Totales 7g	
Includes 7g Added Sugars / Incluye 7g Azúcares Añadidos	**14%**
Protein / Proteínas 3g	
Vitamin D / Vitamina D 0mcg	0%
Calcium / Calcio 10mg	0%
Iron / Hierro 0.8mg	4%
Potassium / Potasio 0mg	0%

*The % Daily Value tells you how much a nutrient in a serving of food contributes to a daily diet. 2,000 calories a day is used for general nutrition advice.
*El % Valor Diario le indica cuánto un nutriente en una porción de alimentos contribuye a una dieta diaria. 2,000 calorías al día se utiliza para asesoramiento de nutrición general.

La sustitución del 9% de azúcar por HCC resultó en un aumento significativo en el contenido de fibra dietética, que pasó de un contenido de fibra del 18% en el chocolate de 0% a aproximadamente 25% del valor diario recomendado, lo que representa un aumento del 40% del contenido de fibra. De acuerdo con el Anexo E del Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA, 2023), el chocolate con 9% de sustitución se consideraría excelente fuente de fibra pues contine más de 3 gramos por porción que es el mínimo para considerarse excelente fuente. Además, la cantidad de azúcares disminuyó en un 30%, esto pudo clasificarse como un producto reducido en azúcar, pues según EL Anexo E un alimento se considera reducido al contener 25% menos con respecto al aporte del alimento de referencia, chocolate de 0% (RTCA, 2023). Lo que contribuyó a una reducción del 5% de su aporte energético, aunque la reducción calórica no es significativa, esto podría explicarse debido

a que el mayor porcentaje de las calorías provienen de la grasa, aproximadamente un 50%, por lo que la sustitución de azúcar con HCC tiene una influencia limitada en reducción de calorías (Salamanca y Gaviria, 2021) . En cuanto al contenido de carbohidratos totales y proteínas, se clasifica como bajo, pues aportando menos del 5% del valor diario. Esto en comparación con el estudio con harina de quinua realizado por (Zaldaña, 2019) que presentaban alrededor de un 45% de valor diario, por lo que se resalta que el aporte de carbohidratos de la harina de cascarilla de cacao es bajo.

Fase II- b

Análisis Físico del Brownie

Color

El aumento tuvo una diferencia significativa entre los tratamientos en la luminosidad y en los componentes de ángulo de matiz y croma con mayores niveles de sustitución, presentándose de manera gradual y alcanzando el mayor valor en el tratamiento con 22% de sustitución. Estos cambios podrían explicarse por la composición de la cascarilla de cacao, que contiene pigmentos naturales, como los compuestos fenólicos, los cuales influyen en la absorción y reflexión de la luz. Esto no solo oscurece el producto, sino que también intensifica el tono y la saturación del color, lo que resulta en un mayor ángulo de matiz y croma (Cuadro 11).

Cuadro 11

Resultados del análisis de color en la escala de Luminosidad, ángulo de matiz y croma de los tratamientos de brownie con sustitución parcial de cascarilla de cacao y el tratamiento control

Sustitución con HCC (%)	Luminosidad	Ángulo de matiz	Croma
	Media ± desviación estándar		
0	13.22 ± 1.66^{c}	46.39 ± 0.44^{b}	99.85 ± 1.68^{c}
10	30.99 ± 3.67^{a}	47.72 ± 0.53^{a}	104.4 ± 2.22^{b}
16	23.34 ± 3.62^{b}	47.82 ± 0.45^{a}	104.2 ± 2.06^{b}
22	29.46 ± 1.17^{a}	48.18 ± 0.66^{a}	108.60 ± 1.87^{a}
CV %	9.3	1.1	1.5
Pr > F	<.0001	0.0034	<.0001

Nota. %C.V.: Coeficiente de Variación. Medias de la misma columna con letras diferentes (a-c) son significativamente diferentes (P ≤ 0.05). 0%,10%,16% y 22%: porcentaje de sustitución con harina de cascarilla de cacao.

En el estudio de (Fabíola Nogueira Soares Souza et al., 2022) sobre el uso de polvo de cascarilla de cacao como sustituto de la harina de trigo en tortas de chocolate, los resultados mostraron diferencias significativas entre las muestras, especialmente en L*, donde los valores indicaron un oscurecimiento generalizado (Nogueira et al., 2022). Los parámetros de cromaticidad a* y b* revelaron una coloración marrón en las muestras, típica de productos de chocolate debido a los valores positivos en estas coordenadas. Además, los parámetros C y H demostraron que la incorporación de HCC afectó el color de las muestras en comparación con la muestra de control con harina de trigo al 100%.

De manera similar, Mau y colaboradores (2017), crearon pasteles chiffon sustituyendo harina de trigo por harina de arroz negro y encontraron que el color de la corteza del pastel se veía modificado por esta sustitución. Tanto estos estudios como nuestros resultados indicaron que emplear una alternativa a la harina de trigo, el azúcar y cacao en polvo en la elaboración de un pastel puede influir notablemente en su color.

Textura

Los brownies con sustitución del 22% de HCC presentaron una fracturabilidad considerablemente mayor, firmeza más alta y una carga significativamente menor en comparación con el tratamiento control y los otros niveles de sustitución. Estos resultados indican que el aumento en el porcentaje de HCC alteró notablemente la textura del producto, haciendo que los brownies fueran más duros y menos quebradizos. La tendencia observada sugiere que mayores niveles de HCC incrementaron la cohesión del brownie, reduciendo su fracturabilidad, pero aumentando su firmeza (Cuadro 12).

Cuadro 12

Resultados del Análisis de Textura en Brownies con Sustitución Parcial de HCC y del Tratamiento Control

Sustitución con HCC (%)	Fracturabilidad (N)	Firmeza (N)	Carga (N)
	Media ± desviación estándar		
0	3.532 ± 0.28^{c}	0.955 ± 0.20^{c}	0.048 ± 0.010^{c}
10	4.858 ± 0.08^{b}	1.394 ± 0.07^{b}	0.059 ± 0.004^{b}
16	4.603 ± 0.20^{b}	1.484 ± 0.14^{b}	0.074 ± 0.01^{a}
22	15.507 ± 0.52^{a}	5.838 ± 1.17^{a}	0.038 ± 0.001^{c}
CV %	4.35	7.52	10.5
Pr > F	<.0001	<.0001	0.0009

Nota. %C.V.: Coeficiente de Variación. Medias de la misma columna con letras diferentes (a, b) son significativamente diferentes (P ≤ 0.05). 0%,10%,16% y 22%: porcentaje de sustitución con harina de cascarilla de cacao. HCC: Harina de cascarilla de cacao

En el estudio de Nogueira y colaboradores (Nogueira et al., 2022) de tortas con sustitución parcial de cascarilla de cacao, las muestras presentaron menor cohesividad en comparación con el control, lo que sugiere que la incorporación de cascarilla de cacao hizo que las tortas sean más propensas a desintegrarse. La cohesión y la resiliencia de las muestras de control también difirieron significativamente de las muestras con cascarilla de cacao. Este comportamiento no coincidió con el observado en los brownies de este estudio, donde el aumento de HCC incrementó la cohesión, redujo la fracturabilidad y aumentó la firmeza.

El aumento de la cohesión y firmeza y el aumento de la firmeza en los brownies con HCC pueden estar relacionados principalmente con el alto contenido de fibra dietética, tanto soluble como insoluble, y con la pectina. Estos componentes tienen un impacto directo en la estructura y las propiedades texturales de los alimentos.

La fibra, particularmente la insoluble que se encuentra en la HCC en una proporción de 28.34–50.42 g por 100 g de HCC (Rojo-Poveda et al., 2020b), contribuye a aumentar la cohesión de las masas al retener agua y formar una matriz más densa. Esto también reduce la fracturabilidad al hacer que el brownie sea menos quebradizo.

Por otra parte, la pectina, que también está presente en la cascarilla de cacao (7.62–15.59 g/100 g) según el estudio de (Rojo-Poveda et al., 2020b). Este compuesto forma geles debido a su estructura de polisacárido compuesto por ácido galacturónico, que interactúa químicamente con iones de calcio o azúcares. En pectinas de bajo grado de metoxilo, el calcio actúa como un puente entre cadenas, mientras que, en pectinas de alto grado de metoxilo, el ácido y el azúcar favorecen las interacciones hidrofóbicas y la formación de enlaces de hidrógeno. Estas interacciones crean una red tridimensional que retiene agua y estabiliza la estructura del alimento, aumentando la cohesión y firmeza (Rubiano Gonzalez et al., 2022).

Pruebas Afectivas de Brownies

Análisis Atributos Sensoriales

Los resultados sugieren que la sustitución por harina de cascarilla de cacao (HCC) en brownies afectó varios atributos sensoriales. Los brownies con un 16% de sustitución de HCC (T3) lograron una aceptación general alta, comparable al tratamiento control (T1), con buenas puntuaciones en todos los atributos. Sin embargo, una sustitución mayor a esta (22%) resultó en una menor aceptación debido a la disminución en la textura y la dulzura. Estos hallazgos sugieren que el uso de HCC hasta un 16% fue óptimo para mantener la calidad sensorial de los brownies, mientras que el nivel más alto evaluado comprometió la aceptación del producto (Cuadro 13).

Cuadro 13

Resultados del Análisis Sensorial de los Atributos de Apariencia, Color, Olor, Textura, Sabor, Dulzura, Amargura y Aceptación General de los Brownies

Sustitución con harina de cascarilla de cacao (%)	Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor	Aceptación General
	Media ± desviación estándar					
0	6.5 ± 1.9[b]	7.6 ± 1.6[a]	7.5 ± 1.4[a]	6.7 ± 2.0[a]	7.7 ±1.5[a]	7.4 ± 1.4[a]
10	7.0 ± 1.7[a]	7.2 ± 1.7[a]	7.1 ± 1.7[b]	6.5 ± 1.8[a]	6.8 ± 1.6[b]	7.0 ± 1.3[b]
16	7.2 ± 1.6[a]	7.5 ± 1.4[a]	7.5 ± 1.5[a]	6.9 ± 1.8[a]	7.5 ±1.6[a]	7.5 ± 1.4[a]
22	6.9 ± 1.7[ab]	7.5 ± 1.2[a]	7.2 ± 1.4[ab]	4.7 ± 2.1[b]	5.7 ± 2.1[c]	6.0 ± 1.8[c]
CV %	22.45	16.08	15.98	28.26	22.99	18.85
Pr > F	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Nota. %C.V.: Coeficiente de Variación. Medias de la misma columna con letras diferentes (a, b) son significativamente diferentes (P ≤ 0.05). 0%,10%,16% y 22%: porcentaje de sustitución con harina de cascarilla de cacao. HCC: Harina de cascarilla de cacao. Escala hedónica de 1-9: 1= Me disgusta extremadamente y 9=Me gusta extremadamente.

Análisis de Correlación

Se muestran los resultados del análisis de correlación de los atributos respecto a la aceptación general del brownie. Se pudo notar que los atributos sabor fue el que obtuvo la mayor influencia sobre la aceptación general de los tratamientos, por parte de los panelistas, con una correlación alta positiva en todos los niveles de sustitución (Cuadro 14). Además, los resultados de este estudio muestran que la textura de igual forma tuvo una influencia significativa, con una correlación media positiva que varió según las muestras.

Cuadro 14

Resultados de Análisis de correlación del brownie.

Atributos	Coeficientes de correlación Pearson, Prob <0.0001			
	0%	10%	16%	22%
Apariencia	0.448	0.448	0.444	0.148
Color	0.516	0.516	0.404	0.323
Olor	0.588	0.513	0.458	0.305
Textura	0.588	0.589	0.679	0.681
Sabor	0.866	0.867	0.689	0.603

Nota. 0%,10%,16% y 22%: porcentaje de sustitución con harina de cascarilla de cacao.

Análisis Sensorial de Preferencia

La sustitución HCC tiene un impacto significativo en la preferencia de los brownies, excepto cuando se compara el tratamiento control (T1) con la sustitución del 10% (T2). Esto sugiere que una

pequeña cantidad de sustitución (10%) no afecta significativamente la preferencia, pero cantidades mayores (16% y 22%) sí lo hacen (Cuadro 15).

Los tratamientos con sustitución de 0% y 10% fueron igualmente preferidos, ya que obtuvieron la suma de categorías más baja, 206 y 202 respectivamente, en la prueba de preferencia, indicando la mayor aceptación preferencia entre los evaluadores (Cuadro 15).

A pesar de estos resultados, las sustituciones entre 10 y 16% resultan prometedoras. Aunque el 16% fue menos preferido en este análisis, en la evaluación de atributos no presentó diferencias significativas con el control, incluso con porcentajes de sustitución superiores al 10%.

Cuadro 15

Resultados de Prueba de Preferencia de Brownies

Sustitución con HCC (%)	Tratamiento	T1	T2	T3	T4
	Suma de categoría	206	202	254	338
0	206	0	4	-48	-132
10	202	-4	0	-52	-136
16	254	48	52	0	-84
22	338	132	136	84	0

Nota. 0%,10%,16% y 22%: porcentaje de sustitución con harina de cascarilla de cacao. HCC: Harina de cascarilla de cacao. Valor crítico: 46.9.

Estos resultados coinciden con lo indicado por Calle (2018) en su estudio sobre la utilización de la cáscara de cacao como fuente de fibra dietética y antioxidantes en la elaboración de galletas dulces. Calle concluye que la incorporación de cáscara de cacao no solo aporta beneficios nutricionales, sino que también resalta características organolépticas como el sabor y el color en productos horneados de chocolate. Esto podría explicarse por la presencia de compuestos fenólicos y la fibra insoluble en la cáscara de cacao, que interactúan con los ingredientes de la receta, mejorando tanto la textura como los atributos sensoriales del producto final.

Etiqueta Nutricional

La principal ventaja nutricional del brownie con un 16% de sustitución con harina de cascarilla de cacao radica en su menor cantidad de azúcares añadidos y mayor contenido de fibra y proteínas (Figura 6).

En un estudio realizado por (Fabíola Nogueira Soares Souza et al., 2022) la harina de cascarilla de cacao demostró aumentar el contenido de fibra y añadir compuestos antioxidantes cuando se incorpora en un pastel de chocolate, convirtiéndola en un ingrediente alimentario funcional.

Además, la harina de cáscara de cacao se asocia con beneficios para la salud, como la mejora de la salud intestinal gracias a su alto contenido en fibra, y también ofrece propiedades antioxidantes que pueden ayudar a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y trastornos metabólicos (Gumeral et al., 2022).

Según el (RTCA, 2023), para que un producto sea considerando excelente fuente de fibra debe contener 3 g de fibra dietética por porción. En el caso del brownie con 16% de sustitución de HCC cumple con este requisito, esto debido a su aumento del 200% del contenido de fibra (Figura 6). Además, se puede resaltar que redujo un 10% del aporte calórico, esto relacionado a su reducción de un 17% en el contenido de azúcar, estas reducciones nos califican para clasificado como un producto reducido. Por lo que se puede concluir que la HCC es un ingrediente que mejora el perfil de nutricional en los brownies sin comprometer su calidad organoléptica.

Figura 6

Etiqueta nutricional de brownie con 0% y 16% de sustitución parcial de HCC

Conclusiones

La harina gruesa mostró un contenido de fibra un 50% inferior en comparación con la harina fina.

La sustitución parcial de azúcares por harina de cáscara de cacao (HCC) en las barras de chocolate afectó moderadamente los atributos sensoriales del producto, manteniendo una buena aceptación incluso con un 9% de sustitución.

La sustitución parcial de azúcares por harina de cáscara de cacao (HCC) en un 9% en las barras de chocolate aumentó significativamente el contenido de fibra dietética en un 40% y redujo el valor diario de azúcar en un 30%. De acuerdo con el RTCA, esto califica al producto como una excelente fuente de fibra y con bajo contenido de azúcar, logrando también una disminución del 5% en las calorías

El tratamiento con un 16% de sustitución parcial de la mezcla genérica de brownie por harina de cáscara de cacao (HCC) fue el más valorado en el análisis sensorial hedónico, obteniendo la mayor aceptación por parte de los panelistas.

El tratamiento con un 16% de sustitución parcial de la mezcla genérica de brownie por harina de cáscara de cacao (HCC) logró un incremento significativo del 200% en el contenido de fibra dietética. Según el RTCA, este producto se clasifica como una excelente fuente de fibra y también logró una disminución del 10% en el contenido calórico.

Recomendaciones

Determinar la composición nutricional de la harina de cascarilla de cacao, como el contenido de minerales, vitaminas y antioxidantes, para comprender mejor sus beneficios nutricionales.

Extender el estudio a otros productos alimenticios, incluyendo panes, galletas, y otros productos de panificación, para evaluar la versatilidad de la harina de cascarilla de cacao.

Evaluar la viabilidad de aumentar la proporción de harina de cascarilla de cacao en la formulación del chocolate para alcanzar niveles mayores de fibra dietética conforme a las recomendaciones diarias de ingesta.

Realizar un estudio para determinar la vida útil de la harina de cascarilla de cacao, evaluando su estabilidad y conservación en condiciones de almacenamiento específicas

Referencias

N.A Adamafio. (2013). *Theobromine Toxicity and Remediation of Cocoa By Products: An Overview* (7ª ed.). Journal of Biological Sciences. https://scialert.net/fulltext/fulltextpdf.php?pdf=ansinet/jbs/2013/570-576.pdf

Agus, B. A. P., Mohamad, N. N. y Hussain, N. (2018). Composition of unfermented, unroasted, roasted cocoa beans and cocoa shells from Peninsular Malaysia. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *12*(4), 2581–2589. https://doi.org/10.1007/s11694-018-9875-4

Alejandra M. Preciado-Saldaña, J. Ruiz-Canizales, Mónica A. Villegas-Ochoa, J. Abraham Domínguez-Avila y Gustavo A. González-Aguilar (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *23*(2), 92. https://www.redalyc.org/journal/813/81373798002/html/

Andrade, M. A. de, Oliveira, K. Á. R. de, Dantas, A., Chantelle, L., Vasconcelos, M. H. A. de y Brito, I. d. L. (2020). Development and characterization of cocoa brownie added of fassion fruit albedo flour (Passiflora edulis Sims). *Research, Society and Development*, *9*(8), e45985245. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5245

Arlorio, M., Coisson, J. D., Restani, P. y Martelli, A. (2001). Characterization of Pectins and Some Secondary Compounds from Theobroma cacao Hulls. *Journal of Food Science*, *66*(5), 653–656. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04616.x

Arlorio, M., Coïsson, J. D., Travaglia, F., Varsaldi, F., Miglio, G., Lombardi, G. y Martelli, A. (2005). Antioxidant and biological activity of phenolic pigments from Theobroma cacao hulls extracted with supercritical CO2. *Food Research International*, *38*(8-9), 1009–1014. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.03.012

Barbosa, G. V., Harte, F. y Yan, H. H. (2007). *Food Engineering: Encyclopedia of Life Support Systems*. *Particle Size Distribution in Food Powders: I*. https://www.eolss.net/sample-chapters/c10/E5-10-01-06.pdf

Barbosa-Pereira, L., Rojo-Poveda, O., Ferrocino, I., Giordano, M. y Zeppa, G. (2019). Analytical dataset on volatile compounds of cocoa bean shells from different cultivars and geographical origins. *Data in Brief*, *25*, 104268. https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104268

Beda M. Yapo, V. Besson, Benoit B. Koubala y Kouassi L. Koffi (2013). Adding Value to Cacao Pod Husks as a Potential Antioxidant-Dietary Fiber Source. *American Journal of Food and Nutrition*, *1*(3), 38–46. https://doi.org/10.12691/ajfn-1-3-4

Belščak-Cvitanović, A., Vojvodić, A., Bušić, A., Keppler, J., Steffen-Heins, A. y Komes, D. (2018). Encapsulation templated approach to valorization of cocoa husk, poppy and hemp macrostructural and bioactive constituents. *Industrial Crops and Products*, *112*, 402–411. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.020

Betancourt Suarez, B. E., Caballero Ruíz, B. M., Delgado Villanueva, J. V., Lázaro Plata, E. V. y Sosa Morales, M. E. (2016). Una nueva alternativa del procesamiento del frijol negro *(Phaseolus vulgaris L.)* en un producto de panificación tipo brownie dulce. *Investigación Y Desarrollo En*

Ciencia Y Tecnología En Alimentos, *1*(2), Artículo 1. http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/11.pdf

Bonvehí, J. S. y Jordà, R. E. (1998). Constituents of Cocoa Husks. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, *53*(9-10), 785–792. https://doi.org/10.1515/znc-1998-9-1002

Cabrera Llano, J. L. y Cárdenas Ferrer, M. (2006). Importancia de la fibra dietética para la nutrición humana. *Revista Cubana De Salud Pública*, *32*(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662006000400015&lng=es&tlng=es

Chan, S.-Y. y Choo, W.-S. (2013). Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chemistry*, *141*(4), 3752–3758. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.097

Diomande, D., Antheaume, I., Leroux, M., Lalande, J., Balayssac, S., Remaud, G. S. y Tea, I. (2015). Multi-element, multi-compound isotope profiling as a means to distinguish the geographical and varietal origin of fermented cocoa (Theobroma cacao L.) beans. *Food Chemistry*, *188*, 576–582. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.040

Divya, V., Baskaran, D. y Gnanalaksshmi, K. S. (2017). Standardization of Optimal Level of Coconut Variants in Chocolates Based on Consumer Acceptance. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *5*(1), 36–42. https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.1.05

Fabíola Nogueira Soares Souza, Suellen Rocha Vieira, Marina Leopoldina Lamounier Campidelli, Renata Abadia Reis Rocha, Leonardo Milani Avelar Rodrigues, Pedro Henrique Santos, João de Deus Souza Carneiro, Iasnaia Maria de Carvalho Tavares y Cristiane Patrícia de Oliveira (2022). Impact of using cocoa bean shell powder as a substitute for wheat flour on some of chocolate cake properties. *Food Chemistry*, *381*, 132215. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132215

García, O. E., Benito, R. y Julio, C. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos De Nutrición,* 21(1). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-07522008000100005

Gawkowska, D., Cybulska, J. y Zdunek, A. (2018). Structure-Related Gelling of Pectins and Linking with Other Natural Compounds: A Review. *PubMed Central*, *10*(7), 762. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6404037/

Insuasti Benítez, S. G. y López Gómez, V. L. (2021). *Efecto de la adición de harina de pulpa de café (Coffea arabica) en las características fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales de brownies.* Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7d6ecc72-a372-43c5-8278-50f967611507/content

Jozinović, A., Panak Balentić, J., Ačkar, Đ., Babić, J., Pajin, B., Borislav Miličević, Sunčica Guberac, Vrdoljak, A. y Drago Šubarić (2018). Cocoa husk application in the enrichment of extruded snack products. *Journal of Food Processing and Preservation*, *43*(2). https://doi.org/10.1111/jfpp.13866

Lecumberri, E., Goya, L., Mateos, R., Alía, M., Ramos, S., Izquierdo-Pulido, M. y Bravo, L. (2007). A diet rich in dietary fiber from cocoa improves lipid profile and reduces malondialdehyde in

hypercholesterolemic rats. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, *23*(4), 332–341. https://doi.org/10.1016/j.nut.2007.01.013

Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L. y Bravo, L. (2007a). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (Theobroma cacao L.). *Food Chemistry*, *104*(3), 948–954. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814607000404

Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo-Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L. y Bravo, L. (2007b). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (Theobroma cacao L.). *Food Chemistry*, *104*(3), 948–954. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.054

Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A. y Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (Theobroma cacao L.) co-products. *Food Research International*, *49*(1), 39–45. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.005

Mickiewicz, B. y Britchenko, I. (2022). Main trends and development forecast of bread and bakery products market. *VUZF Review*, *7*(3), 113–123. https://doi.org/10.38188/2534-9228.22.3.11

Milla, P. G., Peñalver, R. y Nieto, G. (2021). Health Benefits of Uses and Applications of Moringa oleifera in Bakery Products. *Plants (Basel, Switzerland)*, *10*(2). https://doi.org/10.3390/plants10020318

Mollea, C., Chiampo, F. y Conti, R. (2007). Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study. *Food Chemistry*, *107*(3), 1353–1356. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.006

Morón, L., Caro, Y., González, R. E. y Torres, É. P. (2015). Obtención de un Sustituto de Chocolate tipo-Pasta usando Pulpa de Carao (Cassia fístula L.). *Información Tecnológica*, *26*(6), 39–44. https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000600006

Nogueira, F., Abadia, R., Deus, J. de, Henrique Santos, P., Leopoldina, M., De Carvalho, M., Milani, L., De Oliveira, C. y Rocha, S. (2022). Impact of using cocoa bean shell powder as a substitute for wheat flour on some of chocolate cake properties. *Food Chemistry*, *381*, 132215. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132215

Norazura, M. H., Sivaruby, K. y Noor Lida, H. M. D. (2020). Blended palm fractions as confectionery fats; a preliminary study. *Journal of Oil Palm Research*, *33*(2), 360–380. https://doi.org/10.21894/jopr.2020.0101

Nsor-Atind, J., Zhong, F., Mothibe, K. J., Bangoura, M. L. y Lagnika, C. (2012). Quantification of Total Polyphenolic Content and Antimicrobial Activity of Cocoa (Theobroma cacao L.) Bean Shells. *Pakistan Journal of Nutrition*, *11*(7), 672–677. https://doi.org/10.3923/pjn.2012.672.677

Ntiamoah, A. y Afrane, G. (2008). Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, *16*(16), 1735–1740. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.11.004

Okiyama, D. C., Soares, I. D., Toda, T. A., Oliveira, A. L. y Rodrigues, C. E. (2019a). Effect of the temperature on the kinetics of cocoa bean shell fat extraction using pressurized ethanol and

evaluation of the lipid fraction and defatted meal. *Industrial Crops and Products*, *130*, 96–103. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.063

Okiyama, D. C., Soares, I. D., Toda, T. A., Oliveira, A. L. y Rodrigues, C. E. (2019b). Effect of the temperature on the kinetics of cocoa bean shell fat extraction using pressurized ethanol and evaluation of the lipid fraction and defatted meal. *Industrial Crops and Products*, *130*, 96–103. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.063

Pérez, E., Méndez, A., León, M., Hernández, G. y Sívoli, L. (2015). Proximal composition and the nutritional and functional properties of cocoa by-products (pods and husks) for their use in the food industry. En E. P. Sira (Ed.), *Chocolate - cocoa byproducts technology, rheology, styling, and nutrition* (pp. 219–234). Nova Science Publishers Inc. https://www.researchgate.net/publication/278157088_Proximal_composition_and_the_nutritional_and_functional_properties_of_cocoa_by-products_pods_and_husks_for_their_use_in_the_food_industry

Redgwell, R., Trovato, V., Merinat, S., Curti, D., Hediger, S. y Manez, A. (2003). Dietary fibre in cocoa shell: characterisation of component polysaccharides. *Food Chemistry*, *81*(1), 103–112. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00385-0

Etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad escuela (2023). https://sde.gob.hn/wp-content/uploads/2024/03/RTCA-Etiq.-Nutricional-CPI.pdf

Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Zeppa, G. y Stévigny, C. (2020a). Cocoa Bean Shell-A By-Product with Nutritional Properties and Biofunctional Potential. *Nutrients*, *12*(4). https://doi.org/10.3390/nu12041123

Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Zeppa, G. y Stévigny, C. (2020b). Cocoa Bean Shell-A By-Product with Nutritional Properties and Biofunctional Potential. *Nutrients*, *12*(4). https://doi.org/10.3390/nu12041123

Rubiano Gonzalez, V., Montaña Numpaque, M. y Da Silva Dias, N. (2022). Pectinas: extracción, usos e importancia en la agroindustria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *6*(5), 5294–5309. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3498

Salamanca, M. y Gaviria, L. J. (2021). *Desarrollo de un chocolate a base de una emulsión de agua en manteca de cacao orientado a la producción de un producto bajo en calorías con las mismas características organolépticas de un chocolate tradicional [*Tesis de pregrado]. Universidad de los Andes, Colombia. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/3e26584c-467c-47f1-8a55-d711d4222c2c/content

Semper, L. (2019). *Estrategias para reducir el azúcar en chocolates: importancia tecnológica e impacto en la aceptabilidad del consumidor* [Master]. https://zaguan.unizar.es/record/84775/files/TAZ-TFM-2019-971.pdf

Serra Bonvehí, J. y Ventura Coll, F. (1999). Protein quality assessment in cocoa husk. *Food Research International*, *32*(3), 201–208. https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00088-5

Vojvodić, A., Komes, D., Vovk, I., Belščak-Cvitanović, A. y Bušić, A. (2016). Compositional evaluation of selected agro-industrial wastes as valuable sources for the recovery of complex

carbohydrates. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, *89*(Pt 1), 565–573. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.023

Weinstein, B. y Scarbrough, M. (2002). *The Ultimate Brownie Book: Thousands of Ways to Make America's Favorite Treat, Including Blondies, Frostings, and Doctored Brownie Mixes* (1ª ed.). William Morrow Cookbooks. https://www.goodreads.com/book/show/772778.The_Ultimate_Brownie_Book

World Health Organization. (2020). *Healthy Diet.* Organización Mundial de la Salud. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet

Zaldaña, L. S. (2019). *Desarrollo de dos chocolates con adición de harina de quinua (Chenopodium quinoa) y harina de arroz hidrolizado (Oryza sativa)* [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/33d4502b-6494-437f-ac7f-182cd87b80df/content

Anexos

Anexo A

Hoja de evaluación sensorial de brownies con sustitución parcial de harina de cascarilla de cacao

HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE BROWNIES CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE CASCARILLA DE CACAO

Fecha: ___ / ___ / _____ Nacionalidad: _____Edad: _____ Género: F __ M __

Instrucciones: A continuación, se presentan 4 muestras codificadas. Deberá probar cada una empezando de izquierda a derecha y calificar cada una en cuanto a la **aceptación de los atributos** mencionados de acuerdo con el puntaje de la escala hedónica del ***Cuadro 1.*** Siendo la menor valoración de 1 punto y la mayor valoración de 9 puntos. Antes y después de degustar cada muestra Beba un sorbo de agua, para limpiar su paladar.

Cuadro 1. *Escala hedónica de 9 puntos*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo

Cuadro 2. *Atributos por evaluar*

# Muestra	Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor	Aceptación General

Comentarios:

_____

_____

Preferencia:

Después de haber evaluado las muestras, ordene estas según su preferencia. Siendo la muestra número 1 su preferida y la número 4 la menos preferida.

Orden de preferencia	Código de la muestra
1 (preferida)	
2	
3	
4 (menos preferida)	

Comentarios:

_____

_____

¡Muchas gracias por su participación!

Anexo B

Hoja de evaluación sensorial de barra de chocolate con sustitución parcial de harina de cascarilla de cacao

HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE CHOCOLATE CON DE HARINA DE CASCARILLA

Fecha: ___ / ___ / _____ Nacionalidad: _____Edad: _____ Género: F __ M __

Instrucciones: A continuación, se presentan 4 muestras codificadas. Deberá probar cada una empezando de izquierda a derecha y calificar cada una en cuanto a la **aceptación de los atributos** mencionados de acuerdo con el puntaje de la escala hedónica del ***Cuadro 1***. Siendo la menor valoración de 1 punto y la mayor valoración de 9 puntos. Antes y después de degustar cada muestra Beba un sorbo de agua, para limpiar su paladar.

Cuadro 1. *Escala hedónica de 9 puntos*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta muchísimo	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho	Me gusta muchísimo

Cuadro 2. *Atributos por evaluar*

# Muestra	Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor	Aceptación General

Comentarios:

_____

_____

Preferencia:

Después de haber evaluado las muestras, ordene estas según su preferencia. Siendo la muestra número 1 su preferida y la número 4 la menos preferida.

Orden de preferencia	Código de la muestra
1 (preferida)	
2	
3	
4 (menos preferida)	

Comentarios:

_____

_____

¡Muchas gracias por su participación!

Anexo C

Tabla de prueba de Basker y Kramer

Reyna Liria 08/02/2008

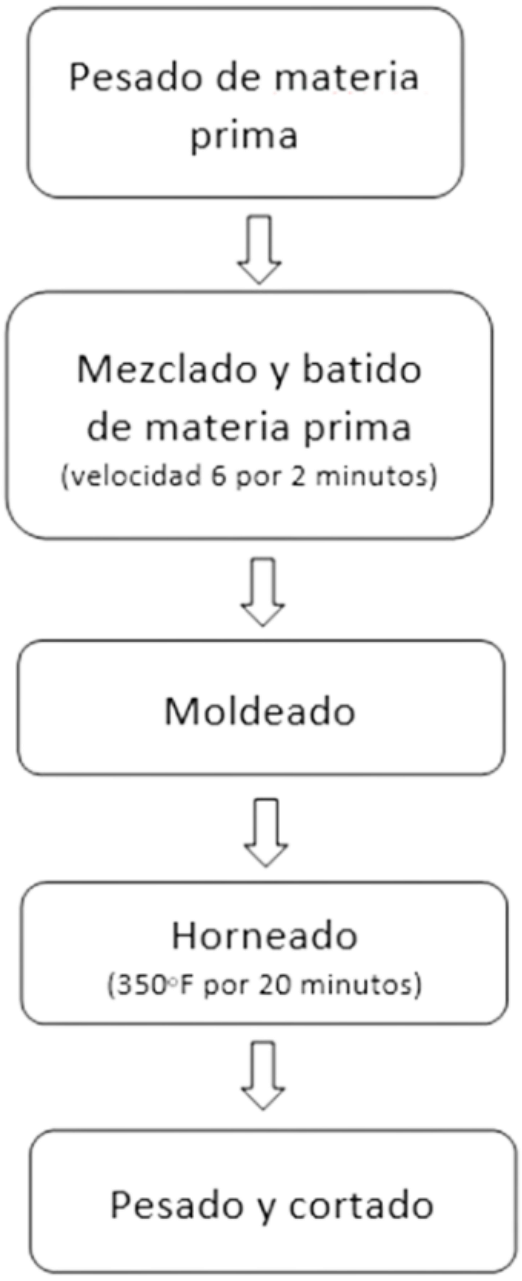
Anexo 4: Tabla de Prueba de Basker y Kramer "Valor crítico de diferencia entre suma de categorías"

Número de panelistas	Número de productos								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	8.8	14.8	21.0	27.3	33.7	40.3	47	53.7	60.6
21	9.0	15.2	21.5	28.0	34.6	41.3	48.1	55.1	62.1
22	9.2	15.5	22.0	28.6	35.4	42.3	49.2	56.4	63.5
23	9.4	15.9	22.5	29.3	36.2	43.2	50.3	57.6	65.0
24	9.6	16.2	23.0	29.3	36.9	44.1	51.4	58.9	66.4
25	9.8	16.6	23.5	29.9	37.7	45.0	52.5	60.1	67.7
26	10.0	16.9	23.9	30.5	38.4	45.9	53.5	61.3	69.1
27	10.2	17.2	24.4	31.1	39.2	46.8	54.6	62.4	70.4
28	10.4	17.5	24.8	31.7	39.9	47.7	55.6	63.6	71.7
29	10.6	17.8	25.3	32.3	40.6	48.5	56.5	64.7	72.9
30	10.7	18.2	25.7	32.8	41.3	49.3	57.5	65.8	74.2
31	10.9	18.5	26.1	33.4	42.0	50.2	59.4	66.9	75.4
32	11.1	18.7	26.5	34.0	42.6	51.0	60.3	60.3	76.6
33	11.3	19.0	26.9	35.0	43.3	51.7	61.2	69.0	77.8
34	11.4	19.3	27.3	35.6	44.0	52.5	62.1	70.1	79.0
35	11.6	19.6	27.7	36.1	44.6	53.3	63	71.1	80.1
36	11.8	19.9	28.1	36.6	45.2	54.0	63.9	72.1	81.3
37	11.9	20.2	28.5	37.1	45.9	54.8	64.7	73.1	82.4
38	12.1	20.4	28.9	37.6	46.5	55.5	67.2	74.1	83.5
39	12.2	20.7	29.3	38.1	47.1	56.3	65.6	75.0	84.6
40	12.4	21.0	29.7	38.6	47.7	57.0	66.4	76.0	85.7
41	12.6	21.2	30.0	39.1	48.3	57.7	67.2	76.9	86.7
42	12.7	21.5	30.4	39.5	48.9	58.4	68	77.9	87.8
43	12.9	21.7	30.8	40.0	49.4	59.1	68.8	78.8	88.8
44	13.0	22.0	31.1	40.5	50.0	59.8	69.6	79.7	89.9
45	13.1	22.2	31.5	40.9	50.6	60.4	70.4	80.6	90.9
46	13.3	22.5	31.8	41.4	51.1	61.1	71.2	81.5	91.9
47	13.4	22.7	32.2	41.8	51.7	61.8	72	82.4	92.1
48	13.6	23.0	32.5	42.3	52.2	62.4	72.7	83.2	93.8
49	13.7	23.2	32.8	42.7	52.8	63.1	73.5	84.1	94.8
50	13.9	23.4	33.2	43.1	53.3	63.7	74.2	85.0	95.8
55	14.5	24.6	34.8	45.2	55.9	66.8	77.9	89.1	100.5
60	15.2	25.7	36.3	47.3	58.4	69.8	81.3	93.1	104.9
65	15.8	26.7	37.8	49.2	60.8	72.6	84.6	96.9	109.2
70	16.4	27.7	39.2	51.0	63.1	75.4	87.8	100.5	113.3
80	17.5	29.6	42.0	54.6	67.4	80.6	93.9	107.5	121.2
90	18.6	31.4	44.5	57.9	71.5	85.5	99.6	114.0	128.5
100	19.6	33.1	46.9	61.0	75.4	90.1	105	120.1	135.5
110	20.6	34.8	49.2	64.0	79.1	94.5	110.1	126.0	142.1
120	21.5	36.3	51.4	66.8	82.6	98.7	115	131.6	148.4

Ref: Lawlees HT, Heymann H. Sensory evaluation of food. Principles and practices. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York, London, Dordrecht, Boston, 1998.

Anexo D

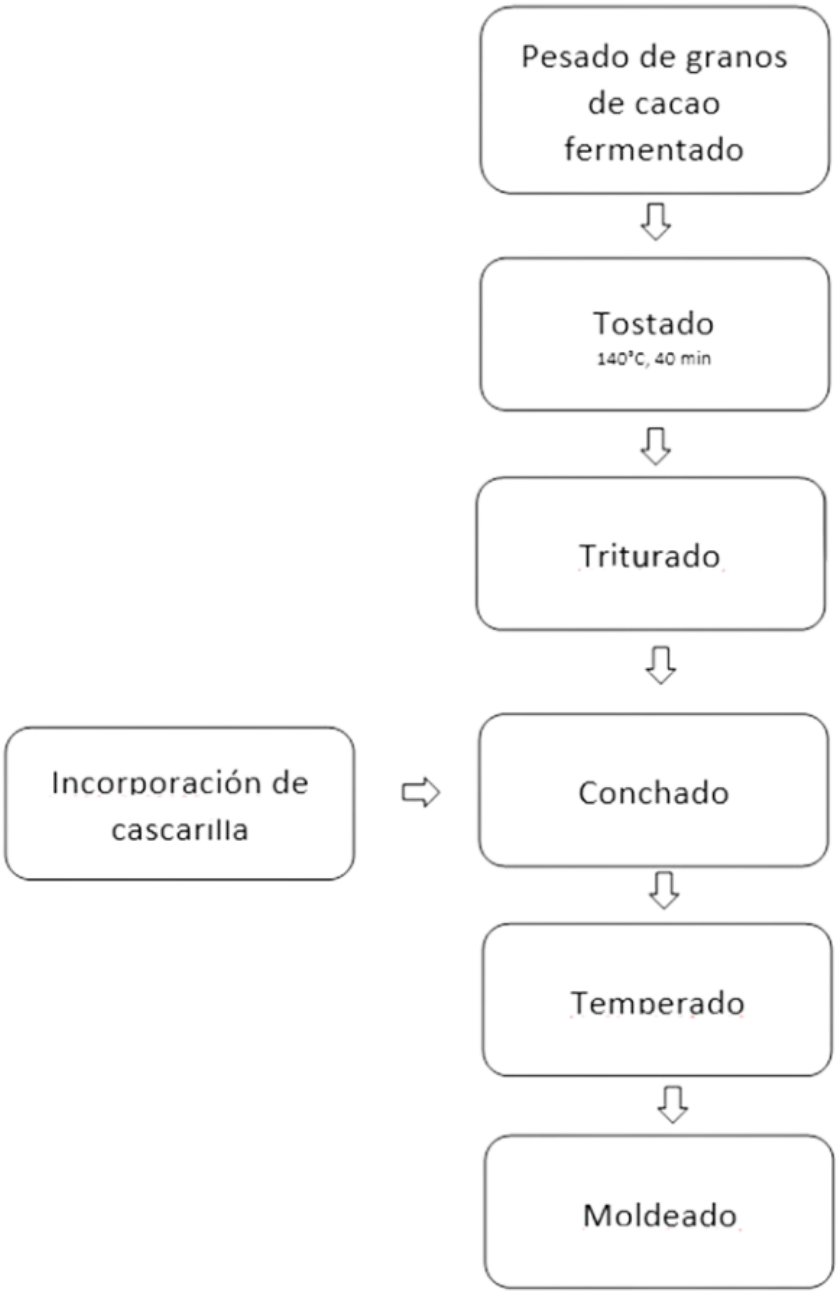
Diagrama de flujo de proceso de la elaboración de los brownies con sustitución parcial de cascarilla de cacao



Nota. tomado de Andrade et al., (2020).

Anexo E

Diagrama de flujo empleado en la elaboración de las barras de chocolate



Nota. Adaptado de Divya et al.(2017)