

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y  
ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN  
Y ALIMENTOS**

**TESIS PROFESIONAL**

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL  
Y ANTIOXIDANTE  
DE LA CASCARILLA DE CACAO  
DESHIDRATADO Y TOSTADO**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA EN AGROALIMENTOS**

**PRESENTA**

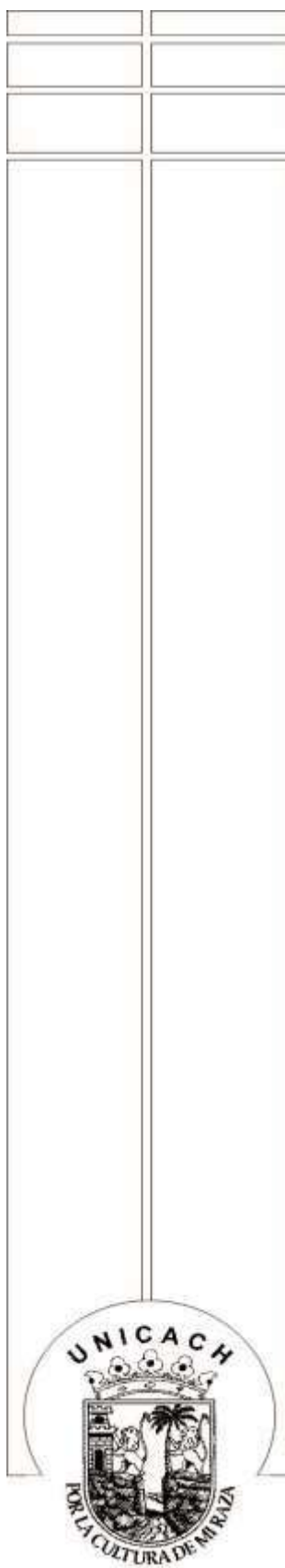
**LUZ ADRIANA RAMOS RAMÍREZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M.C. MARIO ALBERTO MORALES  
OVANDO**

**DIRECTOR EXTERNO**

**DRA. TERESA ROMERO CORTES**



VILLA DE ACAPETAHUA, CHIAPA

AGOSTO 2025



# AGRADECIMIENTO

La culminación de esta tesis no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de muchas personas a quienes deseo expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme brindado la sabiduría y la fortaleza necesarias durante esta etapa de formación profesional. A mi familia, les estoy profundamente agradecido por su comprensión y apoyo incondicional por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, por creer en mí en todo momento ellos han sido mi inspiración y mi fortaleza.

Agradezco a mi director de tesis, M.C. Mario Alberto Morales Ovando, por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación por crear un ambiente académico estimulante y enriquecedor. También quiero expresar mi gratitud al profesor de la materia, M.C. Emanuel Rivas Robles, por compartir su sabiduría y experiencia, sus consejos y discusiones han sido fundamentales para expandir mi perspectiva y mejorar la calidad de mi trabajo.

A mis compañeros de estudio y amigos, les doy las gracias por su apoyo incondicional, su amistad y por estar siempre ahí para ofrecer palabras de aliento y motivación en los momentos más difíciles.

**Luz Adriana Ramos Ramírez**



# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA GENERAL

DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES

DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Villa de Acapetahua, Chiapas  
08 de mayo del 2025

C. Luz Adriana Ramos Ramírez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Agroalimentos

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:  
Capacidad estructural y antioxidante de la cascarilla de cacao deshidratado y tostado

En la modalidad de: Tesis profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

## Revisores

M.C. Emanuel Rivas Robles

L.A.E. Yesenia Arzeta Vázquez

M.C. Mario Alberto Morales Ovando

Firmas:

Ccp. Expediente

# CONTENIDO

Introducción .....	1
Justificación.....	5
Planteamiento del problema.....	6
Objetivos.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos .....	8
Marco teórico .....	9
Antecedentes .....	9
Origen del cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	12
Procesamiento del cacao como residuo agroindustrial.....	13
Cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	15
Obtención de la cascarilla de <i>Theobroma cacao</i> L.....	16
Proceso para la obtención de la cascarilla de cacao .....	17
Secado .....	18
Tostado .....	19
Descascarillado.....	20
Usos de la cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	21
Valorización de residuos.....	23
La producción de cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	25
Composición química nutricional de la cascarilla de cacao .....	29
Color en la cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	32
Descripción física de la cascarilla Cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	33
Alimentos funcionales que contienen polvo/extracto de cáscara de cacao.....	33
Contenido de azúcar de la cascarilla de cacao.....	34
Minerales y Vitaminas .....	35
Generalidades de los antioxidantes .....	37
Fibra dietética .....	38
Polifenoles .....	39
Clasificación de los polifenoles .....	40
Flavonoides.....	41

Compuestos fenólicos.....	43
Metilxantinas .....	45
Extractos de cáscara de cacao ricos en metilxantina .....	46
FTIR en la cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	47
Microscopia en la cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	47
Hipótesis .....	49
Metodología.....	50
Diseño de la investigación.....	50
Población .....	51
Muestra.....	51
Muestreo .....	52
Variables.....	52
Instrumentos de medición .....	52
Descripción de técnicas utilizadas.....	53
Análisis de color .....	53
Descripción de análisis estadístico .....	58
Presentación y análisis de resultados .....	60
a) Analizar el color de la cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	60
b) Determinar la composición químico-proximal de la cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	62
c) Evaluar las propiedades estructurales de la cascarilla de cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L) por el método de Espectrometría de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR).....	71
d) Identificar la morfológica del tamaño de la cascarilla de cacao <i>Theobroma cacao</i> L Variedad, forastero en diferentes temperaturas de deshidratación y de tostado.....	75
e) Determinar la capacidad antioxidante <i>Theobroma cacao</i> L Variedad forastero en diferentes temperaturas de deshidratación 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. sol y horneado a 180°C. .....	79

Conclusiones.....	87
Recomendaciones .....	88
Glosario.....	89
Referencias documentales.....	91
Anexos.....	112

# ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Granos de cacao y sus subproductos de procesamiento. ....	13
Figura 2. Cascarilla de cacao.....	15
Figura 3. Cáscara de cacao obtenidas después de tostar los granos .....	17
Figura 4. Harinas de cáscaras de grano de cacao con diferentes tamaños de partículas. ....	18
Figura 5. Proceso de obtención y de elaboración del polvo de la cascarilla de cacao.....	21
Figura 6. Pronóstico de la producción de cacao en grano .....	27
Figura 7. Valor de la cáscara, las cáscaras de la vaina, piel y otros desechos de cacao exportados desde el Reino Unido .....	29
Figura 8. Valorización de productos alimenticios con extracto de cáscara del grano de cacao .....	34
Figura 9. Clasificación de los polifenoles.....	40
Figura 10. Cambio del contenido de polifenoles en cascarilla de grano fresco, fermentado y secado.....	45
Figura 11. Rayen S.P.R. Región Soconusco ubicado en la 5° avenida Norte, Raymundo Enríquez, Tapachula México. ....	51
Figura 12. Espectrofotometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) de la cascarilla de cacao deshidratado a diferentes temperaturas: a) 35°C, B) 40°C, c) 45°C, d) 50°C, e) S. Sol. ....	72
Figura 13. Espectrofotometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)de la cascarilla de cacao horneado a diferentes temperaturas, a)35°C, b)40°C, c)45°C, d)50°C, e) S. Sol.....	74
Figura 14. Microscopía de la cascarilla de cacao deshidratado a diferentes temperaturas: a) 35°C, b) 40°C, c) 45°C, d) 50°C, e) S. Sol tomadas a 1000x .....	76
Figura 15. Microscopía de la cascarilla de cacao horneado a diferentes temperaturas: a)35°C, b)40°C, c)45°C, d)50°C, e) S. Sol tomadas a 1000x .....	78
Figura 16. Polifenoles totales de la cascarilla de cacao deshidratado a	

35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. Sol .....	79
Figura 17. Radicales ABTS de la cascarilla de cacao deshidratado a	
35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. Sol.....	80
Figura 18. Radicales DPPH en la cascarilla de cacao deshidratadas a	
35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. Sol.....	81
Figura 19. Flavonoides de la cascarilla de cacao deshidratadas a 35°C, 40°C, 45°C,	
50°C, S. Sol	
.....	82
Figura 20. Polifenoles totales en la cascarilla de cacao horneado a 180°C .....	83
Figura 21. Radicales ABTS en la cascarilla de cacao horneado a 180°C .....	84
Figura 22. Radicales DPPH en la cascarilla de cacao horneado a 180°C.....	85
Figura 23. Flavonoides en la cascarilla de cacao horneado a 180°.....	86



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cacao <i>Theobroma cacao</i> L.....	16
Tabla 2. Uso de la cascarilla de cacao y sus derivados.....	22
Tabla 3. Parámetros de cada componente para ser establecida como alto, medio o bajo en el semáforo nutricional.....	24
Tabla 4. Composición nutricional y química de las cáscaras del grano de cacao (CBS).....	30
Tabla 5. Principales características físicas de la cascarilla.....	33
Tabla 6. Nomenclatura utilizada en los análisis realizados.....	59
Tabla 7. Parámetros físicos de la cascarilla de cacao deshidratado .....	61
Tabla 8. Composición químico-proximal de la cascarilla del grano de cacao <i>Theobroma cacao</i> L deshidratado y horneado.....	62
Tabla 9. Determinación de pH .....	70

# INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó en la cooperativa Rayen S.P.R en la Ciudad de Tapachula de Córdoba y Ordoñez, la cual es una de las principales productoras de cacao de la región Soconusco, en donde la cascarilla es uno de los principales desechos agroindustriales que se generan, ya que se toma como un residuo o desperdicio no aprovechado, debido a esto se pretende dar un valor a la cascarilla de cacao utilizándola en la producción de alimentos que sean novedosos, por su alta capacidad en fibra debido a que se desconoce los métodos de conservación que se le pueden aplicar para cumplir los estándares de calidad.

La cascarilla de cacao es un desecho agro-industrial que se clasifica como una fuente baja de energía debido a que presenta niveles de energía digestible menor a  $2500 \text{ kcal kg}^{-1}$ , que es la base de la fibra, además aporta nutricionalmente macronutrientes (proteínas, carbohidratos lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales), también se encuentra constituida por calcio, magnesio, ácido oleico, compuesto por omega 9; el cual permite la reducción de enfermedades cardiovasculares ácido linoleico el cual está compuesto con omega 6, la cascarilla cuenta con un alto contenido de alcaloides rico en minerales (Teneda Llerena, 2018).

La cascarilla de cacao está formada especialmente por fibras en compuestos lignocelulolíticos; estos últimos contienen celulosas, hemicelulosa y lignina polímeros que son difíciles de atacar por acción zimática. Varias indagaciones han confirmado las propiedades naturales de los polifenoles, son generalmente el resultado de sus propiedades antioxidantes, que podrían legitimar sus actividades vasodilatadoras y vasoprotectoras, además como sus actividades antitrombóticas, antilipémicas, antiateroscleróticas, antiinflamatorias y

antiapoptóticas. Los polifenoles se forman efectivamente de antioxidantes (Teneda Llerena, 2018).

De esta manera al ser desechada sin aprovechar su potencial, la cascarilla contiene una serie de propiedades beneficiosas que pueden ser utilizadas de manera sostenible ofreciendo una amplia gama de beneficios. Su importancia radica en su capacidad para contribuir a una mejor economía asía los productores con la intención de reducir residuos y promover prácticas más ecológicas y saludables (Rey Tobar *et al.*, 2022).

La presente investigación corresponde al paradigma cuantitativo, y el tipo de investigación descriptivo y experimental. La investigación cuantitativa se usó para la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. La investigación descriptiva busca especificar patrones, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se pueda analizar. El experimental porque se ocasionan situaciones de control en el cual se manipulan tratamientos a diferentes temperaturas, de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos).

Con respecto a los análisis físicos fue el color en el tratamiento; deshidratado secado al sol (DSS) que presentó mayor proporción con  $51.24 \pm 0.54$ , asimismo, en el análisis químico proximal se destacó que los valores de fibra se presentó mayor valor en ambos tratamientos de deshidratado y horneado estando en el rango de  $16.49 \pm 6.17^a$  y  $28.47 \pm 1.40^a$ , mientras que en proteína en los tratamientos;

deshidratado a 50°C (D50) y horneado a 50°C (H50) se encuentran en un promedio de  $16.30 \pm 0.27$ , en grasa los valores más altos son el tratamiento; horneado a 40°C (H40) con  $14.79 \pm 0.12$ , la humedad se pierde por completo en el horneado con un valor de  $1.50 \pm 0.27$  en, horneado a 50°C (H50), a diferencia del deshidratado que no pierde nada de humedad con valores de  $10.32 \pm 0.06$ , para el porcentaje de ceniza se estableció mayor contenido en los tratamientos horneado a 35°C (H35), horneado a 40°C (H40) con un promedio de  $14.23 \pm 0.19\%$ , para las propiedades de FTIR se mencionan grupos de carbohidratos, lípidos y glucósidos en los tratamientos deshidratados, en la evaluación de las morfologías de microscopia del tamaño de la cascarilla de cacao del tratamiento deshidratado no pierden sus estructuras sin importar el tamaño de la molienda, mientras la capacidad antioxidante en la cascarilla de cacao es de polifenoles, flavonoides ATBS y DPPH. La investigación sobre las cascarillas de cacao horneadas reveló resultados prometedores en varios aspectos, el color marrón oscuro obtenido en los tratamientos horneado secado al sol (HSS), horneado a 35°C (H35) y horneado a 40°C (H40) demostró una alta luminosidad promedio de  $48.95 \pm 0.88$ , mejorando tanto el aroma como el sabor del cacao, las temperaturas de tostado influyeron significativamente en el contenido químico-proximal de las cascarillas, destacando el tratamiento horneado a 35°C (H35) por su mayor contenido proteico, lo que resalta su valor nutricional para la industria alimentaria. Además, mediante la técnica de FTIR se identificaron diversos grupos funcionales como aldehídos, lípidos, carbohidratos y glucósidos en las cascarillas no habiendo diferencias ninguno de los tratamientos deshidratados y horneados. El análisis mediante microscopía electrónica ofreció información sobre la morfología, tamaño y grosor de las cascarillas, contribuyendo a evaluar las pequeñas partículas que están presentes en los diferentes tamaños de

cascarilla. Finalmente, el alto potencial antioxidante de las cascarillas de cacao se favorece debido a su alto contenido en compuestos bioactivos y polifenoles, Flavonoides presentes en las cascarillas deshidratadas y horneadas.

La cascarilla de cacao tiene un potencial alto al ser aprovechada como beneficio de los productos novedosos que se puedan atribuir, ya que sus capacidades físicas como químicas tienen un valor agregado y brinda un fuerte aporte nutricional.

# JUSTIFICACIÓN

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar las propiedades fisicoquímicas y la capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao, estudios realizados actualmente comprueban que este desecho agroindustrial aproximadamente del 12% de 100 kg de desperdicio de semillas de cacao, por lo que el aprovechamiento de este desecho es considerado como un residuo agroindustrial haciendo función en diferentes fuentes alimenticias.

La cascarilla puede ser aprovechada dentro del sector alimentario debido a que es continuamente usada como fuente en la alimentación humana, en la elaboración de bebidas chocolatadas, postres, helados, mousse, salsas, galletas, para los animales (cómo suplemento alimenticio), para la elaboración de jabón y como fertilizante de cultivos. El desarrollo de este estudio contribuye principalmente desde un aspecto económico a los productores de cacao generando así las posibilidades para el beneficio de algunas cooperativas productoras de cacao, para la elaboración de diferentes tipos de productos en el sector alimentario.

Como Ingeniero en Agroalimentos, se contribuye en este estudio a la realización y desarrollo de nuevos productos en el área alimentaria, aprovechando los beneficios de la materia prima y generando subproductos que sean de utilidad en las industrias alimenticias, empleando técnicas y procesos para su elaboración y de esta manera contribuir al requerimiento de la obtención de dicho producto con base a lo analizado con la capacidad de proponer, organizar y desarrollar diversas fuentes al sector alimentario, generando así un impacto positivo en las cooperativas productoras de cacao.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Chiapas es el estado en el que la producción de cacao representa una de las fuentes esenciales de desarrollo económico para la mayoría de las familias y las cooperativas productoras de cacao. Derivado al proceso fermentado, secado y tostado, la cascarilla es un residuo agroindustrial, estudios realizados comprueban que este desecho agroindustrial representa cerca del 12% de 100 kg de semillas de cacao que se estima como desecho, debido a que las empresas agroindustriales lo consideran como desecho, por lo que la idea es incorporarlas a la cadena productiva de la agroindustria para aumentar los ingresos de las familias cacaoteras, durante el procesamiento del cacao, se generan varios subproductos, como la cáscara del grano de cacao, la cáscara y la pulpa del cacao, que se estima que representan el 85% de la producción de cacao.

La cascarilla se ha considerado con bajo valor, y se desecha o en su caso se utiliza de manera limitada, a pesar del potencial que esta genera, el uso de este residuo sigue siendo insuficiente y no aprovechado, debido a la falta de investigaciones y aportaciones que no han sido descubiertos como las propiedades funcionales de la cascarilla de cacao que se toma como un residuo agroindustrial.

Las cáscaras de cacao representan un grave problema para los cultivadores, ya que, al ser usado como abono sin compostar, se convierten en una fuente significativa de enfermedades causadas por moscas de varias especies, el desperdicio también genera contaminación del suelo causando serios problemas de contaminación ambiental, generando así daños en el agua y en el suelo debido a la cantidad de cascarilla desperdiciada.

Es fundamental conocer la importancia y alternativas sobre el uso de la cascarilla donde se permita conocer la utilización adecuada

de la cascarilla de cacao, con el fin de agregar beneficios a los productores de cacao, donde también se contribuirá a generar el desarrollo de nuevos productos y subproductos con niveles económicos altos para la sociedad en general.



# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Determinar las características estructurales, fisicoquímicas y antioxidantes de la cascarilla de cacao Var', Forastero sometidas a diferentes temperaturas de deshidratación y horneado.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analizar el color de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L. Var. Forastero en diferentes temperaturas de deshidratación y de tostado.
- b) Determinar la composición químico proximal de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L. Var. Forastero en diferentes temperaturas de deshidratación y de tostado.
- c) Evaluar las propiedades estructurales por el método de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L. Var. Forastero en diferentes temperaturas de deshidratación y de tostado.
- d) Identificar la morfología de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L. Var. Forastero en diferentes temperaturas de deshidratación y de tostado.
- e) Determinar la capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L. Var. Forastero en diferentes temperaturas de deshidratación y de tostado.

# MARCO TEÓRICO

## ANTECEDENTES

Delgado Ospina *et al.*, (2020), evaluaron los parámetros de color en la cascarilla de cacao, antes del análisis realizaron dos calibraciones, (con patrón negro y blanco). El instrumento dio los resultados en términos de parámetros CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$  para cada medición obteniendo 18 muestras, encontraron en el mismo rango, encontrando los siguientes resultados,  $L^*$   $40.83 \pm 0.80$ ,  $a^*$  valor de  $7.06 \pm 0.08$ , por último, encontró en  $b^*$   $11.17 \pm 0.35$ .

Vera Romero *et al.*, (2022), evaluaron las características colorimétricas de los clones de la cascarilla de cacao CCN51, su medición adquiere importancia significativa ya que permite caracterizar en el sistema CIE  $L^*a^*, b^*$ ; las coordenadas de color para el clon CCN51 de cascarilla fueron de  $L^*$  arrojó una desviación estándar de 0.1147; y la media un valor de 29.97; un valor máximo de 30.8 y valor mínimo de 29.85 en los valores de  $a^*$  para colores de rojo a verde, se observó una desviación estándar de 0.0991, una media 8.42 un valor máximo de 8.48 y un valor mínimo de 8.31 el valor de  $b^*$  para los colores de amarillo a azul la desviación estándar es de 0.1283, una media de 3.14 un valor máximo de 3.28 y un valor mínimo de 3.03.

Aldas Morejón *et al.*, (2023), caracterizaron fisicoquímicamente la cascarilla de cacao deshidratada de tres variedades de cacao (Forastero, Trinitario y CCN51), que promueve el aprovechamiento del desecho orgánico como alternativa en la elaboración de productos sostenibles con excelentes características beneficiosas para el consumidor. El valor de pH en un rango de 5.46% se encontró en las tres variedades estudiadas con una temperatura de tostado de 140°C.

Erik Vivanco *et al.*, (2017), determinaron la composición químico proximal de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L, realizando una comparación con dos variedades diferentes como resultado los siguientes parámetros humedad  $8.74 \pm 0.05\%$ , ceniza  $5.14 \pm 0.12\%$ , fibra cruda  $41.96 \pm 0.85\%$ , grasa  $2.25 \pm 0.18\%$ , proteína  $8.75 \pm 0.49$  y CCN-51, haciendo comparación con la variedad CCN-51, obtuvo como resultado en; humedad  $6.43 \pm 0.05\%$ , ceniza  $5.54 \pm 0.11\%$ , fibra cruda  $40.14 \pm 0.23\%$ , grasa  $1.56 \pm 0.27\%$  y en proteína  $8.48 \pm 0.59$  los cuales mostraron diferencias estadísticas con base a el tipo de variedad.

Castillo Álvarez *et al.*, (2018), evaluaron la composición química proximal de la cáscara de cacao de un grupo de 11 frutos maduros y sanos de un clon de cacao OC- 61XPLA-159. Los resultados señalan que, por su alto contenido de fibra y bajo contenido graso, las cascarillas de cacao podrían ser utilizadas en la formulación de algunos productos alimenticios necesarios para regímenes que requieran estos componentes, reportando los valores promedio siguientes; humedad  $8.17 \pm 0.52\%$ , ceniza  $8.59 \pm 0.07\%$ , fibra cruda  $32.05 \pm 5.46\%$ , grasa  $0.60 \pm 0.04$ , y en proteína  $4.59 \pm 0.62\%$ .

Giorgio Grillo *et al.* (2018), destacaron que los análisis de FTIR en la cascarilla de cacao fueron registradas en gránulos KBr en un espectrómetro FTIR, las asignaciones de bandas en los espectros FTIR de las muestras fueron las siguientes, en 3367 se observó vibración de estiramiento OH, en 2918, 2851 CH estirar en CH<sub>2</sub> y CH<sub>3</sub> grupos, principalmente en los lípidos, y por último se obtuvo 1735 Estiramiento C=O en ésteres no conjugados, ácidos carboxílicos, aldehídos y cetonas en el rango de 4000-450 cm<sup>-1</sup> rango (resolución 4 cm<sup>-1</sup>, número de escaneos 64). Los espectros resultantes se normalizaron a la mayor intensidad de absorción en cada espectro (en los aproximadamente 3400 cm<sup>-1</sup> rango).

Díaz Oviedo *et al.* (2021), evaluaron la microscopia electrónica de barrido en la cascarilla de cacao de la variedad CCN-51, observaron una superficie porosa, con presencia de microporos y paredes celulares, con un espesor promedio de 5 micras, asociados a los componentes primarios de celulosa y lignina. Esto confirma los valores de los altos contenidos de celulosa y lignina, presentados en la composición química.

Rojas González (2019), evaluó la morfología de la microscopía electrónica de barrido a partir de cáscara de Cacao de la variedad Criollo, previamente las cascarillas deshidratadas, lo cual demostró que se puede evidenciar que el área superficial de ésta es pequeña, puesto que se ve una estructura rígida, homogénea y se observa la dirección de las fibras lignocelulósicas, por lo tanto brindan características resistentes a la cáscara en adición muestra que no importa la molienda que se hizo a la cáscara y aun así conservaron su estructura y resistencia.

Garay Vega (2019), evaluaron tres muestras de cascarilla de granos secos de cacao (*Teobroma cacao* L.) clon CCN-51, tostado a diferentes temperaturas de 120 °C, 130 °C y 140 °C; en tiempo constante de 10 minutos, los resultados encontrados muestran que la cascarilla de cacao tostada a 120 °C presentó una excelente disponibilidad de antioxidantes y con características excelentes para su consumo como infusión. Esta aporta una capacidad antioxidante de 1.85 IC<sub>50</sub> (mg/mL), un contenido de polifenoles de 0.28 g EAG/100 mL, antocianinas de 27.35 Cyd-3-glu (mg/100 mL); obteniendo además la mayor calificación en aroma, sabor y grado de aceptación.

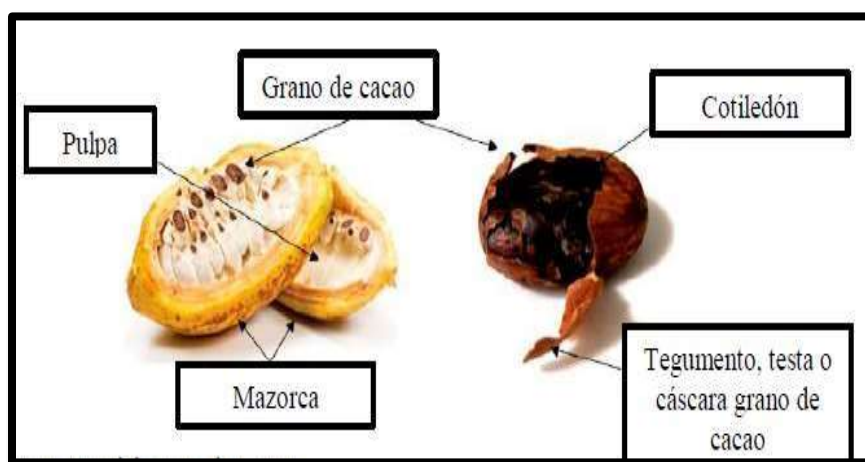
Coronel Álvarez (2021), determinó la actividad antioxidante de cascarilla de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional por los métodos ABTS, FRAP y ORAC.

Para lo cual utilizó la prueba “t” de Student y correlación de Pearson con la finalidad de comparar el contenido de antioxidantes con la actividad antioxidante. En la cascarilla de cacao variedad CCN-51 se obtuvieron valores de 626.62, 768.0 y 227.22  $\mu\text{M TE}\cdot\text{g}^{-1}$  en los métodos ABTS, FRAP y ORAC, respectivamente; mientras en la variedad Nacional, los valores obtenidos fueron de 433.66, 639.51 y 209.87  $\mu\text{M TE}\cdot\text{g}^{-1}$  en los métodos ABTS, FRAP y ORAC. El análisis permitió observar que en los métodos ABTS y FRAP existió correlación positiva a nivel de epicatequina, mientras que a nivel de catequina, cafeína y teobromina la correlación fue negativa. Para el método ORAC la correlación fue negativa respecto a todos los antioxidantes evaluados.

### **ORIGEN DEL CACAO *THEOBROMA CACAO* L**

El cacao (*Theobroma cacao* L) es originario de Centroamérica y Sudamérica siendo Ecuador uno de los principales productores cacaoteros de América y el principal productor de cacao fino de aroma a nivel mundial, produciendo un estimado de 290 mil toneladas de cacao de las cuales el 12% representa al residuo obtenido de la industrialización de este, conocido como “cascarilla”; es decir, existen 34,800 toneladas de residuos que en su mayoría son desechados, en la industria cacaotera (chocolatera) se producen gran cantidad de residuos, materia orgánica que puede ser aprovechada como materia prima en la elaboración de productos novedosos y provechosos para el ser humano, entre ellos se encuentra la cascarilla de cacao estos residuos se usaron para la producción de un polvo que puede ser utilizado en la elaboración de preparaciones culinarias. Siendo la cascarilla un material fibroso, seco, crujiente, de color marrón y con un color similar al del chocolate, y se obtiene luego del descascarillado de la semilla de cacao (Rochina Rochina, 2021).

En la actualidad existen varios estudios para la obtención de nuevos productos a base de tecnologías avanzadas a partir del cacao entre varias a mencionar, una de las primeras es el desarrollo y puesta al mercado de un nuevo vino que se combina con la experiencia de dos países como lo son Chile y el Ecuador quienes apostaron por un producto novedoso, hoy en día la cascarilla de cacao es continuamente usada como material orgánico en la fabricación de abono, su constitución lo hace ideal para la alimentación de animales rumiantes, pero es limitada debido a su contenido de teobromina, un estimulante encontrado principalmente en las semillas y que se transmite a la cascarilla (Valbuena Coca *et al.*, 2018).



**Figura 1. Granos de cacao y sus subproductos de procesamiento (Ciprián Jiménez, 2020).**

## **PROCESAMIENTO DEL CACAO COMO RESIDUO AGROINDUSTRIAL**

Los desechos de la industria alimentaria a menudo consisten en partes no comestibles los llamados subproductos. Hoy en día, existen enormes cantidades de subproductos que se desechan, causando grandes problemas al contaminar el medio ambiente, teniendo en cuenta el crecimiento de la población mundial y la desaparición de las materias primas y una amenaza real de fuentes de alimentos reducidas,

no es sorprendente que esté aumentando la conciencia sobre las necesidades de conservación y reutilización de materiales que se tratan como desechos. Las cáscaras de cacao son solo uno de los ejemplos de subproductos con componentes bioactivos de alto valor e interesante valor nutricional que han sido desechados, aunque podrían ser reutilizados de muchas formas, la materia prima principal para la producción de todo tipo de productos de cacao son los granos de cacao secos, fermentados y las cáscaras de cacao son uno de los subproductos de los granos de cacao que se obtienen en la industria del chocolate. Aproximadamente veinte tipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) son conocidos, y los tres tipos más populares (Criollo, Forastero, y Trinitario) representan el 95% de la producción total de cacao del mundo (Rojo Poveda *et al.*, 2020).

El primer paso del procesamiento del cacao en la planta industrial es la limpieza del grano, aquí se remueven las impurezas para asegurar el rendimiento de operaciones posteriores y la calidad del producto. En esta etapa se combinan diferentes métodos para la remoción de todos los contaminantes: succión para extraer tierra y rocas livianas, imanes para retirar metales y vibración para eliminar rocas pesadas, que también contienen lignocelulosa, que puede utilizarse para la producción de biocombustibles, sin embargo, es necesario realizar un pretratamiento para degradar la estructura y los compuestos fermentables que pueden ser utilizados en mayor proporción. Existen diferentes tipos de pretratamientos clasificados por su naturaleza en químicos, físicos, biológicos y fisicoquímicos; la elección del pretratamiento dependerá del tipo de biomasa y de aspectos técnicos y económicos en la producción de biocombustibles, luego de la limpieza existen variantes en el tratamiento del grano, dependiendo principalmente de la utilidad o especificaciones que se requieran en el producto, a estas variaciones se refieren al orden en que son ejecutadas

las operaciones (Escobar Coello, 2017).

### **CASCARILLA DE CACAO *THEOBROMA CACAO* L**

La cascarilla de cacao muchas veces es desechada, por lo que para aprovecharla al máximo, se le utiliza en la producción de alimentos que sean novedosos, por su alta capacidad antioxidante, hace interesante su uso en la producción de infusiones, primeramente hay que certificar su calidad, la cascarilla se muestra como la corteza de color marrón, aunque las cascaras de cacao se han tratado de utilizar para la alimentación de animales, su uso ha sido limitado ya que los altos contenidos de alcaloides presentes en las cascaras restringen el consumo en animales, debido a que sus sistemas digestivos se ven impedidos para metabolizar dichos alcaloides. En el afán de encontrar una solución a los problemas que este tipo de desechos, se han realizado estudios que demuestran, que la cascara de cacao posee un pigmento (poliflavonoglucosido), muy utilizado como colorante de alimentos por ser resistentes al calor y la luz, otros estudios demuestran altos contenidos de antioxidantes, pueden ser usadas para la elaboración de espumas de poliuretano recientemente el estudio de un extracto alcalino de las cascaras de cacao demostró que este extracto inhibe efectos citopatogénicos de VIH en cultivos celulares (Escobar Coello, 2017).



**Figura 2. Cascarilla de cacao Álvarez Abad et al., (2018)**



**Tabla 1. Clasificación taxonómica del cacao *Theobroma cacao* L**

Reino	<i>Plantae</i>
Phylum	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Malvales</i>
Familia	<i>Sterculiaceae</i>
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>Theobroma cacao</i> L

Fuente: Peralta Ortiz, (2019).

### **OBTENCIÓN DE LA CASCARILLA DE *TEOBROMA CACAO* L**

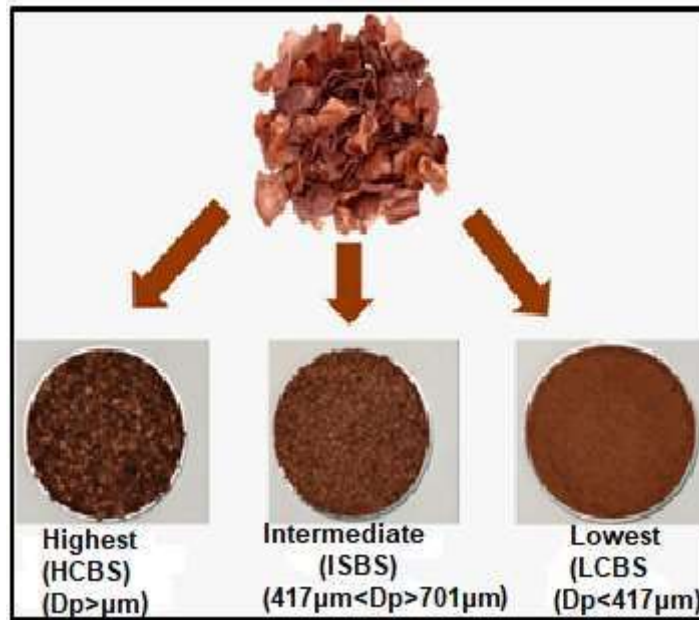
Para la obtención de la cascarilla del grano, esta debe someterse a un proceso térmico, de esta manera, la humedad que pierde el grano ejerce una presión en la cascarilla, separándola del mismo. Luego por vibración de esta cascarilla, es desviada de la línea principal de producción quedando como un producto de desecho de igual manera explica que para llegar a obtener estos productos intermedios, así como también el producto final, el grano de cacao es secado, fermentado y sometido al proceso del tostado. Al eliminar el mucílago o pulpa aparece una envoltura delgada de color rosado que constituye el tegumento de la cascarilla. La cascarilla de cacao son aquellas fracciones del epispermo de los granos de cacao molidos que no sufre manipulación ni transformación posterior. También denominada cascarilla de cacao. Es rica en magnesio, teobromina y muy útil en caso de debilidad, diarrea e inflamación (Guamán Guali, 2021).



**Figura 3. Cáscara de cacao obtenidas después de tostar los granos Panak Balentić et al., (2018).**

### **PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LA CASCARILLA DE CACAO**

La debida limpieza y clasificación de las semillas o almendras de cacao, una vez que están secas y fermentadas, se someten a un proceso de selección para eliminar la materia extraña ya sea fisiológica o no fisiológica. Anterior a este asunto se deriva a tostar la semilla de cacao, dicho proceso proporciona la reducción del porcentaje de humedad que está presente en la almendra de cacao, disminuyéndola al 2%, con esto se facilita la posterior molienda de la semilla y su posterior descascarillado. Las semillas son de gran tamaño de 2 a 3 cm de largo con un sabor amargo provista de un color chocolate o púrpura. Están recubiertas por una especie de pulpa mucilaginosa de un color blanquecino, que tienen un sabor acidulado y dulce, toda la capacidad de la semilla está en el interior, ocupado por los 2 cotiledones del embrión. Se las denomina ordinariamente "habas" o "granos" de cacao que son exquisitas en almidón, proteínas, y materia grasa, que les otorga un valor alimenticio real (Sánchez Campuzano, 2007).



**Figura 4. Harinas de cáscaras de grano de cacao con diferentes tamaños de partícula (Botella-Martínez et al., 2021).**

### **Secado**

Su objetivo es eliminar el exceso de humedad y acidez de las almendras recién fermentadas de aproximadamente 55% al 7%, como garantía para su posterior almacenaje y comercialización. El secado puede ser natural (exposición directa al sol o en sombra) o artificial (empleando calor). Se recomienda el secado natural porque permite eliminar acidez volátil, secar lentamente y desarrollar satisfactoriamente los cambios para lograr un buen sabor y aroma. Es muy importante que la humedad disminuya lentamente, es decir, entre el lapso de 5 a 7 días, para favorecer que se completen los cambios químicos (reacciones de oxidación) responsables del sabor y aroma del cacao, de lo contrario se corre el riesgo de inactivar a las enzimas antes de que se hayan completado los cambios químicos esenciales, lo cual ocurre por las altas temperaturas ( $> 65^{\circ}\text{C}$ ) y la baja humedad, además un secado rápido induce el aplastamiento de las almendras, dando granos duros y de cutículas arrugadas, determinantes de la calidad del producto donde se desprende el quebrantamiento de las

envolturas corticales o cascarilla y el corazón o germen, esta es de forma fibrosa, y contiene 2% de grasa sin tostar. Algunos autores destacan que la calidad del grano de cacao en sí misma depende en gran medida de las buenas prácticas agrícolas, pero también del procesamiento posterior a la cosecha, incluyendo los procesos de fermentación y secado. Por esto es necesario cuidar la inocuidad de la fruta desde el momento que es cosechado para la obtención de una cascarilla casi libre de materias extrañas (Navia Orcés *et al.*, 2012).

## **Tostado**

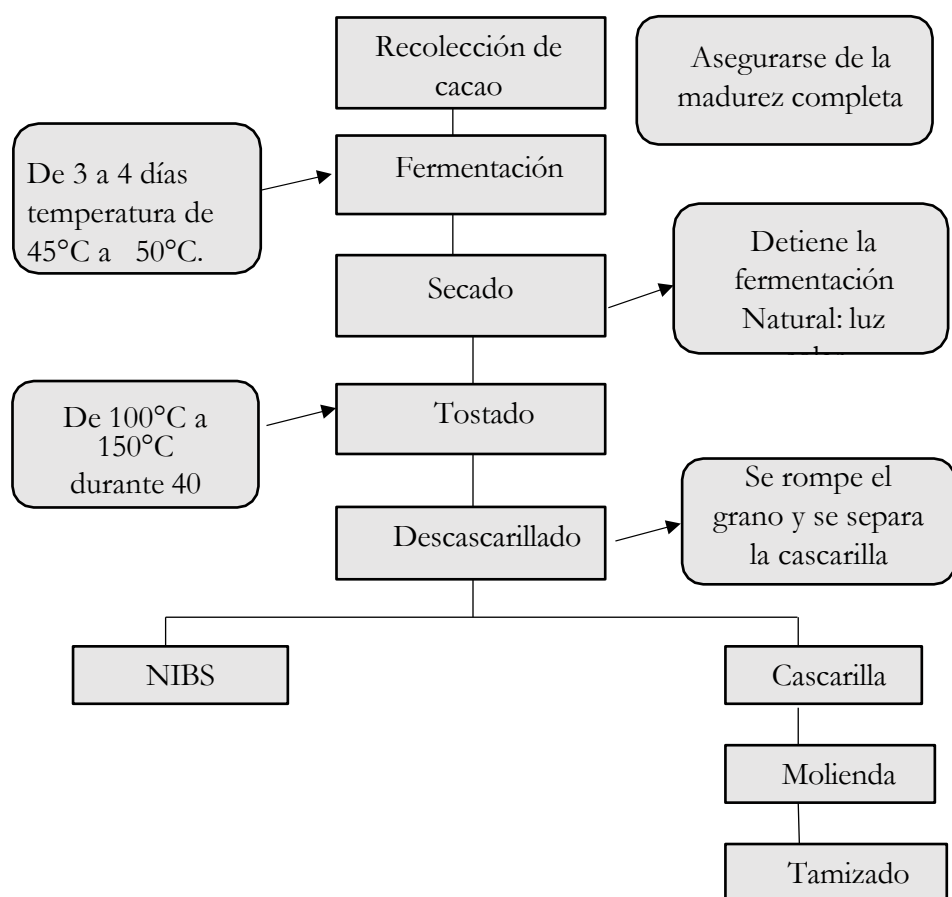
Se observan tres opciones de tostado: el tostado del grano completo (cascarilla y grano), el tostado del grano solamente (luego del descascarillado) y el tostado del licor de cacao. El tostado es responsable del sabor característico de los subproductos como el chocolate, además permite remover la humedad remanente en el grano y elimina adicionalmente cualquier contaminante microbiológico. El pre-tratamiento térmico consiste en la exposición rápida de la semilla a una fuente de calor intensa como vapor o radiación. Es importante notar que este proceso no afecta el sabor ni la calidad del grano debido a su corta y rápida acción (Navia Orcés *et al.*, 2012).

El tostado es una operación muy importante en el procesado del cacao, ya que determina en gran medida el color, aroma y sabor de los derivados del cacao. Durante el tostado el color del cacao sufre pardeamiento adicional al observado durante las etapas previas de fermentación y secado. En este pardeamiento participan múltiples reacciones, como oxidaciones y polimerizaciones de polifenoles, degradación de proteínas. En cambio, en el aroma y sabor tienen

especial influencia las diferentes temperaturas y tiempos a los que se somete la semilla durante el tostado, se manifiestan que el criterio más importante que define la calidad del grano de cacao en los fabricantes de chocolate es el sabor, el cual es desarrollado esencialmente en dos etapas de fundamental importancia: la fermentación y el tostado. Los precursores de aromas desarrollados durante la fermentación interactúan en el proceso de tostado para producir el deseado sabor a chocolate, por lo que el tostado es considerado como la operación tecnológica más importante en el procesamiento de los granos de cacao, por lo que optimizar las condiciones de tostado significa desenvolver al máximo el potencial aromático de las almendras, durante el tostado se desprende el “pardeamiento no enzimático” que juega un papel importante en la formación de los pigmentos marrones y el aroma del cacao. Los azúcares reductores son precursores del sabor carbonilo, principalmente formados a través de la hidrólisis de la sacarosa por la acción de la invertasa y la hidrólisis enzimática de las antocianinas (Tapia Yáñez, 2015).

### **Descascarillado**

Como consecuencia del tostado, la cáscara que está adherida firmemente al grano en el cacao crudo se separa, facilitando la operación de descascarado. El cacao y las cáscaras triturados caen a una zaranda formada por tamices de diferentes calibres donde las cáscaras por su forma y menor peso específico son arrastradas por una corriente de aire, separándose de esta manera el Nibs de la cáscara (Tapia Yáñez, 2015).



**Figura 5. Proceso de obtención y de elaboración del polvo de la cascarilla de cacao (Anfab, 2014).**

## **USOS DE LA CASCARILLA DE CACAO *TEOBROMA CACAO* L**

Se utiliza para la obtención de la espuma de poliuretano la cual se mide la resistencia de la deformación por compresión, a diferentes concentraciones se emplea como alimento en dietas experimentales para formulación del balanceado alimento de animales, así como también la

incorporación en materia orgánica y biofertilizantes para preparar cultivos para viveros; por ejemplo, en viveros de papaya. En la actualidad no existen estudios relacionados con la identificación de

compuestos fenólicos para este residuo y sólo se reportan estudios en otros órganos y residuos del cacao: Tenemos los procesos de fermentación, enzimáticos, calidad, nutrición entre otras del cacao y sus residuos, se presentan en distintos estudios. Por las propiedades que posee la cascarilla de cacao, los usos y aplicaciones de esta pueden llegar a ser variadas; pero de manera general y reciente se estudian en alimentos funcionales (Por ejemplo, en galletas con inclusiones de harina de cascarilla y trigo). Es posible utilizar cáscaras de cacao molidas, sin ninguna modificación, así como alcalinizar las cáscaras de cacao y luego usarlas como aditivo alimentario valores relativamente altos de fibra dietética, junto con compuestos fenólicos, hacen que este subproducto sea interesante para la industria alimentaria, en la elaboración de productos de confitería y bollería, o en la elaboración de productos dietéticos bajos en calorías y ricos en fibra, entre otros (Gavica Contreras, 2016).

**Tabla 2. Uso de la cascarilla de cacao y sus derivados**

<b>Producto</b>	<b>Uso de la cascarilla de cacao y sus derivados</b>
Pulpa de la cascarilla cacao	Elaboración de bebidas alcohólicas y no alcohólicas
Cáscara	Actualmente es utilizada como infusión para el consumo humano y también sirve como alimento para animales.
Cenizas de cáscara de cacao	Puede ser utilizado en la elaboración de jabón y como fertilizante de cultivos.

Polvo de cacao	Es un derivado versátil y se lo utiliza en la elaboración de bebidas chocolatadas, postres, helados, mousse, salsas, galletas, etc.
----------------	---

Fuente: Cárdenas Ron *et al.*, (2020).

## VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

El cacao es de gran importancia en las actividades agrícolas del Ecuador, siendo la tercera mayor exportación que genera fuentes de trabajo directas e indirectas. Es parte esencial de la cotidianidad de muchas comunidades. Los granos de cacao comercializados hoy en día son semillas de un pequeño arbusto de la especie *Theobroma cacao* L, de la familia *Esterculiácea*. Su uso industrial es adsorbente en la obtención de bacterias ácido lácticas, abono, subproducto pectina, así como componentes funcionales de catequina, proantocianidina, oligoméricos antocianos, ácido oleico, ácido linoleico y antioxidantes; método de extracción; desgranado; deshidratación; secado; molienda; pulverización; tostado; descascarillado; valor agregado; productos de panadería, mermelada, jaleas, vinos, bebidas, entre otras. La mayor dificultad que se presenta cuando se busca trabajar en el desarrollo de nuevos productos o el aprovechamiento de subproductos industriales, es la falta de información sobre las características nutricionales y funcionales que poseen subproductos como la cascarilla de cacao (Coronel Álvarez, 2021).



**Tabla 3. Parámetros de cada componente para ser establecida como alto, medio o bajo en el semáforo nutricional**

<div> <div>Nivel</div> <div>Competencia</div> </div>	Concentración	Concentración	Concentración
	BAJA	MEDIA	ALTA
Grasas totales	Menor o igual a 3 g en 100 g	Mayor a 3 y menor a 200 g en 100 g	Igual o mayor a 10g en 100g
	Menor o igual a 1.5g en 100 ml (para líquidos)	Mayor a 1.5 y menor a 10g en 100 ml (para líquidos)	Igual o mayor a 10g en 100 ml (para líquidos)
Azúcares	Menor o igual a 5 g en 100g	Mayor a 5 y menor a 15 g en 100 g	Igual o mayor a 15 g en 100 g
	Menor o igual a 2.5 g en 100 ml (para líquidos)	Mayor a 2.5 y menor y menor a 7.5g en 100 ml (para líquidos)	Igual o mayor a 7.5 g en 100 ml (para líquidos)
Sal (sodio)	Menor o igual a 120 mg de sodio en 100 g	Mayor a 120 y menor a 600 mg de sodio en 100 g	Igual o mayor a 600 mg de sodio en 100 g
	Menor o igual a 120 mg de	Mayor a 120 y menor a 600 mg	Igual o mayor a 600 mg de

	sodio en 100 ml (para liquido)	de sodio en 100 mL (para liquido)	sodio en 100 ml (para liquidos)
--	--------------------------------------	---	---------------------------------------

Fuente: Anfab, (2014).

## **LA PRODUCCIÓN DE CASCARILLA DE CACAO *THEOBROMA CACAOL***

La cascarilla de cacao representa aproximadamente el 12% de la semilla. Considerándose fragmentos no utilizados y se calculan alrededor de 700 toneladas a nivel mundial que constituye un gran aporte a la economía del país y al sector involucrado. Teniendo como la mayor participación en la siembra de este producto a los pequeños productores representando alrededor del 70% mazorcas de cacao, seguido de los medianos y grandes productores con un 20% y 10% respectivamente. En México, el cacao no es solo un cultivo, es una tradición arraigada en nuestra historia y cultura. Desde tiempos ancestrales, el cacao ha sido valorado por su sabor exquisito y sus propiedades nutritivas, en cacao mexicano se produce principalmente en tres estados: Tabasco, Chiapas y Guerrero. En el año 2022, México produjo más de 28 mil toneladas de cacao, considerándose como el 14 productor a nivel mundial, en el mismo año México exportó 390 toneladas de cacao, mostrando un crecimiento significativo en las exportaciones en comparación con años anteriores. El cacao viaja por todo el mundo, llegando a países como Suiza, Estados Unidos, Canadá, España, Ecuador, Francia entre otros, (Salas Tornés y Hernández Sánchez, 2015).

De acuerdo con estadísticas actuales en el año 2017 el Ecuador exportó 301,526 toneladas métricas, mientras que en el año 2018 el total fue de 315. 571 toneladas métricas, reflejando un leve incremento en la exportación. De esto aproximadamente el 90%

corresponde a exportación de cacao en grano. Siendo los principales países de destinos, Indonesia, Estados Unidos, Malasia y Holanda, actualmente, esto representa el 7 de la producción total de la semilla del cacao se derivan subproductos que se logran para el ingreso de la economía generando cantidades sustanciales de desechos que solo el 10% del peso total de la fruta de cacao se utiliza para su comercialización, mientras que el 90% restante se desecha como desperdicio o subproducto. Uno de estos subproductos es el tegumento externo que recubre los granos de cacao, también conocido como cáscaras de granos de cacao, que se generan durante el proceso de tostado del grano de cacao, como ya se mencionó la CBS constituye alrededor del 10% al 17% del peso total del grano de cacao y algunos estudios han revelado que es probable que estos porcentajes varíen según el tipo de fermentación de los granos de cacao (Cárdenas Ron *et al.*, 2020).

México es uno de los 12 países megadiversos del mundo que albergan entre 60 y 70% de la biodiversidad total del planeta. Tan sólo Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Guerrero y Michoacán concentran la mayor diversidad a nivel nacional, y curiosamente son también estos estados los que cuentan con la mayor presencia de hectáreas productoras de cacao, la obtención del cacao en México se realiza por productores en pequeña escala, quienes ven en el cultivo de cacao un sistema productivo de subsistencia, en el cual hay poca inversión en insumos, la recolección es una de las fases más importantes: en ella se debe hacer la identificación de las mazorcas maduras, este estado se conoce por los cambios de coloración donde alcanzan su plena madurez. El mejor secado es el de tipo natural, es decir, por la acción del sol, ya que permite la pérdida de humedad de manera paulatina y así se favorece el sabor y aroma del chocolate. Son exportados apenas 677.6825 kg de cascarilla anual, lo que representa un ingreso al país de \$ 482,275,

**A**

World map showing the geographical distribution of the 1000 Genomes Project samples. The map is color-coded by region: Africa (red), America (green), and Asia & Oceania (blue).

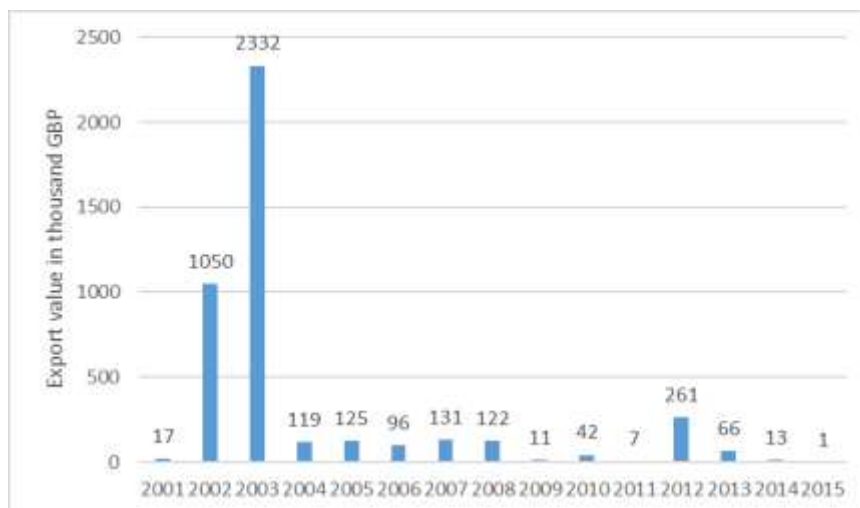
**B**

Two pie charts showing the geographical distribution of the 1000 Genomes Project samples. The left pie chart shows the distribution of 1000 Genomes samples by region: Africa (75, 7.5%), America (117, 11.7%), and Asia & Oceania (8, 0.8%). The right pie chart shows the distribution of 1000 Genomes samples by population: African (100, 10%), European (100, 10%), American (100, 10%), and Asian & Oceanian (100, 10%).

cantidades considerables de compuestos bioactivos interesantes, como los polifenoles, que se sabe que son responsables de los diferentes beneficios para la salud relacionados con la nutrición que proporciona el cacao. Recientemente, la bioconversión de los residuos del procesamiento de alimentos en productos valiosos ha comenzado a recibir una atención cada vez mayor y, como resultado, los países industrializados están preparando políticas estratégicas para desarrollar una economía circular de base biológica. Por todas las razones antes mencionadas, las valorizaciones han aparecido estrategias para CBS en diferentes campos, y se han llevado a cabo varios estudios con el fin de encontrar nuevas aplicaciones para este subproducto. Entre estas aplicaciones, los nuevos usos en el campo de la industria alimentaria, la alimentación del ganado, o la utilización por parte de la industria como biocombustible, absorbente o compuesto, entre otros, podrían considerarse como las aplicaciones más comunes que han realizado revisiones detalladas sobre estas aplicaciones, sin embargo, en los últimos años han aparecido otro tipo de aplicaciones centradas en la biofuncionalidad y bioactividad de este subproducto del cacao. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión de la literatura es revisar el conocimiento actual y los últimos avances de las aplicaciones de CBS para la salud humana desde un punto de vista nutricional y biofuncional, mientras que otras aplicaciones solo se revisarán brevemente (Baldera Ocampo *et al.*, 2021).

Los datos estadísticos sobre el valor de las cáscaras de las vainas de cacao exportados anualmente desde el Reino Unido (RU) desde 2001 hasta 2015 las exportaciones fueron valorados en aproximadamente 13.000 libras esterlinas (\$332,5440 MXN).

Los países de África central y occidental representan el 71.4% de la producción total y generan aproximadamente 6.7 millones de toneladas métricas de cáscara de vaina de cacao, así como cáscaras de grano de cacao y tortas de grano de cacao.



**Figura 7. Valor de la cáscara, las cáscaras de la vaina, piel y otros desechos de cacao exportados desde el Reino Unido (Panak Balentić et al., 2018).**

## **COMPOSICIÓN QUÍMICA NUTRICIONAL DE LA CASCARILLA DE CACAO**

Una de las propiedades importantes que posee la cascarilla de cacao es la fibra dietaria total e insoluble como (celulosa, hemicelulosas y lignina), componentes que ayudan a la digestión estomacal, es por ello que en varias investigaciones se ha tratado de integrarla como componente en la formulación de productos alimenticios. Estudios realizados recalcan que la cascarilla posee flavonoides (pigmentos de vegetales), esto es una capacidad antioxidante mayor a la del té verde, es por ello que la utilizan en aplicaciones farmacológicas, para el tratamiento de enfermedades, ayudando a disminuir el riesgo de infartos. Llegando a la conclusión que la cascarilla de cacao se la utiliza para la elaboración de productos o alimentos funcionales

para las personas, en balanceados nutricionales para la alimentación en animales, y también para compost o como materia 24 orgánica en cultivos, o viveros en el campo (Ramírez Sulvarán *et al.*, 2013).

La cascarilla de cacao a pesar de ser un desecho agroindustrial, posee macronutrientes como proteína con 13%, fibra 19%, con una humedad 4 %, esto se debe porque ya ha sido sometido a un proceso de secado, y tostado. También posee un valor energético de 1409 Kcal/Kg. La cascarilla de cacao nutricionalmente aporta como todo alimento con macronutrientes (proteínas, carbohidratos, lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales). Este desecho agro- industrial se considera como una fuente baja de energía debido a que presenta niveles de energía digestible menor a 2500 kcal/kg; que es la base de la fibra para la nutrición animal (Ramírez Sulvarán *et al.*, 2013).

**Tabla 4. Composición nutricional y química de las cáscaras del grano de cacao (CBS).**

Químico		% En peso seco
	Energía (kcal/100 g)	122.00
	Humedad (%)	3.60–13.13
	Ceniza (g/100 g)	5.96–11.42
	Proteínas (g/100 g)	10.30–27.40
	Grasas (g/100 g)	1.50–8.49
	Carbohidratos (g/100 g)	7.85–70.25
	Almidón (g/100 g)	0–2.80
	Azúcares solubles (g/100 g)	0.16–1.66
	Fibra dietética (g/100 g)	39.25–66.33
	Fibra soluble (g/100 g)	7.03–16.91
	Fibra insoluble (g/100 g)	28.34–50.42
	Pectina (g/100 g)	7.62–15.59
Minerales	Calcio (g/100 g)	0.23–0.44
	Fósforo (g/100 g)	0.58–1.00

	Magnesio (g/100 g)	0,48–1,29
	Potasio (g/100 g)	1.25–1.82
	Sodio (mg/100 g)	16.00–192.20
	Hierro (mg/100 g)	27.60–80.50
	Manganeso (mg/100 g)	4.53
	Cobre (mg/100 g)	2.35–6.62
	Selenio (mg/100 g)	0.21
	Cobalto (mg/100 g)	0.10
	Cinc (mg/100 g)	2.75–19.00
	Cromo (mg/100 g)	0.67–4.86
	Cromo (mg/100 g)	0.67–4.86
Vitaminas	B1 (µg/g)	0.70–3.10
	B2 (µg/g)	0.90–3.10
	B6 (µg/g)	Tr
	D (µg/g)	vr–0.53
	mi (µg tocoferoles totales/g grasa CBS)	1.2
Polifenoles	Contenido fenólico total	3.12–94.95
	Contenido total de flavonoides	1.65–40.72
	Contenido total de taninos	1.70–25.30
Flavonoles	Epicatequina (mg/g)	0.21–34.97
	Catequina (mg/g)	0.18–4.50
	Procianidina B1 (mg/g)	0.55–0.83
	Procianidina B2 (mg/g)	0.23–1.38
Metilxantinas	Teobromina (g/100 g)	0.39–1.83
	Cafeína (g/100 g)	0.04–0.42
	Compuestos orgánicos volátiles (aromáticos;µg/g)	4.92–16.10



Fuente: Barbosa-Pereira *et al.*, (2019).

## **COLOR EN LA CASCARILLA DE CACAO *THEOBROMA CACAOL***

La importancia del color como una característica de valoración física y de calidad en los alimentos hace necesario disponer de métodos objetivos de medición que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles. El color es afectado por muchos factores, tales como la luminación, el observador, el espectro, la presencia de pigmentos o las propias características de superficie, tamaño, textura y brillo de la muestra analizada. Actualmente por el aumento de las expectativas impuestas en los alimentos en cuanto a normas de calidad y seguridad, surge la necesidad de determinar la calidad precisa, rápida y objetiva. La visión por sistemas computarizados proporciona una alternativa para una técnica automatizada, no destructiva y rentable para lograr estos requisitos. El color es una cualidad organoléptica de los alimentos y se aprecia por medio del sentido físico de la vista. También suele ser considerado un factor psicológico de apreciación y un criterio para elegir un producto alimenticio; incluso en los productos de origen vegetal se relaciona con la posibilidad de elegir la maduración y su idoneidad, sin embargo, no siempre resulta válida la correlación entre color y calidad, por el uso o tal vez el abuso de aditivos, colorantes, que pueden enmascarar esta apreciación (Mathias-Rettig y Ah- Hen, 2014).

## DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA CASCARILLA CACAO *TEOBROMA CACAOL*

**Tabla 5. Principales características físicas de la cascarilla.**

Propiedad física	Características
Color	Presenta diferentes tonalidades de marrón
Olor	Característico del chocolate
Forma	Irregular
Textura	Textura rigurosa, otras con textura lisa y quebradiza
Tamaño	No superior a 1cm de longitud

Fuente: (Baena, 2012)

### ALIMENTOS FUNCIONALES QUE CONTIENEN POLVO/ EXTRACTO DE CÁSCARA DE CACAO

Las nuevas tecnologías emergentes de extracción verde (extracción con agua subcrítica, extracción con fluidos supercríticos) han proporcionado un medio sostenible y respetuoso con el medio ambiente para preparar y extraer los compuestos de la cáscara del cacao. Estos procesos de extracción verde utilizan productos naturales sin afectar el medio ambiente y hacen que el proceso sea más eficiente; sin embargo, en la mayoría de los casos, los residuos sólidos que quedan después del proceso de extracción crean problemas ambientales. Para satisfacer las demandas de la economía circular, no solo es necesario llevar a cabo la utilización de residuos/subproductos de alimentos, sino que también es necesario utilizar el procesamiento de residuos de manera sostenible al ser una

rica fuente de compuestos bioactivos, el polvo/extracto de cáscara de cacao ha sido probado y utilizado como aditivo en varios productos alimenticios para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los productos.

Estos compuestos bioactivos mostraron actividades biológicas notables, que podrían proporcionar funcionalidad a los productos alimenticios, figura 8, (Belwal *et al.*, 2022).



**Figura 8. Valorización de productos alimenticios con extracto de cáscara del grano de cacao**

## CONTENIDO DE AZÚCAR DE LA CASCARILLA DE CACAO

La composición de la cáscara de cacao también incluye polisacáridos. Está probado en algunas patentes que la cáscara de cacao contiene predominantemente unidades de celulosa con menores cantidades de pectina y hemicelulosa, la composición de polisacáridos de la cáscara del cacao y por diferentes métodos identificaron glucosa, galactosa, manosa, xilosa, arabinosa, fucosa, ramnosa y ácido úrico. En el presente trabajo se encontraron azúcares similares en extracto de cáscara de cacao, pero también derivados de azúcar, como 5- HMF y furfural, y ácidos orgánicos (ácido fórmico, levulínico y láctico). Las concentraciones de azúcares y sus productos de degradación presentan un posible mecanismo para la degradación del azúcar que

tiene lugar cuando la cáscara de cacao es tratada hidrotérmicamente. A una temperatura de 120°C el único azúcar era manosa, que se isomeriza en glucosa a una temperatura de 170°C. La glucosa probablemente se isomerizó en fructosa, la ramnosa y la fucosa probablemente eran productos de manosa y glucosa. Se puede notar que las concentraciones de azúcar aumentaron con el aumento del tiempo de reacción y la temperatura, se puede obtener directamente de la glucosa o de la fructosa que representa un producto potencial de la arabinosa y la xilosa. A una temperatura de 120°C, 5-HMF, mientras que a 170°C estaban presentes en pequeñas cantidades. A una temperatura de 220°C y un tiempo de reacción de 15 min, el 5-HMF y el furfural alcanzaron las concentraciones máximas y, a medida que aumentaba más el tiempo de reacción, su concentración volvía a disminuir. A una temperatura superior a 220°C y tiempos de reacción más largos, los principales productos fueron ácidos orgánicos. Los ácidos orgánicos detectados fueron los ácidos levulínico, láctico y fórmico. Los ácidos levulínico y fórmico se obtuvieron a partir del 5-HMF, mientras que el ácido láctico probablemente se produjo a través del gliceraldehído y el piruvaldehído, que eran los productos de la fructosa (Jokić, Gagić *et al.*, 2018).

## **MINERALES Y VITAMINAS**

La cáscara del grano de cacao (CBS) es un subproducto valioso obtenido de la industria del chocolate y es significativa al 12 al 20% de minerales las concentraciones principales constituidas en calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y zinc (Zn). El contenido total de minerales de CBS se vio significativamente afectado por la fermentación dado que los mayores contenidos de minerales fueron Ca y Na. La presencia de minerales en CBS está fuertemente influenciada por la disponibilidad de minerales en el suelo en

crecimiento, así como por el potencial de ser suministrado por el uso de varios fungicidas durante el proceso de crecimiento. La disponibilidad de disolución mineral depende de las propiedades de las especies iónicas formadas en las soluciones del suelo y reguladas por un sistema de variables químicas en el suelo, tales como reacciones de transferencia de electrones, reacciones de intercambio de ligandos, etc. En general, el potasio y el zinc fueron los minerales más abundantes en CBS y se debe a los nutrientes del suelo en el sitio de crecimiento, el zinc es muy importante para mantener la función del sistema inmunitario (Assa *et al.*, 2019).

En cuanto a las vitaminas, se ha informado que la CBS es una fuente de vitamina, aunque los estudios que informan de sus concentraciones. La vitamina C es un compuesto antioxidante presente generalmente en todas las frutas; por lo que, es considerada una de las principales responsables de la actividad antioxidante de las mismas. Con la finalidad de descartar el efecto funcional de esta vitamina, en las muestras de cascarilla de cacao, se procedió a determinar la presencia de ácido ascórbico y otros ácidos orgánicos principalmente en la grasa, que contiene el 40% de la actividad total de vitamina D en CBS. Las cantidades considerables de vitaminas B1 y B2 en CBS, cerca del 15% de la ingesta dietética recomendada, mientras que las vitaminas B6 y D se detectaron solo en niveles mínimos y la vitamina C no se encontró en CBS. En Cuanto a lo que presentó la vitamina C en su composición fácilmente oxidable en presencia de luz, oxígeno, degradándose durante la etapa de fermentación, por otro lado, está es altamente termolábil, y se destruye a partir de 45°C; desapareciendo durante el proceso de tostado, donde se puede establecer que las muestras de cascarilla de cacao están debidamente presentando vitamina C en su composición, al igual que en los Nibs de cacao (Loor Intriago, 2020).

## GENERALIDADES DE LOS ANTIOXIDANTES.

Los antioxidantes son micronutrientes que están presentes en muchos alimentos e inhiben la iniciación o propagación de reacciones de oxidación en cadena de radicales libres los antioxidantes son de gran interés nutricional contribuyendo al mantenimiento de salud humana protegiendo al organismo del daño producido por agentes, como los rayos ultravioletas y sustancias químicas presentes en alimentos. Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas, se produce una oxidación, siempre que una especie cede electrones a otra, la especie que gana electrones se reduce, y la que pierde se oxida. En estas reacciones de oxidación, a veces, se puede producir radicales libres, especies muy oxidativas y que pueden producir daños al organismos, los antioxidantes impiden que otras moléculas se unan al oxígeno, al reaccionar interactúan más rápido con los radicales libres del oxígeno y las especies reactivas del oxígeno que con el resto de las moléculas presentes, la acción del antioxidante es de sacrificio de su propia integridad molecular para evitar alteraciones de molécula, lípidos, proteínas, ADN, entre otros. Su acción la realizan tanto en medios hidrofílicos como hidrofóbicos y en las cuales se genera de dos maneras (Pancardo Lagunas, 2016).

**Antioxidantes enzimáticos:** Las defensas antioxidantes consisten en evitar la reducción univalente del oxígeno mediante sistemas enzimáticos. Se han descrito un grupo de enzimas especializadas en inactivar por diferentes mecanismos.

**Antioxidantes no enzimáticos:** Algunos de los antioxidantes no enzimáticos son: el glutatión en su forma reducida (GSH), algunos minerales como selenio, zinc, o vitaminas como riboflavina, ácido ascórbico (vitamina C) y  $\alpha$ -tocoferol (vitamina E), éstos son esenciales para la defensa contra el daño oxidante debido a que actúan como cofactores de las enzimas antioxidantes (Maruja, 2014).

## **FIBRA DIETÉTICA**

La fibra dietaria es conocida como los restos, del esqueleto de las células vegetales, (glúcidos, oligosacáridos, polisacáridos, ligninas y otras sustancias asociadas a los vegetales; considerando componentes no estructurales como gomas, mucílagos y pectinas), no digeribles, estas son muy resistentes a la hidrólisis por enzimas endógenas del sistema digestivo humano y a la digestión y absorción en el intestino delgado, con una completa o parcial fermentación en el intestino grueso. La principal fuente de los componentes de fibra dietaria es la pared celular, esta presenta propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas debido a sus regiones amorfas y cristalinas. Las principales propiedades de pared celular son la hidratación, intercambio iónico y adsorción orgánica que se compone de carbohidratos estructurales, también conocidos como polisacáridos sin almidón. Está constituido por residuos de paredes celulares vegetales y no es digerible por las enzimas humanas; por lo tanto, no proporciona ningún valor energético. El consumo de fibra dietética es importante por su contribución al correcto tránsito intestinal. Algunos autores también han informado que la fibra dietética contenida en CBS posee varias otras funciones biológicas, como reducir los riesgos cardiovasculares al reducir los niveles de colesterol y triacilglicerol o reducir los efectos de la diabetes al retardar la absorción de glucosa). Por otro lado, la

fibra dietética CBS también adsorbe importantes concentraciones de polifenoles, lo que podría otorgarle propiedades antioxidantes y contribuir a disminuir el estrés oxidativo y los procesos inflamatorios en el intestino (Peña Flores, 2021).

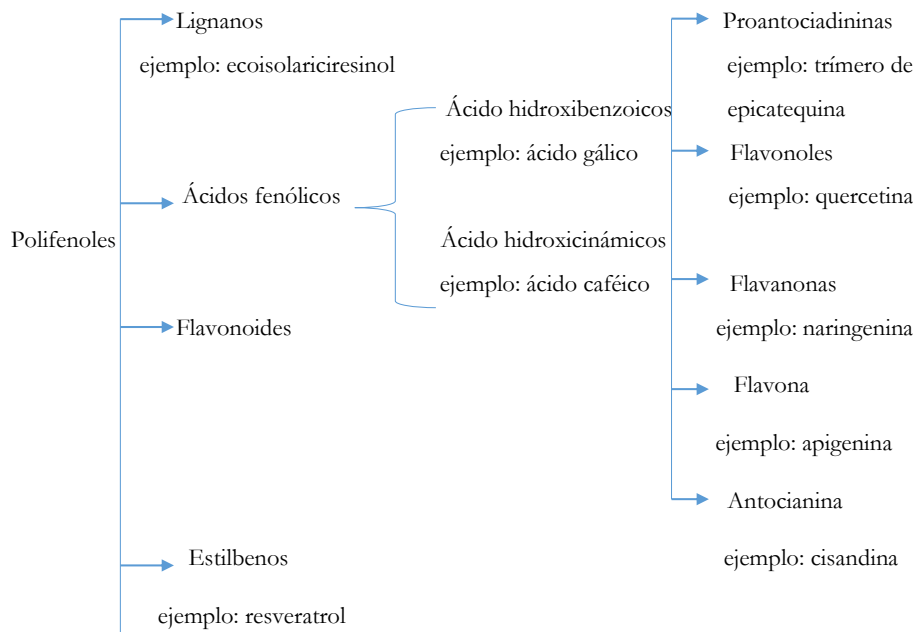
## **POLIFENOLES**

Dentro del sector de alimentos y bebidas funcionales, los polifenoles tienen una amplia aplicación. El mercado mundial de este tipo de compuestos bioactivos llegó a valorarse en USD 1,280 millones con una perspectiva de crecimiento anual del 7.2% en el periodo de 2019 y 2025 adicionalmente, también se han visto incremento en el desarrollo de aplicaciones en el área cosmética y farmacéutica. Dadas las aplicaciones en las áreas de bienestar y salud humana, los polifenoles son considerados los compuestos más valiosos que se pueden encontrar en los residuos del cacao principalmente catequina, epicatequina y procianidinas en los vegetales los polifenoles se encargan de desarrollar funciones de protección contra parásitos, patógenos, luz ultravioleta, especies reactivas de oxígeno y nitrógeno y además se ha visto que tienen un rol en procesos de defensa reconociendo a estos compuestos bioactivos como esenciales en la dieta humana se han identificado varios miles de moléculas de polifenoles vegetales con gran variabilidad y con estructuras complejas, el anillo fenólico es la unidad estructural central de las moléculas de todos los polifenoles. Hasta hoy no se tiene indicios de que los polifenoles derivados de plantas tengan efectos tóxicos. Sin embargo, los efectos que puedan tener sobre el metabolismo humano con ingestas moderadas a largo plazo podrían brindar varios beneficios para la salud, ya que poseen propiedades antioxidantes, actúan como eliminadores de radicales libres y reducen el estrés oxidativo. Su clasificación está dada de acuerdo con el número de



unidades fenólicas que presentan y de acuerdo a los residuos que se adhieren a estas estructuras figura 9 (Chico, 2022).

## CLASIFICACIÓN DE LOS POLIFENOLES



**Figura 9. Clasificación de los polifenoles (Chico, 2022).**

Los compuestos fenólicos son aquellos que presentan un grupo fenol, con estructuras aromáticas unidas con grupos funcionales. Estos compuestos son metabolitos secundarios del reino vegetal, proporciona la pigmentación en ciertas frutas y plantas. Actualmente se conoce unos 8,000 polifenoles diferentes, estos pueden ir desde moléculas simples, tales como ácidos fenólicos a compuestos altamente polimerizadas como los taninos, que se presentan en forma conjugada con uno o más grupo de azúcares que están unidos a grupos hidroxilo, estos azúcares pueden ser monosacáridos, disacáridos u oligosacárido.

Los polifenoles se dividen al menos en 10 clases diferentes dependiendo a su estructura química entre los principales tenemos, los compuestos fenólicos que tienen una estructura simple y los

flavonoides lo que constituyen un gran grupo importante (Gavica Contreras, 2016).

## **FLAVONOIDES**

Los flavonoides son los polifenoles que poseen al menos 2 subunidades fenólicas; los compuestos que tienen 3 o más subunidades fenólicas se denominan taninos. Comprenden alrededor de 4000 compuestos identificados, son derivados hidroxilados, metoxilados y glicosilados de la 2 fenil benzo y pirano, que consiste en dos anillos benceno combinados por mediación del oxígeno contenido en el anillo pirano os flavonoides son la clase de polifenoles de mayor distribución en los productos de origen vegetal. Cumplen funciones como agentes para repeler insectos y ciertos microorganismos, en la absorción de radicales libres y luz UV y en la atracción de simbiontes benéficos y polinizadores, Pueden existir en forma de aglicona o como sus conjugados glicosídicos. La glicosilación los hace menos reactivos, más polares y solubles en agua. En los flavonoides O-glicosídicos, uno o más de los grupos hidróxilo de la aglicona se une a un azúcar mediante un enlace O-C lábil al ácido, mientras que en los C-glucósidos se une al núcleo base mediante un enlace C-C resistente al ácido, caso menos común. La glucosa y galactosa son los azúcares más comúnmente unidos (Marín, 2019).

En cuanto al contenido proteico, las proteínas constituyen entre 10.30% y 27.40% del peso seco de CBS. Esta es una cantidad notable y, por lo tanto, algunos investigadores han considerado este subproducto como una fuente de proteína extraíble que podría producir un aumento de hasta un 25.2% en el contenido de proteína, sin embargo, se ha demostrado que el proceso de tostado normalmente tiene un efecto desfavorable sobre esta cantidad,

informaron una disminución de 27.43% a 25.07% de proteína cruda para CBS después del tostado y se encontró que las proteínas CBS tienen una digestibilidad del 78.04%, que no está lejos del 68% CBS contiene todos los aminoácidos esenciales, lo que representa el 44.7% del total de aminoácidos, por lo tanto un pequeño porcentaje de los aminoácidos totales son D-aminoácidos, y su cantidad relativa con respecto a los L-aminoácidos aumenta durante la fase de tostado. Los D- aminoácidos brindan un valor nutricional bajo, ya que no se digieren como sus contrapartes quirales, sin embargo, todavía contribuyen a la formación de sabores durante la fermentación y el tostado (Villanueva Duran *et al.*, 2015).

El contenido de grasa representa del 1.50 % al 8.49 % de la CBS seca y, por lo tanto, se considera un componente menor del subproducto en comparación con el contenido de grasa aproximado del 50 % en los granos de cacao, por lo tanto, la grasa en CBS también ha recibido interés por parte de investigadores que han optimizado métodos para su extracción. Como se informó para el contenido de proteínas, el proceso de tostado también podría implicar una disminución de alrededor del 36% de la grasa en CBS. Como la grasa CBS es muy ácida y más rica en materia insaponificable que la grasa del grano de cacao, a menudo no se la considera manteca de cacao. De hecho, algunos compuestos grasos de CBS difieren considerablemente de los de la manteca de cacao y, en algunos casos, estas diferencias se han utilizado para estimar el contenido de la cáscara del cacao en polvo o manteca de cacao. Sin embargo, los ácidos oleicos, palmítico, cáprico y esteárico son los principales ácidos grasos tanto en la CBS como en las grasas del cacao cuando se considera la fracción saponificable, está compuesta por 34.7% de ácidos grasos insaturados y 64% de ácidos grasos saturados para CBS no fermentada, y que estos porcentajes varían a 51.2% y 48%, respectivamente, después de la fermentación.

Estos valores están de acuerdo con la relación de masa no saturada/saturada de 0.66-0.74. Además, los fitoprostanos y los fitofuranos, que son isoprostanoides derivados de la peroxidación del ácido  $\alpha$ -linoleico, se han detectado en CBS en cantidades de 474.3 y 278.0 ng por gramo de CBS seco, respectivamente. La fracción insaponificable de la grasa CBS está formada por compuestos como los fitoesteres, de los cuales el estigmasterol sería el predominante, mientras que las concentraciones de colesterol son casi insignificantes si se comparan con las de los granos de cacao (Villamizar-Jaimes y López-Giraldo, 2016).

## **COMPUESTOS FENÓLICOS**

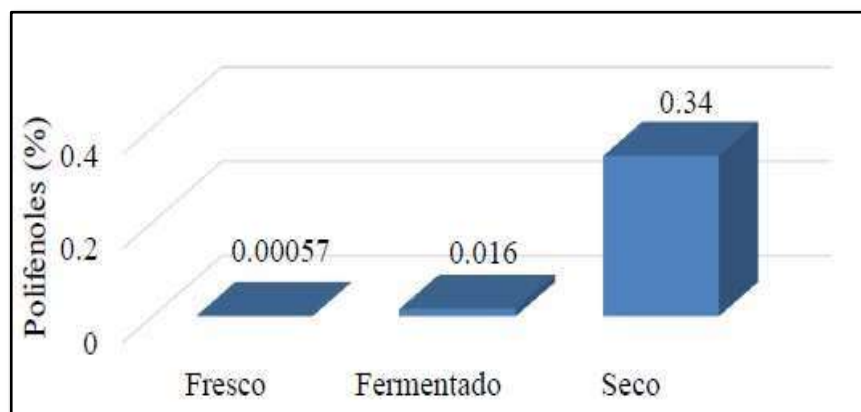
Junto con la fibra, los polifenoles son los compuestos más interesantes y estudiados en CBS y son los principales compuestos responsables de las propiedades biofuncionales atribuidas a este subproducto del cacao. Estos compuestos están presentes en todos los alimentos de origen vegetal y son bien conocidos por producir diversas actividades biológicas. Un grupo especial de polifenoles son los flavonoides, entre los cuales, los flavonoles son el grupo principal en el cacao. No son esenciales para el bienestar a corto plazo, pero cada vez hay más evidencia que sugiere que una ingesta moderada de polifenoles a largo plazo podría brindar varios beneficios para la salud, ya que poseen propiedades antioxidantes, actúan como eliminadores de radicales libres y reducen el estrés oxidativo (Arreaga Chévez, 2019).

Los polifenoles son el grupo más extenso de sustancias no energéticas presentes en los alimentos de origen vegetales. Su efecto benéfico en la salud se debe a que estos compuestos pueden

modular la actividad de diferentes enzimas e interferir en procesos celulares, donde participan en distintas reacciones metabólicas celulares de óxido-reducción; de ahí su nombre de antioxidante. Existen varias clases y subclases de polifenoles que definen en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos. Los principales grupos de polifenoles son los ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxixinámico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides. Las catequinas son el tipo más común de compuestos flavan-3-ol presentes en muchas plantas alimenticias; donde aportan en efecto astringente en la boca, después de comer cacao o chocolate, té, arándanos y vino. Las antocianinas se encuentran ampliamente en alimentos de origen vegetal siendo responsables de la coloración de frutos y flores. En vinos añejos son los responsables del color rojo, junto con los taninos. Por esta razón son utilizadas en la industria de alimentos como colorantes naturales, los taninos forman parte del grupo de proantocianidinas, presentan estructuras poliméricas compuestas por la unión de flavonoides. Se encuentran en abundancia en la naturaleza formando mezclas complejas, por lo que, son responsables en gran medida de la textura, color y sabor astringente y amargo de algunos alimentos como té, café o chocolate. Otros factores que afectan las cantidades de polifenoles podrían ser el tipo de fermentación y el tiempo de fermentación, que se ha informado que proporciona valores óptimos de TPC después de 24 horas y luego disminuyen. Los procesos expuestos a la luz y a altas temperaturas durante la fabricación del cacao, como el secado al sol o el proceso de tostado, podrían implicar la degradación de los polifenoles con respecto a otros tipos de subproductos del cacao (Arreaga Chévez, 2019).

El aumento de los polifenoles gracias a la enzima polifenol oxidasa se

detiene, siendo esta un factor causante del contenido de polifenoles en la cáscara la acción que influye en este proceso es la exposición a altas temperaturas que inactiva las enzimas y hay menos daño.



**Figura 10. Cambio del contenido de polifenoles cascarilla de grano fresco fermentado y secado (Ciprián Jiménez, 2020).**

### **METILXANTINAS**

Las metilxantinas son conocidas por sus efectos psicoactivos y por eso son compuestos interesantes en algunos productos. La teobromina se considera un compuesto tóxico, pero se informa que también posee muchas actividades farmacológicas, como propiedades anticancerígenas, diuréticas, cardioestimulantes, hipocolesterolémicas, relajantes del músculo liso, antiasmáticas y vasodilatadoras coronarias. Cuando se procesan los granos de cacao, el contenido de teobromina cambia principalmente durante la etapa de fermentación. Durante esta etapa, las metilxantinas migran del grano a la cáscara, lo que provoca una disminución del contenido de teobromina del grano de cacao de aproximadamente un 25 %, las metilxantinas (teobromina y cafeína) fueron los compuestos más abundantes. La teofilina se detectó solo a temperaturas de extracción superiores a 220 °C. La concentración de teobromina osciló entre

1.63

% y 4.77% (w/w), mientras que la concentración de cafeína osciló entre 0.04% y 0.29% (w/w). La teobromina es un compuesto importante en la cáscara de cacao, cuyo contenido ronda los 12.9 mg/g de peso seco para una mezcla de cáscaras de cacao de diferentes regiones geográficas, el nivel de teobromina en la cáscara de cacao cambió con el origen del cacao y varió entre 4.64 y 10.92 mg/g, mientras que el contenido de cafeína osciló entre 1.59 y 4.21 mg/g, los diferentes niveles de cafeína de diferentes cultivares en el rango de 0.73 a 1.73 mg/g, lo que confirma el hecho de que el nivel de cafeína depende del origen del cacao y de los cultivares (Jokić Gagić *et al.*, 2018).

### **EXTRACTOS DE CÁSCARA DE CACAO RICOS EN METILXANTINA**

Durante el procesamiento de los granos de cacao, en la etapa de fermentación, las metilxantinas migran desde el grano hacia la cáscara. La teobromina es la metilxantina más abundante en las cáscaras de cacao, seguida de la cafeína y la teofilina. La teobromina es un polvo blanco; un componente áspero e inodoro que puede ser estimulante en cantidades moderadas, mientras que puede ser venenoso en cantidades mayores. Se caracteriza por importantes funciones farmacológicas, como anticancerígeno, diurético, relajante del músculo liso y estimulante cardíaco. La teobromina da amargor a los productos de cacao y chocolate la teobromina también tiene algunas propiedades antioxidantes el 13 g/kg de teobromina en cáscaras de cacao secas. Según la mayoría de los estudios, la teofilina se detecta en niveles tan bajos que se puede ignorar su presencia. El uso de cáscaras de cacao para la alimentación animal se ha vuelto cuestionable debido al alto contenido de teobromina. Este componente puede tener efectos dañinos en los animales si se consume en grandes cantidades, como se describió anteriormente en el texto. La teobromina se puede eliminar

de la cáscara de cacao mediante técnicas de extracción. El tratamiento con agua caliente también ha demostrado ser capaz de reducir el contenido de teobromina que patentó la producción de dos extractos diferentes de cáscaras de cacao; fracción de teobromina y fracción enriquecida con polifenoles. Las cáscaras de cacao desgrasadas se pueden extraer con una solución de acetona/agua, después de lo cual se debe separar la acetona, dejando solo la solución acuosa, el material se concentra, seguido de la filtración en gel. La fracción de teobromina se puede enjuagar con agua, después de lo cual se puede enjuagar una fracción polifenólica a través de una columna con un disolvente de bajo peso molecular (Panak Balentić *et al.*, 2018).

### **FTIR EN LA CASCARILLA DE CACAO *THEOBROMA CACAOL***

La técnica de FTIR en alimentos proporciona una buena alternativa para la detección de los componentes mayoritarios en un producto, de manera rápida, confiable y efectiva

### **MICROSCOPIA EN LA CASCARILLA DE CACAO *THEOBROMA CACAOL***

Se define la microscopía como la observación de objetos muy pequeños bajo grandes aumentos, que observan detalles muy pequeños, ya sea dentro de objetos biológicos o no biológicos o la parte externa de estos y ha facilitado la descripción de características cualitativas, evaluaciones cuantitativas y patrones de los alimentos que posibilita diferenciar compuestos. Constituye un medio efectivo para evaluar ingredientes proporcionando una información que complementa una idea general de la calidad del alimento terminado, este control asegura dar cumplimiento a la formulación nutricional del producto y los procesos en cuanto a la seguridad alimentaria (inocuidad) han ocasionado en el mundo distintas situaciones de



peligro como la presencia de dioxinas, encefalopatía espongiforme bovina (EEB) y salmonellas, determinar en los alimentos balanceados, si los ingredientes se encuentran presentes o ausentes tal como se desea o garantiza; detectar adulteraciones a partir de sus características físicas; detectar ingredientes sobreprocesados; detectar contaminantes, hongos, insectos y suciedad de roedores; determinar si un alimento está uniformemente mezclado; detectar semillas perniciosas enteras y aclarar disputas (María, 2009).

## **HIPÓTESIS**

La temperatura de deshidratación 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. Sol y tostado a 180°C aplicados en la cascarilla de cacao influye en los atributos de color, en la composición químico proximal y en capacidad antioxidante.

# METODOLOGÍA

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo está basado en el paradigma de investigación cuantitativo donde se usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Hernández Sampieri, *et al.*, 2010). La investigación es de tipo descriptiva y experimental. La investigación descriptiva porque comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos, parámetros físicos evaluados. El tipo investigación es experimental porque comprende bloques completamente al azar en un ambiente controlado evaluando los parámetros de porcentaje de humedad, lípidos, cenizas, fibra cruda, proteína, acidez titulable, el experimento es el método o técnica de investigación más refinado para recabar datos y verificar hipótesis (Ñaupas Paitán *et al.*, 2014). El enfoque se hace sobre realidades de hecho, y su característica fundamental es de presentar una interpretación correcta (Tamayo Tamayo, 2003). En este trabajo se describieron las características físicas y fisicoquímicas en la cascarilla del grano de cacao, así como microscopia electrónica de barrido y evaluación de las propiedades estructurales por Espectrometría de infrarrojo con transformada de Fourier (FTR) en la cascarilla de cacao deshidratado y horneado a diferentes temperaturas las cuales se describen de la siguiente manera DSS= deshidratado secado al sol, D35= deshidratado a 35°C, D40= deshidratado a 40°C, D45= deshidratado a 45°C, D50= deshidratado a 50°C. HSS= horneado secado al sol, H35=horneado a 35°C, H40= horneado a 40°C, H45= horneado a 45°C y H50= horneado a 50°C.

## POBLACIÓN

Las muestras para esta investigación se obtuvieron en la Ciudad de Tapachula de Córdoba y Ordoñez, en la cooperativa Rayen S.P.R de la región Soconusco ubicado en la 5ª avenida norte, Raymundo Enríquez, actualmente está empacadora por cada 100kg de la semilla de cacao se generan 300g de residuo de cascarilla.



**Figura 11. Rayen S.P.R. Región Soconusco ubicado En la 5ª avenida Norte, Raymundo Enríquez, Tapachula México.**

## MUESTRA

Las colectas de los frutos de las mazorcas de cacao se obtuvieron en la cooperativa Rayen S.P.R de la región Soconusco ubicado en la 5ª avenida norte, Raymundo Enríquez, Tapachula México. Recolectando 30 kg del fruto en baba lo cual solo se analizó la cascarilla, de cada uno de los siguientes tratamientos, (35°, 40°, 45°, 50° y SS), tostado y deshidratado de muestras de cascarilla molidas y tamizadas se obtuvieron 100g de cada tratamiento distribuyendo 10g para el análisis químico proximal, 20g antioxidante, 10g FTR, 20g para cromatografía, 10g para análisis de color.

## **MUESTREO**

Esta investigación se desarrolló en los laboratorios de Análisis de Alimentos y Microbiología situado en el segundo piso en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, subsede Acapetahua en un lapso de tiempo que abarco desde el mes de junio hasta noviembre del 2022. Para la evaluación de color de la cascarilla de cacao deshidratadas y tostadas se llevó a cabo del mes de junio a julio del 2023. La evaluación químico proximal se llevó a cabo desde el mes de noviembre a diciembre del 2022. Para la Evaluación de las propiedades estructurales FTR se llevaron a cabo el mes de febrero del 2023.

## **VARIABLES**

Para realizar la presente investigación de la capacidad antioxidante en la cascarilla de cacao evaluadas en cinco tratamientos, mostrando comparación para las muestras deshidratadas y tostadas. La variable dependiente en la determinación de las características fisicoquímicas de la cascarilla de cacao aborda los siguientes parámetros: peso de la cascarilla, pH, acidez, color, humedad, ceniza fibra, proteína y grasa, antioxidante, FTR y microscopia.

## **INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

Los instrumentos que se utilizaron para la medición de las variables en estudio fueron los siguientes: Ph metro marca (HANNA) modelo: (HI98129), potenciómetro (SCIENCE MED) modelo: (phs 3BW), horno de secado (NOVATECH) modelo: (HS35-ED), balanza analítica (Pioner OHAUS) (Item PA214), mufla (NOVATECH) modelo: (MD-12), campana de extracción (NOVATECH) modelo: (CE-1208<sup>a</sup>), parrilla de digestión para proteína modelo (MDD08P), matraces (kjeldahl), destilador de (micro-kjeldahl) (NOVATECH) modelo: (KJR), equipo soxhlet, baño de temperatura constante

Scorpion Scientific modelo: (A50290), parrilla de calentamiento para equipo soxhlet (NOVATECH) modelo: (VH-6), agitador magnético (SCIENTIFIC), Microscopio electrónico de barrido marca (JEOL) modelo (IT300, Boston, MA, USA), Espectrofotómetro de infrarrojo con Transformada de Founuier marca (Spectrum Two Perkin Elmer con un módulo ATR).

## **DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS UTILIZADAS**

### **Análisis de color**

Para la determinación del color se seleccionó el espacio de color CIELab, obteniéndose las coordenadas luminosidad ( $L^*$ ), coordenada rojo-verde ( $a^*$ ) y coordenada amarillo-azul ( $b^*$ ). Para ello se utilizó el espectrofotocolorímetro ColorFlex EZ modelo 45/0 (HynterLab, Virginia, USA). Las mediciones se realizaron con iluminante D65. Se efectuaron 3 mediciones para la cascarilla de cada tratamiento.

Para la identificación de la composición químico-proximal de la cascarilla de cacao se llevaron a cabo los análisis de humedad, cenizas, grasa, fibra y proteína.

### **Determinación de humedad PE15-5.4-FQ. AOAC Ed 19, 2012 925.10**

Se pesaron de 3-5g de muestra, horneado y deshidratado en una charola ya previamente tarada, posteriormente se colocó la charola con muestra en el horno de secado NOVATECH modelo: HS35-ED y se mantuvo a una temperatura de 60°C por 24 h, una vez transcurrido el tiempo se retiró la charola del horno de secado y se colocó en el desecador; se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó. Se realizaron los cálculos con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{P - P_1}{P_2} \times 100$$

Dónde:

P: peso del recipiente con la muestra húmeda en gramos.

$P_1$ : peso del recipiente con la muestra seca.

$P_2$ : peso de la muestra en gramos.

#### **Determinación de cenizas PE14-5.4FQ. AOAC Ed 19, 2012 923.03**

Se utilizaron crisoles de 30 mL tarado a peso constante, se colocaron de .1g de muestra ya deshidratada y horneada. Se calentaron los crisoles en la parrilla de digestión hasta que la muestra se calcinara. Posteriormente se llevó a la mufla NOVATECH modelo: MD-12 por 5 h a 550°C, una vez concluido el tiempo se transfirió al desecador para su enfriamiento y al llegar a temperatura ambiente se pesó. Se realizaron los cálculos con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{P_1 - P_2}{P} \times 100$$

Dónde:

$P_1$ : peso del crisol más muestra en gramos.

$P_2$ : peso del crisol más cenizas en gramos.

P: peso de la muestra en gramos.

#### **Determinación de grasa PE17-5.4-FQ. AOAC Ed 19, 2012 2003.06**

Se transfirió de 2g de muestra previamente deshidratada y horneada en el cartucho de papel filtro. Se colocó el cartucho dentro del extractor Soxhlet. En la parte inferior se ajustó un matraz con perlas de ebullición (llevados previamente a peso constante por calentamiento a 60°C). Se le añadió hexano en cantidad suficiente para tener 2 o 3 descargas del extractor (alrededor de 80 mL).

Se hizo circular agua por el refrigerante y se calentaron las placas hasta que se obtuvo una frecuencia de 2 gotas por segundo. Se efectuó la extracción durante 4 a 6 horas. Posteriormente se suspendió el calentamiento, se quitó el extractor del matraz y se introdujo al horno de secado NOVATECH modelo: HS35-ED a 60°C para que se efectuó el secado del exceso de hexano hasta alcanzar peso constante. Se realizaron los cálculos con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Grasa} = \frac{P_1 - P_2}{M} \times 100$$

Dónde:

$P_1$ : peso del matraz con grasa.

$P_2$ : peso del matraz sin grasa.

M: masa en gramos de la muestra

#### **Determinación de fibra AOAC 985.29. Ed 19, 2012**

Se transfiere a un vaso de 600 mL 1.0 g de muestra, evitando la contaminación de la fibra de papel. Se agregó 1 g de asbesto preparado y 200 mL de ácido sulfúrico al 1.25% hirviendo. Posteriormente se colocó el vaso en el aparato sobre la placa caliente pre ajustada para llegar al punto de hervor por 30 min, se gira el vaso periódicamente evitando que los sólidos se adhieran a las paredes. Se quitó el vaso y se filtra a través de papel filtro, se enjuaga el vaso con 50-70 mL de agua hirviendo y se vierte sobre el papel. Se lava el residuo las veces que sean necesarias hasta que el agua tenga un pH igual al del agua destilada. Transferimos el residuo al vaso con ayuda de 200 mL de NaOH al 1.25% hirviendo y calentamos a ebullición por 30 minutos, quitamos el vaso y filtramos en Buchner con papel filtro, lavamos con agua hasta que se tenga un pH igual destilada. Se retiró el



papel filtro con la fibra con ayuda de pinzas de disección y se llevó al horno de secado NOVATECH modelo: HS35-ED por 24 h a 60°C, posteriormente se llevó al desecador por 30 minutos y se pesó. Se realizaron los cálculos con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de fibra} = \frac{F}{M} \times 100$$

Dónde:

F: peso muestra seca.

M: peso muestra.

#### **Determinación de proteína PE16-5.4-FQ. AOAC Ed 19 2012 2001.11**

Se pesó de 0.1 g de muestra y se colocó en un tubo microkjeldahl, se adicionó 2 g de mezcla catalizador y 3 mL de ácido sulfúrico. Se llevó a digerir la muestra en el equipo de digestión microkjeldahl hasta que la muestra se clarifique manteniendo el calentamiento de 1.5-2 h, se dejó enfriar (a los tubos Kjeldhal se le colocaron tapones). Posteriormente el residuo se disuelve con 10 mL de agua destilada, en un matraz Erlenmeyer se colocó 25 mL de solución de ácido bórico al 5% con 2 gotas de indicador (rojo de metilo). Se colocó en la terminal del condensador el matraz Erlenmeyer, cuidando que este quede dentro de la solución. El tubo con muestra se colocó en el destilador y se adicionaron 13 mL de solución de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio a través de la válvula de seguridad. Se llevó a cabo la destilación por arrastre de vapor, recolectando aproximadamente 75-100 mL de destilado. Esta solución se titula con HCl 0.1 N hasta que vire en el color del indicador. Se realizaron los cálculos con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de proteína} = \frac{14 \times N \times V \times 100 \times \text{Factor}}{m \times 1000}$$

Donde:

V: 50 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.1 N- gasto NaOH 0.1 o gasto de HCl 0.1 N.

m: masa de la muestra en gramos.

N: normalidad. Factor: 6.25 carne, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general.

### **Determinación de pH**

Determinación de pH bajo según la norma “NTE INEN-ISO 1842:2013. Productos vegetales y de frutas.

La muestra descascarillada se homogeneizó, luego se pesaron 2 gramos, se añadieron 20 mililitros de agua destilada, agitando por 10min, se filtró y se leyó hasta que no hubo no hubiera variación.

### **Evaluación de las propiedades estructurales FTR de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L.**

Para analizar los espectros de infrarrojo de las muestras de cascarilla deshidratados y tostadas estas se registraron en gránulos en un sistema de pastilla de KBr en un espectrómetro FTIR Spectrum One (PerkinElmer) en el rango de  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$  en un rango de resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$ , número de escaneos 64.

### **Identificación de la morfología del tamaño por microscopia electrónica de barrido de la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L.**

Se realizó un análisis morfológico de MEB en las muestras de la cascarilla del grano de cacao. Para lo cual se utilizó un microscopio electrónico de barrido marca JEOL (modelo IT300, Boston, MA, USA). Las condiciones de operación fueron 10 kV como voltaje de

aceleración, la señal de electrones secundarios.

### **Capacidad antioxidante en la cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L.**

La capacidad antioxidante se determinó usando la técnica del DPPH (2,2-Difenil-1- Picrilhidrazilo) y ABTS (Ácido 2, 2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico). El radical DPPH se preparó en a una concentración de 100 µM (3.9 mL) disuelto en metanol absoluto. Posteriormente, se añadió 0.1 mL de la muestra y fue homogenizada y se mantuvo por 30 minutos en oscuridad. Finalmente, la absorbancia se midió a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro.

La actividad antioxidante por el método ABTS se realizó de la siguiente manera: el radical se preparó a una concentración de 45 mM, se mezcló en partes iguales con persulfato de potasio 17 mM y se dejó reaccionar por 16 h en ausencia de luz temperatura ambiente, transcurrido el paso anterior, se ajustó la absorbancia del radical a 0.7 con PBS 0.15 M de pH 7.2. Seguidamente se mezcló 1 mL de radical ABTS con 10 µL muestra para dejarla reaccionar 10 min a temperatura ambiente en ausencia de luz; después de ser incubadas se leyó a la absorbancia 734 nm en un espectrofotómetro.

La actividad antioxidante evaluada por los dos métodos se expresó en % de captura mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de captura de Radical} = \frac{\text{Abs de Radical} - \text{Abs de la muestra}}{\text{Abs de Radical}} \times 100$$

### **DESCRIPCIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para determinar todos los parámetros tanto físicos como químicos se utilizó el programa MINITAB versión 17. Utilizando el diseño

experimental de bloque completamente al azar, mediante un análisis de varianza de una vía (ANOVA); en un ambiente controlado este diseño se llama completamente al azar porque todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo, de manera que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos Gutiérrez Pulido *et al.*, 2008). Se realizaron 2 tratamientos que fueron deshidratado y horneado a 180°C a 5 temperaturas diferente con 2 a 3 repeticiones los cuales son: Deshidratado, (DSS) deshidratado secado al sol, (D35) deshidratado a 35°C, (D40) deshidratado a 40°C, (D45) deshidratado a 45°C, (D50) deshidratado a 50°C, horneado, (HSS) horneado secado al sol, (H35) horneado a 35°C, (H40) horneado a 40°C, (H45) horneado a 45°C, (H50) horneado a 50°C. La comparación de medias, para la detección de diferencias estadísticamente significativas entre las medias se realizó una prueba de Tukey con nivel de significancia de 0.05 ( $P \leq 0.05$ ), los datos arrojados se manejaron de forma descriptiva.

**Tabla 6. Nomenclatura utilizada en los análisis realizados**

Nomenclatura	Nombre del tratamiento
DSS	Deshidratado secado al sol
D35	Deshidratado a 35°C
D40	Deshidratad a 40°C
D45	Deshidratado a 45°C
D50	Deshidratado a 50°C
HSS	Horneado secado al sol a 180°C
H35	Horneado 35°C a 180°C
H40	Horneado 40°C a 180°C
H45	Horneado 45°C a 180°C
H50	Horneado 45°C a 180°C

## PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### a) ANALIZAR EL COLOR DE LA CASCARILLA DE CACAO

#### *THEOBROMA CACAOL.*

Se evaluó el color de la cascarilla de cacao secado a diferentes temperaturas 35°C, 40°C, 45°C, 50°C y horneadas a 180°C. El color de la cascarilla de cacao en ambos tratamientos se muestra en la tabla 7. Se encontró diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey al 5%.

En el ángulo de la luminosidad  $L^*$  mostró diferencia en el tratamiento D50 con un valor de  $47.38 \pm 0.94$ , los tratamientos DSS, D35, D40 y D45 son estadísticamente similares y se reporta un valor promedio de  $50.67 \pm 0.80$ . En cuanto al ángulo de color  $a^*$  fue el tratamiento D50 el que presentó un valor menor  $8.44 \pm 0.15$ , mientras que los valores de los tratamientos D35 y D40 presentaron un valor promedio de  $9.72 \pm 0.31$ , de igual manera los tratamientos DSS y D45 fueron mayores con un valor promedio de  $10.34 \pm 0.12$ . al ángulo  $b^*$  en los tratamientos DSS y D45 presentaron un valor promedio de  $5.52 \pm 0.75$ , D35 y D40  $4.11 \pm 0.45$  y D40 y D50  $3.65 \pm 0.30$ .

Con respecto al valor obtenidos de la luminosidad  $L^*$  los tratamientos HSS, H35 y H40 quien reporta un valor promedio de  $48.95 \pm 0.88$  valores similares al promedio de los tratamientos H35, H40, H45 y H50 con un valor de  $48.19 \pm 0.56$ . En cuanto al ángulo  $a^*$  los valores son similares reportando un valor promedio de  $10.01 \pm 0.35$ . De igual manera en el ángulo  $b^*$  mostro diferencia en el tratamiento H40 con un valor de  $6.01 \pm 0.30$  a diferencia de los tratamientos HSS, H35, H45 y H50 que no se observaron diferencias siendo similares en un

promedio de  $5.48 \pm 0.41$ .

Delgado Ospina *et al.*, (2020) mencionan que en las cascarillas deshidratadas de la variedad criollo la luminosidad ( $L^*$ ) obtuvieron el rango de  $40.8 \pm 4.03$  a  $48.92$ , para valores de enrojecimiento ( $a^*$ ), una media de  $7.78 \pm 1.94$  y con valor máximo para amarillez ( $b^*$ ), con valores de  $6.70 \pm 0.54$  a  $11.11 \pm 2.07$ .

**Tabla 7. Parámetros físicos de la cascarilla de cacao deshidratado**

Tratamiento	$L^*$	$a^*$	$b^*$
DSS	$51.24 \pm 0.54^a$	$10.20 \pm 0.07^{ab}$	$5.59 \pm 0.23^a$
D35	$49.97 \pm 1.11^a$	$9.82 \pm 0.29^{ac}$	$4.37 \pm 0.41^b$
D40	$49.93 \pm 0.83^a$	$9.62 \pm 0.34^c$	$3.86 \pm 0.50^{bc}$
D45	$51.54 \pm 0.75^a$	$10.48 \pm 0.18^a$	$5.46 \pm 0.52^a$
D50	$47.38 \pm 0.94^b$	$8.44 \pm 0.15^d$	$3.44 \pm 0.11^c$
HSS (180)	$49.46 \pm 1.23^a$	$10.22 \pm 0.32^a$	$5.81 \pm 0.70^{ab}$
H35	$48.61 \pm 0.62^{ab}$	$9.78 \pm 0.71^a$	$5.26 \pm 0.32^{ab}$
H40	$48.79 \pm 0.80^{ab}$	$10.22 \pm 0.13^a$	$6.01 \pm 0.30^a$
H45	$47.90 \pm 0.39^b$	$10.09 \pm 0.32^a$	$5.03 \pm 0.37^b$
H50	$47.42 \pm 0.43^b$	$9.76 \pm 0.30^a$	$5.82 \pm 0.27^{ab}$
Prueba de Tukey al 5%			

DSS= Deshidratado secado al sol, D35= deshidratado a 35°C, D40= deshidratado a 40°C, D45= deshidratado a 45°C, D50= deshidratado a 50°C; HSS= horneado secado al sol, H35= horneado a 35°C, H40= horneado a 40°C, H45= horneado a 45°C, H50= horneado a 50°C.

Tovar Sarmiento, (2022) menciona que la cascarilla horneada disminuye el valor de la luminosidad ( $L^*$ ), por otra parte, los componentes de  $a^*$ (rojo-verde) y  $b^*$ (amarillo-azul) también variaron significativamente debido al tratamiento, teniendo como resultado que el aumento del reemplazo de la cascarilla incrementa el valor del parámetro  $a^*$  indicando una mejor tendencia de las tonalidades colores rojas y el menor valor de  $b^*$  encontrado tuvieron una diferencia notable en el color por efecto de la adición de la cascarilla.

**b) DETERMINAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICO-PROXIMAL DE LA CASCARILLA DE CACAO *THEOBROMA CACAO* L.**

La composición química de la cascarilla de cacao es de gran interés saber sobre sus propiedades nutricionales y macronutrientes (proteínas, carbohidratos, lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales). La cascarilla aporta una fuente baja de energía debido a que presenta niveles de energía digestible menor a 2500 kcal/kg; que es la base de la fibra para la nutrición (Escobar Coello, 2017). En la tabla 8 se presentan los resultados de la composición químico proximal de la cascarilla de cacao de los tratamiento deshidratados y horneados.

**Tabla 8. Composición químico-proximal de la cascarilla del grano de cacao *Theobroma cacao* deshidratado y horneado.**

Tratamiento	Humedad %	Ceniza%	Grasa%	Fibra%	Proteína%
DSS	9.50±0.15 <sup>ab</sup>	12.30±0.09 <sup>a</sup>	1.50±1.12 <sup>d</sup>	24.22±1.66 <sup>a</sup>	11.74±0.51 <sup>bc</sup>
D35	8.34±0.19 <sup>c</sup>	11.01±0.62 <sup>a</sup>	4.51±0.04 <sup>c</sup>	22.65±5.41 <sup>a</sup>	13.33±0.83 <sup>b</sup>
D40	8.79±0.92 <sup>c</sup>	9.59±0.41 <sup>a</sup>	10.63±0.14 <sup>a</sup>	16.49±6.17 <sup>a</sup>	10.11±0.94 <sup>c</sup>
D45	7.78±0.09 <sup>c</sup>	12.96±0.95 <sup>a</sup>	5.92±0.14 <sup>b</sup>	23.36±5.54 <sup>a</sup>	10.31±0.31 <sup>c</sup>
D50	10.32±0.06 <sup>a</sup>	12.73±3.11 <sup>a</sup>	6.52± 0.13 <sup>b</sup>	24.90±3.40 <sup>a</sup>	16.30±0.27 <sup>a</sup>
HSS	2.44±0.02 <sup>ab</sup>	9.08±0.25 <sup>d</sup>	5.33±1.76 <sup>b</sup>	27.45±0.97 <sup>a</sup>	15.65±0.55 <sup>ab</sup>
H35	2.75±0.08 <sup>a</sup>	13.67±0.26 <sup>b</sup>	5.53±0.08 <sup>b</sup>	28.47±1.40 <sup>a</sup>	19.97±0.63 <sup>a</sup>
H40	2.58±0.18 <sup>ab</sup>	14.79±0.12 <sup>a</sup>	6.16±0.05 <sup>b</sup>	26.45±2.19 <sup>a</sup>	11.10±1.16 <sup>b</sup>
H45	2.25±0.09 <sup>b</sup>	10.69±0.36 <sup>c</sup>	8.94±0.09 <sup>a</sup>	16.80±1.60 <sup>b</sup>	14.64±0.88 <sup>ab</sup>
H50	1.50±.27 <sup>c</sup>	11.21±0.52 <sup>c</sup>	5.19±0.10 <sup>b</sup>	16.54±0.60 <sup>b</sup>	16.67±2.76 <sup>ab</sup>

DSS= deshidratado secado al sol, D35= deshidratado a 35°C, D40= deshidratado a 40°C, D45= deshidratado a 45°C, D50= deshidratado a 50°C. HSS= horneado secado al sol, H35=horneado a 35°C, H40= horneado a 40°C, H45= horneado a 45°C y H50= horneado a 50°C

## Humedad

El porcentaje de humedad en la cascarilla de cacao, deshidratadas y horneadas a 180°C mostró diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey al 5%, sin embargo, los tratamientos D35, D40 y D45 son estadísticamente similares y en promedio se reporta una humedad de 8.30%, los tratamientos DSS y D50 presentaron 14.2% más humedad que los tratamientos antes mencionados (tabla 8). Se puede observar que para el tratamiento DSS la humedad es mayor debido a las condiciones climáticas que se presentaron durante los días de secado. Castillo Álvarez *et al.*, (2018) mencionan que el contenido de humedad en cascarilla de cacao deshidratado de la variedad clon, tiene un valor de 8.17% sometidas a una temperatura de 130 °C, por lo que se encuentra dentro de los rangos reportado en este trabajo, estos valores de humedad dependieron de la temperatura y el tiempo al cual se sometieron las cascarillas de cacao.

Morejón *et al.*, (2018), reportó que, los valores de humedad en cascarillas de cacao Nacional, presentó un valor de 8.88%, un parámetro semejante a lo encontrado en este trabajo, estos parámetros difieren a las condiciones durante el proceso térmico donde se indica que los altos índices de humedad provocan reacciones indeseables, además del crecimiento de microorganismos

Para las cascarillas horneadas los tratamientos HSS, H35, H40 Y H45 no presentan diferencias significativas, sin embargo, para el tratamiento H50 se encuentra en un promedio de  $1.50 \pm .27^{\circ}$  y cabe señalar que estas cascarillas se obtuvieron después de un proceso de deshidratación mayor a los tratamientos antes mencionados que posteriormente se sometieron a horneado a temperaturas de 180° y debido a eso presentó menor humedad.



Sin embargo, Garay Vega (2019), encontró valores de humedad en la cascarilla de la variedad CLON CCN-51 horneadas a 140° de 3.81%; este valor estuvo por arriba a lo encontrado en el presente trabajo. Sangronis et al, (2014), demostró que el valor de humedad para el tratamiento horneado de una mezcla de cacao criollo y forastero fue de  $3.46 \pm 0.37$ , lo cual indica que se ve influenciada por las diversas etapas del tratamiento de postcosecha donde se aplica tratamiento térmico (secado y tostado) al momento de mezclar las variedades de cacao, por lo que es un valor similar a lo reportado por Garay Vega (2019).

Sangronis *et al.*, (2014), indica que mientras más bajo sea la humedad de la cascarilla de cacao más se beneficia en la calidad microbiológica ajustada a la norma de la Asociación Nacional del Cacao (NCA) y la ausencia.

Se destaca que en este trabajo la humedad en la cascarilla horneada presenta menos humedad que en la cascarilla deshidratada, debido al proceso térmico y a las diferentes temperaturas a las que fueron sometidas durante el horneado y deshidratado.

### **Ceniza**

Los resultados del análisis de cenizas en la cascarilla no mostraron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, los cuales se encuentran en un rango de  $9.59 \pm 0.41\%$  y  $12.96 \pm 0.95\%$ ; Soto Pereira (2012), determinó el porcentaje de ceniza en la cascarilla deshidratada de la variedad CCN-51 a una temperatura de 100 °C y reporta valores de 6.0-10.8% estos resultados están por debajo del rango de los parámetros encontrados en este trabajo.

Por su parte, Vera Rodríguez *et al.*, (2021) reportaron valores del contenido de ceniza en la cascarilla de cacao a una temperatura de 100 °C de la variedad ARRIBA, 11.78% y CCN-51 de 9.20 %, parámetros que se asemejan a lo encontrado en este trabajo.

Las cenizas totales son un parámetro de importancia en las características que debe cumplir la materia prima ya que posee un interés nutricional y que puede ser usada como un factor alimenticio en producción de alimentos (Cardona, D *et al.*,2002)).

Los resultados encontrados de ceniza en las cascarillas horneadas muestran diferencias significativas en todos los tratamientos analizados H35, H40 con un valor de  $13.67 \pm 0.26\%$  y  $14.79 \pm 0.12\%$  que presentan mayor contenido de ceniza, mientras que H45 y H50 es diferente con valores de  $10.69 \pm 0.36\%$  y  $11.21 \pm 0.52\%$ , y con un porcentaje menor en el tratamiento HSS  $9.08 \pm 0.25\%$ , este último presenta los valores más bajos ya que el proceso de horneado fue tradicional a diferencia de los otros tratamientos que se llevaron a cabo en un horno con temperatura controlada.

Maruja (2014), reporta los valores de las cenizas totales entre 8.03% a 10.25%, de las muestras horneadas de la variedad CCN-51 a una temperatura de 125 °C estos valores se asemejan para los tratamientos HSS y H45 de este trabajo, por otro lado, Ordoñez Choez *et al.*, (2019) demostraron que los parámetros de ceniza con un valor 13.86% en la cascarilla de cacao horneada de la variedad forastero a una temperatura de 130 ° C, lo cual se asemeja a los tratamientos H35 y H40.

### **Grasa**

En función a la determinación de grasa en cascarilla deshidratada se evidenció que el tratamiento D40 presenta el mayor contenido

10.63±0.14%, los tratamientos D45 y D50 presentaron valor de 5.92±0.145% y 6.52±0.13%, los valores más bajos fueron encontrados en los tratamientos D35 y DSS 4.51±0.04 y 1.50±1.12% respectivamente.

Según Ramírez Gómez (2020), reportó valores de grasa de 2.63±0.067 que difiere en un porcentaje mayor a lo reportado del tratamiento DSS, lo que puede explicarse teniendo en cuenta que el rendimiento del método de descascarillado de los granos de cacao dependerá de la cantidad de las partículas del grano de cacao adherida a la cascarilla, es decir, que, al disminuir el rendimiento de esta separación, se tendrá un menor contenido de este macronutriente en el residuo. De esta manera se evaluaron los tratamientos horneados, donde se demostró que el tratamiento H45 obtuvo un valor de 8.94±0.09%, por lo que es considerado el tratamiento con el valor más alto y esto fue por el tipo de tratamiento presentado, mientras que, en los tratamientos HSS H35, H40 y H50 estuvieron en un valor promedio 5.55±0.49 abajo a las condiciones térmicas, son los tratamientos con menos porcentaje de grasa en los tratamientos horneados.

Así mismo, Vera Rodríguez *et al.* (2021) mencionan que el aporte de grasa en la cascarilla de cacao horneado de la variedad ARRIBA presentó en promedio 6.20% y en la variedad CCN-51 6.80%, lo cual no hubo diferencia en cuanto a las variedades, a diferencia con los tratamientos H35 y H40 que están dentro del rango y eso se debe al tipo de variedad de cacao, mientras tanto las cascarillas mostraron diferencias significativas en HSS, H35, H40, que fueron las que mostraron valores por encima de los tratamientos H45 y H50, reportando que en estos dos tratamientos no hubo diferencias significativas y los valores están por debajo de los tres tratamientos mencionados.

Cabe mencionar que los tratamientos de las cascarillas horneadas son donde se genera mayor cantidad de grasa debido a que son sometidas a un proceso térmico horneado a diferentes temperaturas y mientras tanto en las cascarillas deshidratadas existe mucha diferencia debido a que no solo están deshidratadas.

### **Fibra**

Se evaluaron los cinco tratamientos de la cascarilla de cacao deshidratado, previo a ello los resultados obtenidos solamente hay diferencia significativa en el tratamiento D40 con  $16.49 \pm 6.17$ , que fue el parámetro más bajo a diferencia de los tratamientos DSS, D35, D45 y D50, con valores de  $22.65 \pm 5.41$   $24.90 \pm 3.40$  superior al tratamiento antes mencionado.

Barazarte *et al.*, (2008) señalan que la fibra de la cascarilla de cacao de la variedad clon CC- 61XPLA-159 secado a una temperatura de 50°C durante 48 horas, tiene un valor de 22% que se encuentra dentro de los valores obtenidos en este trabajo. Pantoja Salazar (2014), reporta que la cascarilla de cacao presenta un valor de 22.93% de fibra, en donde se puede evidenciar que no hubo diferencias significativas sin importar las temperaturas a las que son sometidas los tratamientos.

En los resultados para fibra en las cascarillas horneadas se encuentran diferencias en los tratamientos H45 y H50, donde obtuvieron un parámetro de  $16.80 \pm 1.60$  que fueron valores menores a los encontrados en los tratamientos HSS, H35 y H40 en el cual se encuentran valores de  $26.45 \pm 2.19$  a  $28.475 \pm 1.40$  respectivamente.

Salinas Tuanama (2018) reporta que el contenido de fibra en la cascarilla de cacao de la variedad Criollo horneado a una temperatura de 150 °C, contiene 23.4 a 36.2% de fibra, lo cual se asemeja algunos valores reportados en este trabajo.

La cascarilla de cacao deshidratado puede considerarse una excelente de fibra insoluble, en el desarrollo de alimentos funcionales enriquecidos en fibra dietética y podría ser considerada como una alternativa en la agroindustria. Además de los beneficios asociados a su elevado contenido de fibra, este producto aportaría protección al proceso oxidativo gracias al contenido de polifenoles (Lecumberri *et al.*, 2006).

El alto contenido de fibra hace que sea un ingrediente muy importante en la fabricación de productos de panadería y repostería, sobre todo considerando que una ingesta diaria para una dieta balanceada, los postres formulados con cascarilla de cacao en polvo ofrecen beneficios nutricionales y se puede diferenciar que tanto en cascarillas deshidratadas como en horneadas no existe mucha diferencia (Martínez *et al.*, 2011).

### **Proteína**

Los cinco tratamientos de la cascarilla de cacao deshidratado donde no mostraron diferencias significativas en los tratamientos (DSS, D35, D40 y D45) con un valor de  $10.11 \pm 0.94$  a  $13.33 \pm 0.83$  a diferencia del tratamiento D50, donde se reportó un valor de proteína ( $16.30 \pm 0.70$ ) que está por encima de los tratamientos antes mencionados

López López (2013), reporta que el contenido de proteína de la cascarilla de cacao de la variedad CCN-51 deshidratado presentó un valor de 14.41%, donde se asemeja a los valores encontrados en este trabajo.

Sin embargo, Burgos Briones *et al.*, (2020), reportaron que el contenido de proteína en la cascarilla de cacao de la variedad CCN-51 a una temperatura de deshidratado a 45°C fue del 15.6% a esta temperatura, dicho valor se aproxima a lo reportado en D50 en este trabajo.

Así mismo, se reportan los valores de los cinco tratamientos de la cascarilla de cacao horneado, los resultados obtenidos indicaron que los tratamientos HSS, H45 y H50 no muestran diferencias significativas en sus valores ( $14.64 \pm 0.88$  a  $16.67 \pm 2.76$ ), sin embargo, el tratamiento H35 presento mayor contenido de proteína ( $19.97 \pm 0.63$ ) y H40 con el valor más bajo de  $11.10 \pm 1.16$ .

Sangronis Soto *et al.*, (2014) señalan que el alto contenido proteico y de la fibra, hace que la cascarilla de cacao sea de interés en la alimentación ya que la cascarilla se encuentra en un rango de  $18.72 \pm 0.39$  a  $19.69 \pm 0.53$  similares a los valores reportados. Las muestras de cascarilla analizadas están prácticamente libres de grasa el cual, tienen una aplicación en la industria alimentaria como adición a otros alimentos, puesto que, las proteínas vegetales constituyen una fuente de nutrimentos e ingredientes funcionales de interés por su variedad, disponibilidad y costo, explotándose tanto las propiedades funcionales como los beneficios nutricionales de cada grupo de proteínas.

Se puede establecer que la cascarilla de cacao, puede ser considerado como un ingrediente/suplemento alimentario saludable ya que, al margen de su elevado contenido tanto en fibra dietética y proteína es demasiado importante (Lecumberri *et al.*, 2006)

**Tabla 9. Determinación de pH**

Tratamientos	pH
DS. Sol	$8.40 \pm 0.00^b$
D35	$8.46 \pm 0.05^b$
D40	$8.50 \pm 0.00^b$
D45	$8.33 \pm 0.11^b$
D50	$8.86 \pm 0.05^b$
HSS	$7.76 \pm 0.05^b$
H35	$8.26 \pm 0.05^a$
H40	$8.30 \pm 0.00^a$
H45	$7.73 \pm 0.11^b$
H50	$8.16 \pm 0.05^a$

DSS= Deshidratado secado al sol, D35= deshidratado a 35°C, D40= deshidratado a 40°C, D45= deshidratado a 45°C, D50= deshidratado a 50°C; HSS= horneado secado al sol, H35= horneado a 35°C, H40= horneado a 40°C, H45= horneado a 45°C, H50= horneado a 50°C.

El pH, en el tratamiento de la cascarilla deshidratada (tabla 9), donde se observa claramente que los tratamientos DSS, D35, D40, D45 no mostraron diferencia significativa, observándose una mínima diferencia de  $8.86 \pm 0.05$  para el tratamiento D50.

Herrera-Rengifo *et al.*, (2020), reportaron un pH de 6.20% en muestras de cáscara de cacao variedad CCN-51, menor a los resultados obtenidos en este trabajo; Por otro lado, Andrade- Almeida *et al.*, (2019) reportaron un valor de pH de 5.2 a 6.3 por debajo de los valores a lo reportado por los autores que encontraron valores menores.

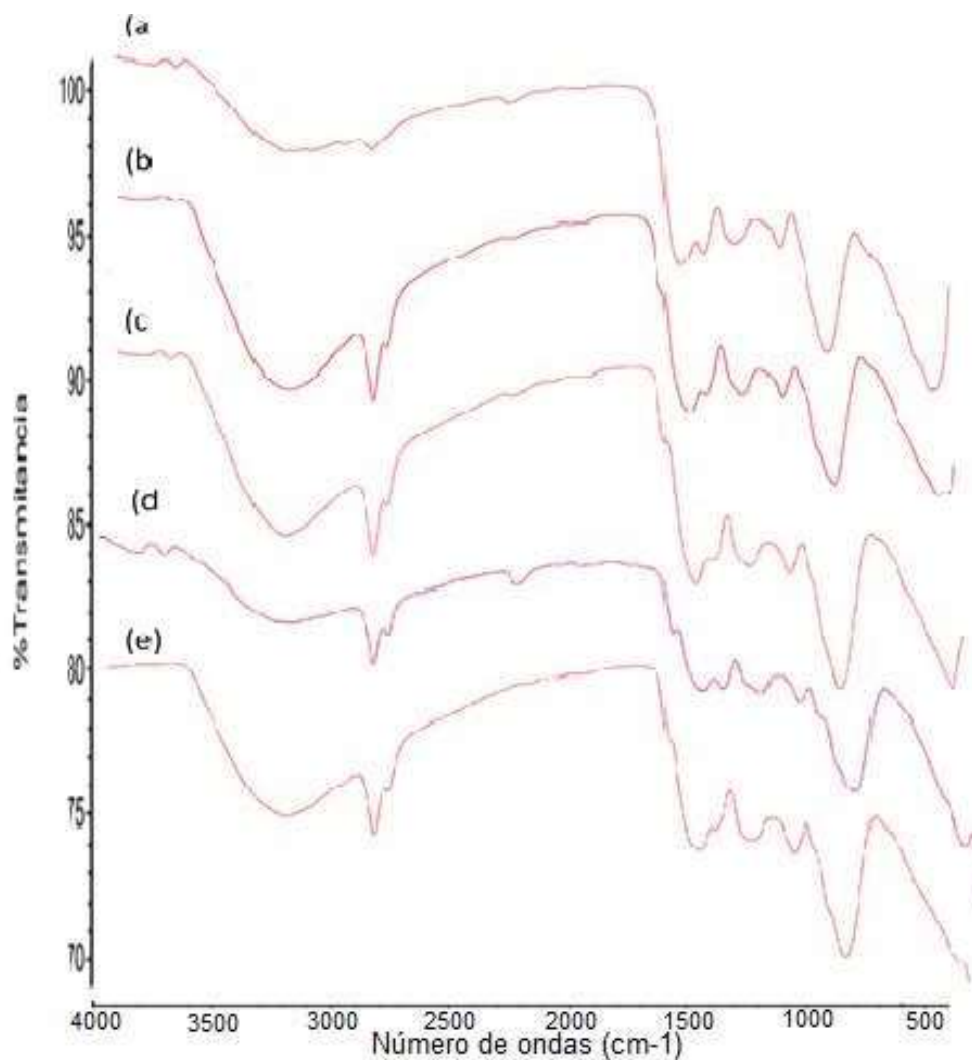
Así mismo en los tratamientos horneados se reporta que H35, H40 y H50 son valores que se encuentran en  $8.16 \pm 0.05$  a  $8.30 \pm 0.00$ , mientras tanto para los tratamientos HSS y H45 se reportan valores menores a los tratamientos antes mencionado con un valor de  $7.73 \pm 0.11$  a  $7.76 \pm 0.05$ .

Murillo Baca (2018), reporta que el contenido de pH en la cascarilla de cacao horneado de la variedad Criollo es de  $5.82 \pm 0.18\%$ , en donde es probable que esta diferencia se haya presentado debido a que las muestras utilizadas en esta investigación se encontraban en un grado de fermentación.

**c) EVALUAR LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LA CASCARILLA DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L) POR EL MÉTODO DE ESPECTROMETRÍA DE INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).**

En la figura 12 se muestran los espectros de las cascarillas deshidratadas (S. Sol, 35°C, 40°C, 45°C y 50°C ) lo cuáles muestran número de ondas en  $800\text{ cm}^{-1}$  pertenecientes al grupo de vibraciones C-H que corresponden a compuestos aromáticos, valores de  $1100\text{ cm}^{-1}$  se encuentra en el grupo vibración asimétrica de C-O-C en carbohidratos y glucósidos, con números de onda  $1500\text{ cm}^{-1}$  puede notarse vibraciones esqueléticas aromáticos principalmente fenólico, en el número de onda en  $2800\text{-}2900\text{ cm}^{-1}$  se encuentra en los grupos C-H estiramiento en C-H<sub>2</sub> y C- H<sub>3</sub> principalmente en los lípidos y en el pico  $1400\text{ cm}^{-1}$  se estima deformación de los grupos C- H en C-H<sub>2</sub> y C-H<sub>3</sub> que se encuentra en los carbohidratos,





**Figura 12. Espectrofotometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) de la cascarilla de cacao deshidratado a diferentes temperaturas: a) 35°C, B) 40°C, c) 45°C, d) 50°C, e) S.Sol**

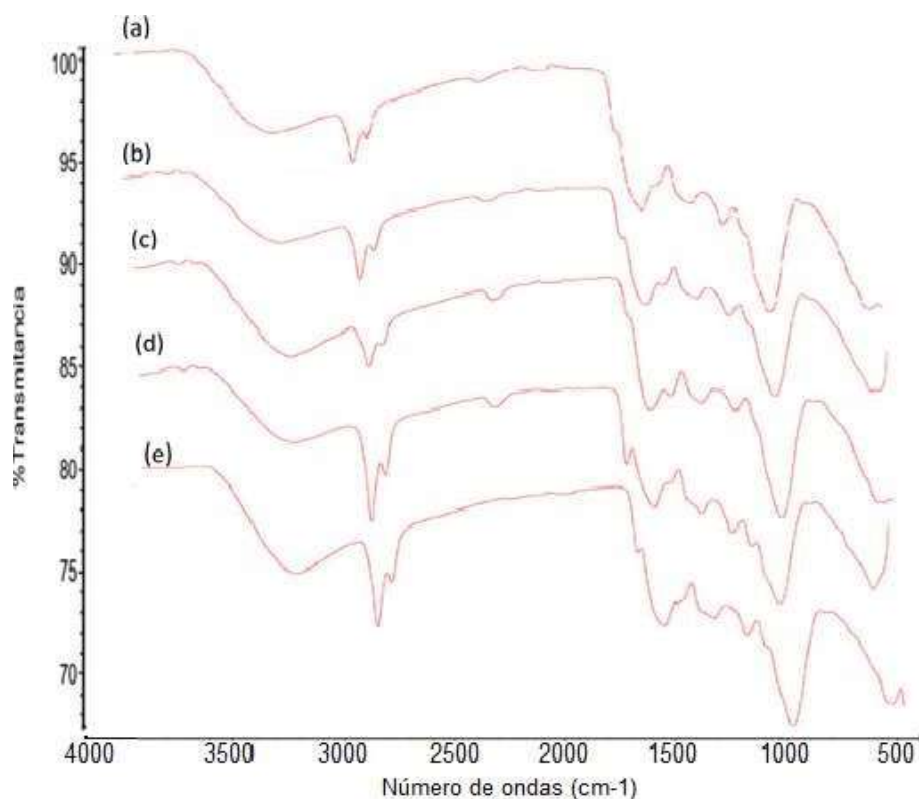
Grillo, (2018) reporta números de ondas similares a lo encontrado en este trabajo, para ello establece que el número de onda en 2851-2918  $\text{cm}^{-1}$  se encuentra en los grupos C-H estiramiento en C-H<sub>2</sub> y C-H<sub>3</sub> principalmente en los lípidos, en la onda de vibración número 1444  $\text{cm}^{-1}$  se estima deformación de los grupos C-H en C-H<sub>2</sub> y C-H<sub>3</sub> que se encuentra en los carbohidratos, de igual manera en el número de onda

1152  $\text{cm}^{-1}$  se encuentra en el grupo Vibración asimétrica de C-O-C en carbohidratos y glucósidos, el número de onda 1500  $\text{cm}^{-1}$  puede notarse vibraciones esqueléticas aromáticas principalmente fenólicos y en ondas de 800  $\text{cm}^{-1}$  son pertenecientes al grupo de vibraciones C-H que corresponden a compuestos aromáticos.

Así mismo los reportes de Lara *et al.*, (2016), se asemejan a lo reportado en este trabajo con número de ondas en 2926  $\text{cm}^{-1}$  correspondientes al tipo de vibración C-H extensión dentro del grupo funcional Hidrocarburos Alifáticos: Metilo, metileno, grupos metino, en número de onda 1521  $\text{cm}^{-1}$  puede notarse vibraciones C-O-C extensión asociados en el grupo éteres (aromático, olefínicos o alifáticos), en un pico de 1056-1104  $\text{cm}^{-1}$  se encuentran vibraciones C=S en el grupo funcional Tioésteres, tioureas, tioamidas.

Así mismo en la figura 13 se presenta los valores de (FTIR) de la cascarilla de cacao horneado. Los cambios en las características espectrales muestran cambio significativo es muy poca la deferencia en cuánto a la posición en la que se encuentran los picos.

Se presentan números de ondas en 2848  $\text{cm}^{-1}$  y 2919  $\text{cm}^{-1}$  asignadas a vibraciones C-H<sub>2</sub> asimétricas y simétricas de extensión del grupo de los lípidos, se identifica un pico a 1730  $\text{cm}^{-1}$ , que identifica una vibración C=O asociado en el grupo éteres, lípidos, aldehídos, la cual es característica de aceites o grasas, para el número de ondas en 1200  $\text{cm}^{-1}$  se presentan vibraciones de C-C-O-C asociado en el grupo de las Cetonas, en número de onda de 1000  $\text{cm}^{-1}$  con una vibraciones de C-C-C-N-C-O principalmente en el grupo de alcoholes secundarios.



**Figura 13. Espectrofotometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) de la cascarilla de cacao horneado a diferentes temperaturas, a) 35°C, b) 40°C, c) 45°C, d) 50°C, e) S. Sol**

También se observan números de onda de  $1600\text{ cm}^{-1}$  a  $1657\text{ cm}^{-1}$  con una vibración de C=O en su principal grupo de fenoles, aldehídos, cetonas así también al grupo funcional de los aldehídos, se identificó un número de ondas en  $1400\text{ cm}^{-1}$  a  $1471\text{ cm}^{-1}$  con una vibración de C-H<sub>3</sub>, C-O-O con señales atribuibles a polifenoles, la región de polifenoles muestra bandas ligeramente diferentes con respecto a los estándares, indicando los casos particulares de catequina, ácido gálico y lípidos.

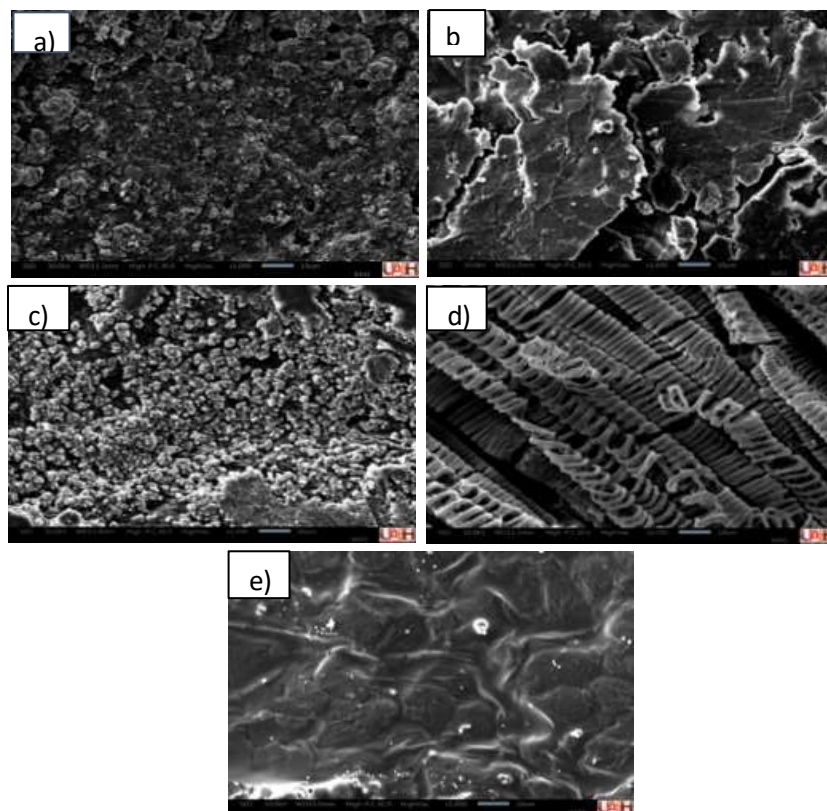
Domínguez-Pérez *et al.* (2019) reportaron que vibraciones en  $2919\text{ cm}^{-1}$  y  $2848\text{ cm}^{-1}$  son asignadas a vibraciones C-H<sub>2</sub> asimétricas y simétricas de extensión del grupo de los lípidos, además identifica un pico a  $1730\text{ cm}^{-1}$ , con una vibración C=O asociado en el grupo Éter, lípidos,

aldehídos, la cual es característica de aceites o grasas, mientras que en los picos de  $1657\text{ cm}^{-1}$  y  $1613\text{ cm}^{-1}$  se identifican con una vibración de C=O en su principal grupo de fenoles, aldehídos, cetonas así también al grupo funcional de los aldehídos a  $1657\text{ cm}^{-1}$ , se identificó un número de

ondas a  $1471\text{ cm}^{-1}$  y  $1416\text{ cm}^{-1}$  con una vibración de C-H<sub>3</sub>, C-O-O se identifican señales atribuibles a polifenoles, la región de polifenoles muestra bandas ligeramente diferentes con respecto a los estándares, indicando los casos particulares de catequina, ácido gálico y lípidos.

**d) IDENTIFICAR LA MORFOLÓGICA DEL TAMAÑO DE LA CASCARILLA DE CACAO *THEOBROMA CACAO* L VARIEDAD, FORASTERO EN DIFERENTES TEMPERATURAS DE DESHIDRATACIÓN Y DE TOSTADO.**

Las propiedades morfológicas se evaluaron mediante el análisis espectrofotometría en la cascarilla de cacao de los tratamientos deshidratados y horneados a diferentes temperaturas, de esta manera las estructuras de la cascarilla de cacao deshidratado, figura 14.



**Figura 14. Microscopía de la cascarilla de cacao deshidratado a diferentes temperaturas: a) 35°C, b) 40°C, c) 45°C, d) 50°C, e) S. Sol tomadas a 1000x**

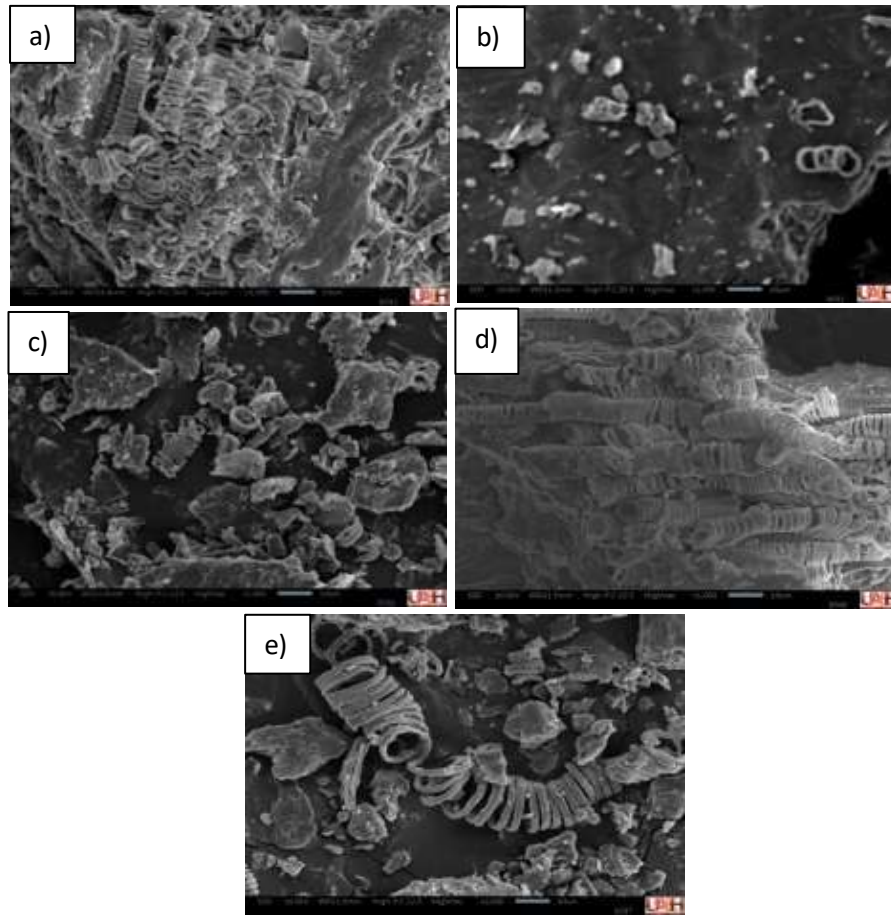
Se puede observar que no hay diferencia significativa en las figuras 14a, 14b y 14c, en los cambios estructurales en los tratamientos empleado 35°C, 40°C, 45°C mostrando una vista general con superficie de textura rugosa con una gran cantidad de partículas distribuidas uniformemente en la superficie y estas partículas varían en tamaño y forma, sin embargo, en la figura (d) y (e), se observan más a detalle las microfibras presentes en las cascarillas de 50°C y S que muestra una estructura interna más organizada con una mayor concentración de fibras y una apariencia más densa y compacta. Las fibras están entrelazadas lo que sugiere una estructura resistente esto puede

deberse a las diferentes temperaturas de deshidratación, sin embargo, en todos los tratamientos no hay daño estructural.

Montoya Gómez *et al.* (2023) reportaron imágenes de la estructura de las microfibras de la cascarilla del grano de cacao deshidratado de la variedad clon CCN 51 observándose una estructura rígida, homogénea presentando las fibras de lignocelulósica ya que estas brindan características resistentes a la cascarilla.

En la figura 15 se presentan las estructuras morfológicas mediante el análisis espectrofotometría de la cascarilla de cacao de los tratamientos horneados a 180 °C donde se puede observar que en las figuras (15c), (15d) y (15e) no muestran cambios estructurales en las cascarillas 45°C, 50°C y S. Sol y tienen mejor estructura las microfibrillas presentes en las cascarillas, mientras que en las figuras (15a) y (15b) puede notarse una estructura mucho más pequeña es evidente que influye los tratamientos que son expuestos.

Palacios Duchicela, (2019) indica que las microfibrillas se encuentran más separadas formando una red porosa y adheridos, con un espesor promedio de 5 micras, asociados a los componentes primarios de celulosa y lignina. Esto confirma los valores de los altos contenidos de celulosa y lignina, presentados en la composición química. Igualmente, en las micrografías se aprecia una estructura de microporos y una laminilla media, que divide a las pequeñas cascarillas entre sí y esto es evidente ya que el tamaño de la cascarilla ya sea entero o en molienda el tamaño no afecta las fibras de cascarilla.



**Figura 15. Microscopía de la cascarilla de cacao deshidratado a diferentes temperaturas: a) 35°C, b) 40°C, c) 45°C, d) 50°C, e) S. Sol tomadas a 1000x**

e) DETERMINAR LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE *THEOBROMA CACAO* L VARIEDAD FORASTERO EN DIFERENTES TEMPERATURAS DE DESHIDRATACIÓN 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. SOL Y HORNEADO A 180°C.

Los valores de la capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao bajo a las temperaturas de deshidratación, en la (figura 16) se presentan los polifenoles totales presentes en la cascarilla de cacao.

**Polifenoles**

El porcentaje de polifenoles totales presentes en la cascarilla, para el tratamiento 50°C se observa con el porcentaje más bajo con un valor promedio de 3.33%, para los tratamientos 40°C y S. Sol presentan un promedio de 4.82%, el tratamiento 35°C reporta un valor de 5.38%, para el tratamiento 45°C es indicado que es el más favorable debido al alto contenido del ácido gálico que presenta ya que su promedio es más alto con un valor de 7.61%, figura 16.

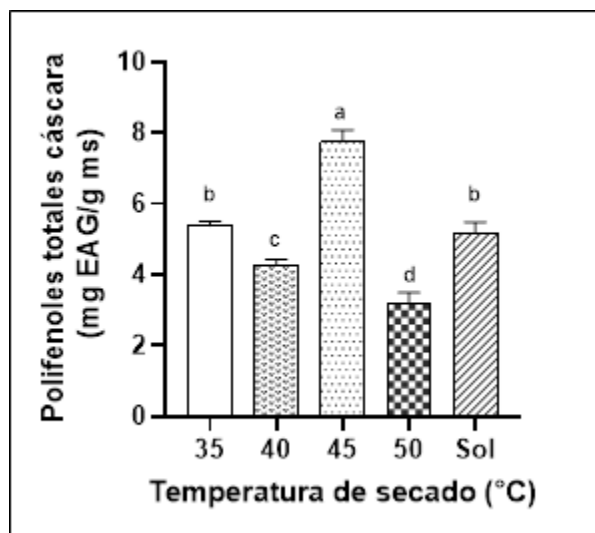


Figura 1. Polifenoles totales de la cascarilla de cacao deshidratado a 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. Sol



Tafurt Suarez *et al.*, (2020) reportaron que el contenido de polifenoles en la cascarilla de cacao deshidratado de la variedad CCN-51 fue un valor de 6.95% indicando que el contenido de polifenoles en la cascarilla de cacao es equivalente al porcentaje de ácido gálico debido a su alto contenido de polifenoles que es considerado como uno de los principales antioxidantes que se contribuyen como un alimento funcional.

## ABTS

Los resultados de las ABTS presentes en la cascarilla de cacao deshidratadas a las temperaturas ya mencionadas. Esta figura muestra el porcentaje de radicales ABTS presente en la cascarilla de cacao, para ello los tratamientos 35°C y 45°C obtienen un promedio de 66.21%, los tratamientos 40°C y 50°C se reporta un promedio de 41.90%, en el tratamiento S. Sol se encuentra un promedio de 55.34%, se indica que no hubo mucha diferencia en cuanto a los radicales libres que presenta la cascarilla, figura 17.

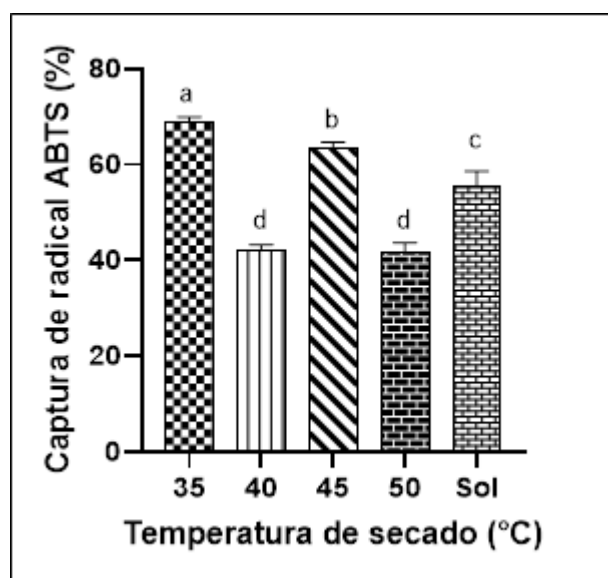
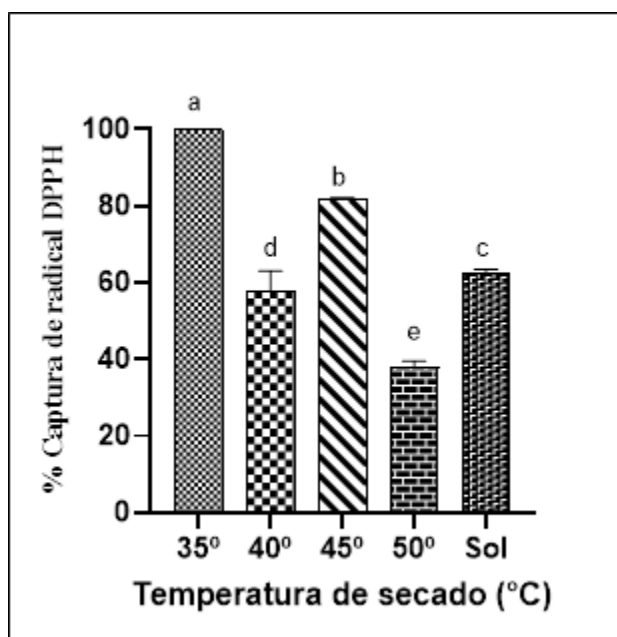


Figura 2. Radicales ABTS de la cascarilla de cacao deshidratado  
a 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. Sol

Burgos Briones *et al.*, (2020) reportaron que el contenido de las ABTS en las cascarillas de cacao deshidratadas a 50°C de la mezcla de cacao criollo y CCN-51 reportan un porcentaje de 46.17% a 50.871% mg/ estos valores son atribuidos ya que la cascarilla de cacao abarca compuestos activos como los taninos, antocianinas y proantocianidinas debido a su alta capacidad antioxidante.

## DPPH

Los resultados de las DPPH adheridas en la cascarilla de cacao y de esta manera se muestra el porcentaje de radicales de las APPH presentes en la cascarilla de cacao, el tratamiento 35°C indica que es el promedio más alto que presentan para los radicales libres de absorción de los compuestos tóxicos que pueden presentar con un promedio de 87.855%, para el tratamiento 45°C que presenta un promedio de 81.80% valor similar al tratamiento antes mencionado, el tratamiento 40°C con un valor promedio de 57.97%, mientras que el tratamiento 50°C fue el valor más bajo que se presentó con el promedio de 30.92% y s. Sol 62.45% figura 18.

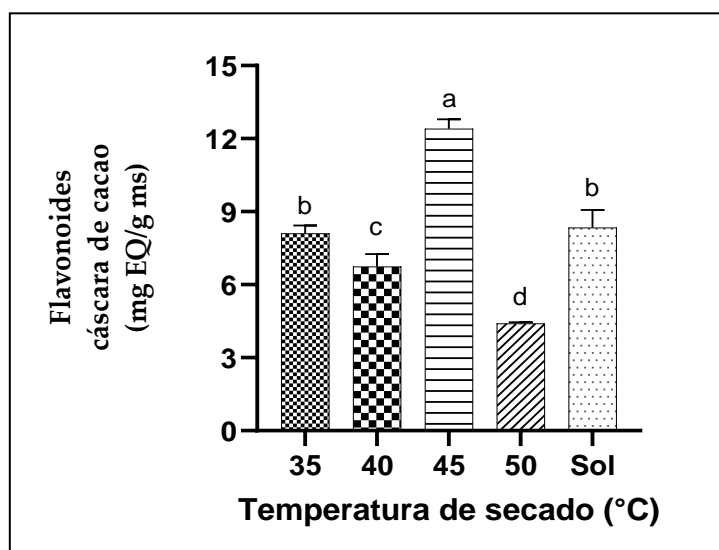


**Figura 3. Radicales DPPH en la cascarilla de cacao deshidratadas a 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. Sol.**

En un estudio realizado por Ordoñez Gómez (2018), reportó que la cascarilla de cacao tiene una alta capacidad antioxidante basado en la captura del radical DPPH. Los resultados mostraron que los extractos de la cascarilla de cacao tenían una actividad antioxidante significativa, con valores de 75.26% (concentración necesaria para inhibir el 50% del radical DPPH) en el rango de 0.4 a 1.0 mg/mL este parámetro indica una fuerte capacidad antioxidante, comparable con otros alimentos ricos en polifenoles.

### Flavonoides

Los porcentajes de flavonoides en cada uno de los tratamientos analizados. El contenido (%) de polifenoles se reportan un promedio de 8.54, 6.73, 12.40 y 4.35 para los tratamientos 35°C y S. Sol, 40°C, 45°C y 50°C, respectivamente, figura 19.

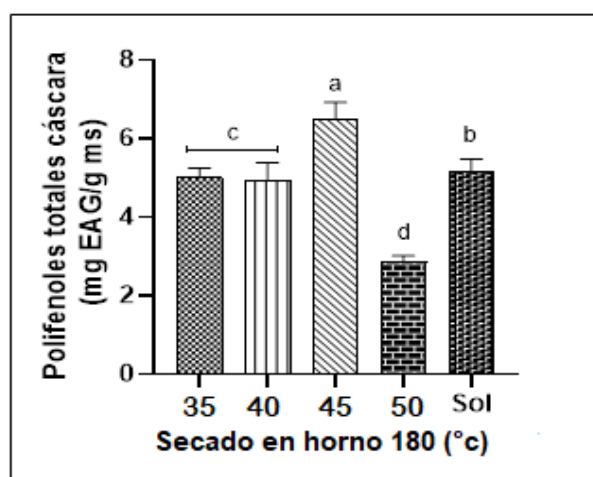


**Figura 4. Flavonoides de la cascarilla de cacao deshidratadas a 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, S. Sol**

Un estudio realizado por Ramos-Escudero *et al.*, (2010) encontró que la cascarilla de cacao deshidratado de la variedad CCN-51 contiene aproximadamente 10-15 mg de equivalentes de catequina por gramo de peso seco, que es un valor significativo y demuestra la riqueza de los flavonoides en la cascarilla de cacao.

### Polifenoles

La capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao de la variedad forastero horneado a 180 °C a las temperaturas de 35°C y 40°C, 45°C, 50°C y S. Sol, mostraron un valor promedio de 4.95%, 6.50%, 2.86% y 5.16% respectivamente, observándose que el tratamiento tratado a 50°C presento menos contenido de polifenoles, figura 20.

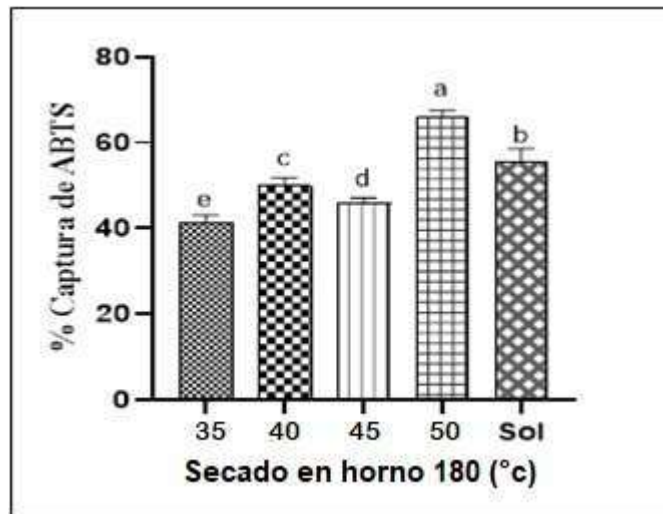


**Figura 20. Polifenoles totales en la cascarilla de cacao horneado a 180°C**

Casique Rojas (2012), identificó y cuantificó varios tipos de polifenoles en la cascarilla de cacao horneado reportando Ácido clorogénico con un valor de 5.7%, Ácido cafeico con 4.6% y ácido galico con un porcentaje de 5.28% y se esta manera se indican compuestos benéficos por sus fuertes propiedades antioxidantes.

## ABTS

Los resultados de las radicales ABTS de la cascarilla de cacao horneado muestran los promedios de 41.43%, 49.87%, 45.90%, 55.34% y 65.82% para los tratamientos de 35°C, 45°C, 40°C S. Sol, donde se observa claramente que el mejor tratamiento fue el 50°C debido a su alto contenido de los radicales libre que se generan, figura 21.



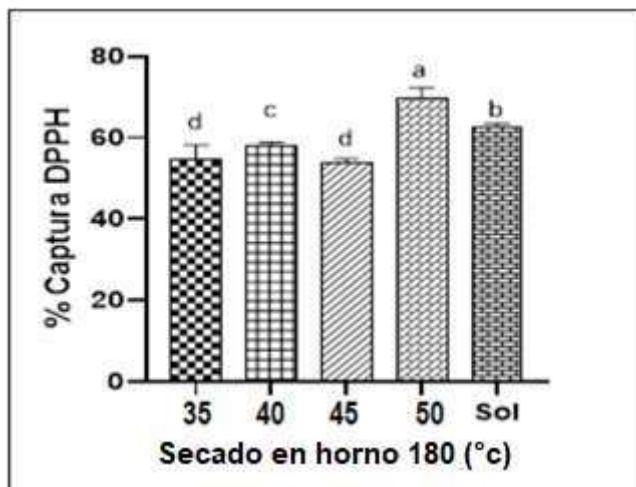
**Figura 21. Radicales ABTS en la cascarilla de cacao horneado a 180°C**

Según el estudio realizado por Álvarez *et al.*, (2012), la capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao horneado medida por el método ABTS se encuentra en el rango de 70-150  $\mu\text{mol}$  de equivalentes por gramo de peso seco este rango indica una alta capacidad antioxidante, lo que resalta la potencialidad de la cascarilla de cacao como fuente de antioxidantes naturales

## DPPH

Los radicales DPPH en la cascarilla de cacao horneado, para los tratamientos 35°C 40°C y 45°C presentaron un valor promedio de 55.53% respectivamente, mientras que el tratamiento a 50°C obtuvo el

valor más alto (69.81%), similar con el tratamiento que se expuso al sol (62.72%) esto indica que los tratamientos presentan radicales de absorción de compuestos tóxicos, figura 22.

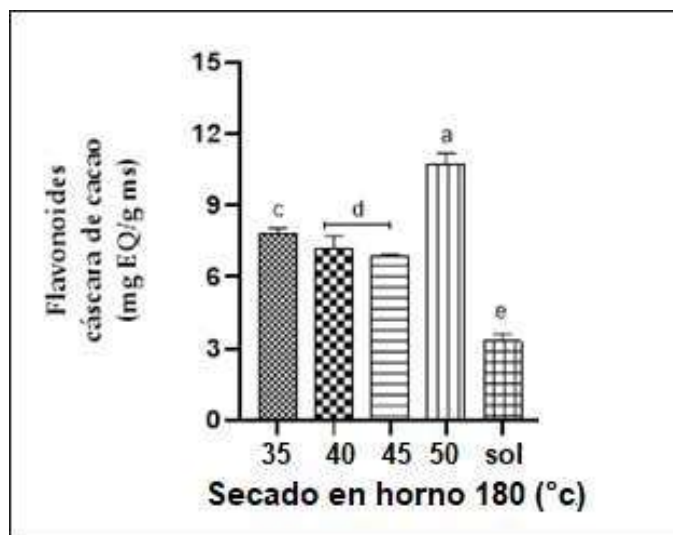


**Figura 22. Radicales DPPH en la cascarilla de cacao horneado a 180°C**

Zapata Bustamante *et al.* (2014), demostraron que la capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao horneado medida por el método DPPH es de aproximadamente 50-90% este parámetro demostró que la cascarilla de cacao tenía una capacidad antioxidante comparable, e incluso superior a otros subproductos de cacao, destacando su potencial uso en la industria alimentaria por su alto contenido en la capacidad antioxidante.

### Flavonoides

El contenido de los flavonoides (valor promedio) de la cascarilla de cacao horneado para los tratamientos 35°C y 40°C, 45°C, 50°C y S. Sol, fueron de 7.33%, 6.88%, 10.40% y 2.97% observándose que el contenido de flavonoides está presente de manera natural en las cascarillas de cacao a diferencia del tratamiento S. sol que obtuvo un valor por debajo de los tratamientos antes mencionados, figura 23.



**Figura 23. Flavonoides en la cascarilla de cacao horneado a 180°**

Zapata Bustamante *et al.* (2014), cuantificaron (%) la cantidad de catequinas (3.5), epicatequinas (2.4) y las proantocianidinas (4.6), lo cual indica que la cascarilla de cacao horneado es una fuente rica de compuestos que poseen propiedades antioxidantes fuertes y beneficios para la salud.

## CONCLUSIONES

Las cascarillas de cacao horneadas mostraron los mejores resultados de un color marrón oscuro, lo que se evidencio positivamente en la luminosidad para los tratamientos HSS, H35 y H40 con un valor promedio de  $48.95 \pm 0.88$ , este color favorece tanto el aroma como el sabor del cacao.

Las temperaturas de tostado influyeron significativamente en el análisis químico-proximal (humedad, cenizas, lípidos, proteína y fibra cruda), observándose que tratamiento H35 presentó el contenido proteico mayor y esto permite tener conocimiento del porcentaje nutricional que la cascarilla del grano de cacao brinda y que puede ser aprovechadas en la industria alimentaria en la elaboración de diversos productos.

Con la técnica de FTIR se identificó la presencia de grupos funcionales como aldehídos, lípidos, carbohidratos y glucósidos tanto en las cascarillas de cacao hornadas y deshidratadas.

Los resultados de la microscopia electrónica mostraron la morfología, el tamaño y grosor de la cascarilla de cacao proporcionando información que complementa una idea general de la calidad del alimento terminado para dar cumplimiento a la formulación nutricional del producto y los procesos en cuanto a la seguridad alimentaria.

El alto potencial antioxidante en la cascarilla de cacao se convierte en un valioso subproducto para la industria alimentaria debido a su rica composición en compuestos bioactivos y polifenoles no solo ofrece beneficios nutricionales, sino que también puede mejorar la calidad y estabilidad de otros productos alimenticios.



## RECOMENDACIONES

- Ampliar el estudio de la harina de cascarilla de cacao para ofrecer un aprovechamiento mayor en la elaboración de un alimento funcional.
- Determinar el efecto del contenido de polifenoles sobre la degradabilidad tanto *in-vitro* como *in-vivo* de la fibra dietaria de la cascarilla de cacao.
- Determinar la concentración de celulosa, lignina y pectina, principalmente, debido a que son componentes que brindan resistencia a la cáscara y por consecuencia al biocomposito.

## GLOSARIO

**Alcaloide:** Compuesto orgánico nitrogenado de metabolitos secundarios producido casi exclusivamente por vegetales.

**Antioxidante:** Es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas.

**Antioxidante enzimático:** Proteínas celulares que eliminan catalíticamente los radicales o especies reactivas para proteger contra el estrés oxidativo.

**Antioxidante no enzimático:** Éste puede actuar no solo como un eliminador independiente de oxidantes

**Antocianinas:** son un grupo de pigmentos vegetales solubles en agua, presentes en vegetales y frutas y en muchos casos son las responsables de su color.

**Compuestos bioactivos:** Componentes de los alimentos que influyen en las actividades celulares y fisiológicas obteniendo, tras su ingesta, un efecto beneficioso para la salud.

**Catequina:** Son un componente de algunos alimentos procedentes de la familia de los flavonoides. Se trata de una enorme fuente de antioxidantes

**CBS:** Es el subproducto que se obtiene después del proceso de tostado y descascarillado de los granos de cacao

**Espectros:** Distribución espectrales (líneas de emisión o absorción) asociadas con los electrones de un átomo o molécula cuando absorben o emiten energía.

**Enzimas:** Es un catalizador biológico de una proteína que acelera la velocidad de una reacción química específica en la célula

**Estigmasterol:** Es un ácido graso insaturado esteroide que aparece en las grasas o aceites

**Nibs:** Son la parte interior del grano de cacao después de haber sido descascarillado y seco.

## REFERENCIAS DOCUMENTALES

- Álvarez Abad, K., & Quilumba Ayala, F. (2018). Facultad de Ingeniería Química Carrera Licenciatura en Gastronomía. *Aprovechamiento de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao L.) para la elaboración de polvo y sus usos culinarios.*
- Aldas Morejon, J., Otero Tuarez, V., Revilla Escobar, K., Carrillo Pisco, M., & Sánchez Aguilera, D. (2023). Incidencia del tostado sobre las características fisicoquímicas y alcaloides de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao) y su efecto en las propiedades organolépticas de una infusión. *Agroindustrial Science.*
- Álvarez J, A., Pérez M, J., & Hernández, F. (2012). valoración de la capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao mediante el método ABTS. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 121-129.
- Andrade-Almeida , J., Rivera-García, J., Chire-Fajardo, G. C., & Ureña-Peralta, M. O. (2019). Enfoque UTE, V.10-N.4. *Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) de Ecuador y Perú*, 1-12.
- Anfab. (2014). Asociación Nacional de Fabricantes de Alimentos y Bebidas. Obtenido de <http://anfab.com/wp/wp-content/uploads/2015/03/Material-Educativo-Etiquetado.pdf>
- Arreaga Chévez, A. A. (2019). Identificación del perfil fenólico del mucilago y cascarilla de cacao (Theobroma de cacao L) de las variedades CCN-51 Y NACIONAL. *Facultad de Ciencias Pecuarias Carrera de Ingeniería en Alimentos.*
- Assa, dw, A., D, I., & Al, S. (2019). Contenidos minerales en cáscaras de frijol fermentado de Forastero-cacao (Theobroma cacaoL.)

clones. *Serie de conferencias IOP: Ciencias ambientales y de la tierra.*

- Baena, L. M. (2012). Obtención y caracterización de fibra dietética a partir de cascarilla de la semilla tostadas de *Theobroma cacao* L. de una industria chocolatera Colombiana. *Universidad Tecnológica De Pereira Facultad De Tecnologías Escuela De Químicas Pereira.*
- Baldera Ocampo, J. F., Granda Santos, M. S., & Chavez Quintana, S. G. (2021). Capacidad antioxidante y polifenoles totales de infusión de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) y macambo (*Theobroma bicolor*). 13-19.
- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.*
- Barbosa-Pereira, L., Rojo-Poveda, V. A., & onvehi, J. (2019). Conjunto de datos analíticos sobre compuestos volátiles de cáscaras de granos de cacao de diferentes cultivares y orígenes geográficos. *Evaluación de la composición de desechos agroindustriales seleccionados como fuentes valiosas para la recuperación de carbohidratos complejos*
- Belwal, T., Cravotto, C., Ramola, S., Thakur, M., Chemat, F., & Cravotto, G. (2022). Compuestos Bioactivos de la Cáscara de Cacao: Extracción, Análisis y Aplicaciones en la Cadena Productiva de Alimentos. *Alimentos.*
- Botella-Martínez, C., Lucas-González, R., Ballester-Costa, C., Pérez-Álvarez, J., Fernández- López, J., Delgado-Ospina, J., . . . Viuda-Martos, M. (2021). Agronomía. *Cacao de Ghana (Theobroma cacaoL.) Coproductos de cáscaras de frijol: efecto del tamaño de las partículas sobre la composición química, el contenido de compuestos*

Burgos Briones, G., Alcívar Cedeño, U., Suárez Menéndez, A., & Zambrano Acosta, A. (2020). Ebaluación técnica del enriquecimiento de harina de trigo con cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios* ISSN: 2313-7819.

Cárdenas Ron, D. L., & Quimis Burgos, R. C. (2020). Aplicación de la cascarilla del cacao (*Theobroma Cacao* L.) en la elaboración de pastas frescas de corte largo (tallarín) y corto (plumita). *Universidad de Guayaquil Facultad De Ingeniería Química*.

Cardona, M., D Sorza, J., L Posada, S., C Carmona, J., & A Ayala, S. (2002). Rev, Col Cientc Pec Vol 5. 12. *Establecimiento de una base de datos para la elaboración detablas de contenido nutricional de alimentos para animales*.

Casique Rojas, C. (2012). Determinación del contenido de polifenoles totales, antiocianinas y capacidad antioxidante en alimetos preparados con licor y polvo de cacao. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*.

Castillo , E., Alvarez, C., & Contreras, Y. (2018). Caracterización fisicoquímica de la cáscara del fruto de un clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) cosechados en Caucaagua, estado Miranda. *Universidad Pedagógica Experimental Libertador Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela*.

Chico, M. F. (2022). Valorización de los residuos de cacao: aplicaciones y perspectivas en la industria alimentaria. *Revista Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 2022: Vol. 29 - 2.

- Ciprián Jiménez, M. (2020). Aplicación de la cáscara del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) como fuente de flavonoides en productos a base de cereales. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras*.
- Coronel Álvarez, Z. J. (2021). Determinación de la actividad antioxidante de la cascarilla de cacao (*Theobromaa cacao* L.) provenientes de la variedades CCN-51 y nacional por distintos métodos. *Universidad Técnica Estatal De Quevedo Facultad de Ciencias Pecuarias*.
- Delgado Ospina, J., Di Mattia, C. D., Paparella, A., Mastrocola, D., Martuscelli, M., y Chaves- López, C. (2020). Efecto de fermentación, secado y tostado sobre aminas biogénicas y otros biocompuestos en granos y cáscaras de cacao criollo colombiano. *Alimentos*.
- Díaz Oviedo , A. F., Ramón-Valenia, B. A., & Moreno-Contreras, G. G. (2021). Caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 97-106.
- Domínguez-Pérez, L. A., Lagunes-Gálvez, L. M., Barajas-Fernández, J., Olán-Acosta, M., García-Alamilla, R., y García-Alamilla, P. (2019). Caracterización vibracional de grupos funcionales en granos de cacao durante el tostado usando espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier. *Aniversitaria* 29, e2172, 1-17.
- Erik Vivanco Carpio, L. M. (2017). Caracterización físico-química de la cascarilla de *Theobroma cacao* L, variedades Nacional y CCN-51.

- Escobar Coello, W. M. (2017). Diseño de una bebida de tomate de árbol con inclusión de cascarilla de cacao. *Unidad académica de ciencias químicas y de la salud*.
- Garay Vega, R. R. (2019). Universidad Nacional De Ucayali Facultad De Ciencias Agropecuarias. *Influencia de la temperatura de tostado en la capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao L) CLON CCN-51 aprovechado para elaborar filtrantes*.
- Gavica Contreras, W. (2016). Validación de la determinación de los ácidos fenólicos presentes en la infusión de cascarilla en la semilla de cacao (*Theobroma cacao* L) por el equipo de electroforesis capilar. *Facultad de Ciencias Químicas*.
- Grillo, G., Boffa, L., Binello, A., Mantegna, S., Cravotto, G., Chemat, F., . . . Telysheva, G. (2018). Conjunto de datos analíticos de cáscaras y granos de cacao ecuatoriano. *Departamento de Tecnología, Universidad de Turín*.
- Guamán Gualli, C. (2021). La harina de cascarilla de cacao en la alimentación de cuyes. *Escuela superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Pecuarias*.
- Gutiérrez Pulido, H., & De La Vera Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimento. *México: McGraw-Hill*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación. *Docencia Universitaria, Volumen 11*, 169- 172.
- Herrera-Rengifo, J. D., Villa-Prieto, L., Olaya-Cabrera, A. C., & García-Alzate, L. S. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista IÓN*, 25-34.



- Jokić, E., Gagić, T., Knez, Z., Škerget, M., y Subarić, D. (2018). Separación de compuestos activos de subproductos alimentarios (cáscara de cacao) mediante extracción con agua subcrítica. *Moléculas*.
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, Á., & Arrieta, A. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Universidad del Valle Colombia*, 111-122.
- Lecumberri, E., Mateo, R., Ramos, S., Alía, M., Rúperez, P., Goya, L., y Bravo, L. (2006). Alimentos funcionales. *Caracterización de la fibra de cacao y su efecto sobre la capacidad antioxidante en suero de animales de experimentación*, 22-28.
- Loor Intriago, M. L. (2020). Contenido de vitaminas C, polifenoles y flavonoles totales en dos variedades de cacao (*Theobroma cacao* L): Nacional y CCN.51. *Universidad Técnica Estatal De Quevedo Facultad De Ciencias Pecuarias*.
- López López, P. C. (2013). Elaboración de compost a partir de cascarilla de cacao. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacia*.
- María, S. A. (2009). Análisis de alimentos mediante Microscopía. *V Curso de producción de la carne y alimentación humana*.
- Marín, V. A. (2019). Extracción y caracterización de los flavonoides obtenidos de la cáscara del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.) para su valorización. *Universidad de Costa Rica Facultad de Ciencias Agroalimentarias*.
- Martínez, C. S., Salvadora, A., Murguerzab, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Ciencia Y Tecnología de los Alimentos. *Fibra de cacao y su aplicación como sustituto de grasa en mufints de grasa*, 729-736.

- Maruja, T. N. (2014). Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en la cáscarilla de granos de cacao (*Theobroma cacao* L) tostado y elaboración de un filtrante. *Universidad Nacional Agraria de la selva Facultad de Industrias Alimentarias*.
- Mathias-Rettig, K., y Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 57-66.
- Montoya Gómez, D. C., & Benavides Portela, Y. T. (2023). Transformación del cacao (*Theobroma cacao* L): una tendencia vanguardista. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD*.
- Morejón, L. R., Vera Chang , J., Vallejo Torres , C., Morales Rodríguez , W., Díaz Ocampo, R., y Alvarez Aspiazú , A. (2018). Valor nutricional de la placenta deshidratada de cacao (*Theobroma cacao* L.) nacional, para la elaboración de barras nutricionales. *REVISTA 5-11*, 57-62. ISSN 2395-8510.
- Muñoz Mendoza, G. M. (2021). Aprovechamiento de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad trinitario (CCN-51) en la elaboración de licor cremoso artesanal. *Uleam*.
- Murillo Baca, S. M. (2018). Universidad Nacional Federico Villareal. *Características Fisicoquímicas sensoriales y compuestos bioactivos de galletas dulces elaboradas con harina de cáscara de cacao*.
- Navia Orcés, A. A., y Pazmiño Piedra, N. V. (2012). Mejoramiento de las Características Sensoriales del Cacao CCN51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación. *Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción*.

- Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., y Villagomez Páucar, A. (2014). Cuantitativa - Cualitativa y redacción de la tesis. *Metodología de la investigación -- 4a. Edición. Bogotá: Ediciones de la U*, 538.
- Ordoñez Choez, S. E., Vera Chang, J. F., & Tigselema Zambrano, S. M. (2019). Cascarilla de cacao (*theobroma cacao* l.) De líneas híbridas para la elaboración de rehiletes de chocolate. *Universidad y Sociedad vol.11 no.2 Cienfuegos*.
- Ordoñez Gómez, E. S. (2018). Actividad antioxidante y polifenoles totales de infusiones comerciales de la cascarilla de cacao. *Investigación y Amazonía*, 26-39.
- Palacios Duchicela, R. H. (2019). Universidad Técnica de Ambato. *Producción de biofilm a partir de Komagataeibacter xylinus, utilizando diferentes residuos agroindustriales*.
- Panak Balentić, J., DJtuDJica , A., Joki, E., Jozinovic, A., Babić, J., Miličević, B., . . . Pavlovic, N.(2018). Cáscara de cacao: un subproducto con gran potencial para una amplia aplicación.
- Pancardo Lagunas, A. (2016). Efecto del procesamiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la capacidad antioxidante durante la obtención de licor y cocoa. *Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias Basicas*.
- Pantoja Salazar, C. D. (2014). Deshidratación de la cáscara de cacao (*Theobroma de cacao* L) para la elaboración de Té, ute Santo Domingo. *Universidad Tecnológica Equinoccial*.
- Peña Flores, A. C. (2021). Comparación de la fibra dietética obtenida de la mazorca y cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao* L. *Universidad Nacional De Piura Facultad de*

- Peralta Ortiz, L. M. (2019). Elaboración de una bebida láctea a base de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Universidad Estatal Amazónica departamento de Ciencias de la tierra.*
- Ramírez Gómez, L. M. (2020). Diseño de un producto horneado adicionado con fibra dietaria proveniente de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Universidad Nacional de Colombia.*
- Ramírez Sulvarán, J. A., Sigarroa Rieche, A. K., y Del Valle Varga, R. A. (2013). Caracterización de los Sistemas de Producción de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Departamento de Norte de Santander y evaluación de su sostenibilidad. *Centro de Investigación y Fomento del cacao CIFCA.*
- Ramos-Escudero, F., Muñoz A, M., Alvarado, L., & Vásquez F, F. (2010). Composición y actividad antioxidante de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencia y Tecnología*, 121-129.
- Rey Tobar, G. M., y Cedeño Basurto, H. B. (2022). Influencia de la cascarilla de cacao y edulcorante natural en el contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante de una infusión. *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.*
- Rochina Rochina, D. M. (2021). Utilización de la fibra de cascarilla de cacao en la industria alimentaria. *Esuela Superior Politécnica de Chimborazo.*
- Rojas González, L. M. (2019). Aprovechamiento de la cáscara de cacao para la elaboración de un biocomposito con aplicación en la contrucción sostenible. *Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería Ambiental*

- Rojo Poveda, O., Barbosa Pereira, L., Zepa, G., y Carolinamiviñeta, C. (2020). Nutrientes. *Cáscara de Grano de Cacao: Un Subproducto con Propiedades Nutricionales y Potencial Biofuncional*.
- Salinas Tuanama, L. R. (2018). Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) en polvo sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en muffins. *Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingenierías en Industrias Alimentarias*.
- Sánchez Campuzano, V. A. (2007). Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencias Agrarias*, 93.
- Sanchez Chica, Y. L. (2018). Adsorción de arsénico y antimonio en soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignoselulósica de cascara de cacao. *Ingeniería Química*.
- Álvarez Abad, K., & Quilumba Ayala, F. (2018). Facultad de Ingeniería Química Carrera Licenciatura en Gastronomía. Aprovechamiento de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) para la elaboración de polvo y sus usos culinarios.
- Aldas Morejon, J., Otero Tuarez, V., Revilla Escobar, K., Carrillo Pisco, M., & Sánchez Aguilera, D. (2023). Incidencia del tostado sobre las características fisicoquímicas y alcaloides de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) y su efecto en las propiedades organolépticas de una infusión. *Agroindustrial Science*.
- Álvarez J, A., Pérez M, J., & Hernández, F. (2012). valuación de la

capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao mediante el método ABTS. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 121-129.

Andrade-Almeida , J., Rivera-García, J., Chire-Fajardo, G. C., & Ureña-Peralta, M. O. (2019). Enfoque UTE, V.10-N.4. Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú, 1-12.

Anfab. (2014). Asociación Nacional de Fabricantes de Alimentos y Bebidas. Obtenido de <http://anfab.com/wp/wp-content/uploads/2015/03/Material-Educativo-Etiquetado.pdf>

Arreaga Chévez, A. A. (2019). Identificación del perfil fenólico del mucilago y cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) de las variedades CCN-51 Y NACIONAL. Facultad de Ciencias Pecuarias Carrera de Ingeniería en Alimentos.

Assa, dw, A., D, I., & Al, S. (2019). Contenidos minerales en cáscaras de frijol fermentado de Forastero-cacao (*Theobroma cacao* L.) clones. Serie de conferencias IOP: Ciencias ambientales y de la tierra.

Baena, L. M. (2012). Obtención y caracterización de fibra dietética a partir de cascarilla de la semilla tostadas de *Theobroma cacao* L. de una industria chocolatera Colombiana. Universidad Tecnológica De Pereira Facultad De Tecnologías Escuela De Químicas Pereira.

Baldera Ocampo, J. F., Granda Santos, M. S., & Chavez Quintana, S. G. (2021). Capacidad antioxidante y polifenoles totales de infusión de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*) y macambo (*Theobroma bicolor*). 13-19.

- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.
- Barbosa-Pereira, L., Rojo-Poveda, V. A., & Onvehi, J. (2019). Conjunto de datos analíticos sobre compuestos volátiles de cáscaras de granos de cacao de diferentes cultivares y orígenes geográficos. Evaluación de la composición de desechos agroindustriales seleccionados como fuentes valiosas para la recuperación de carbohidratos complejos.
- Belwal, T., Cravotto, C., Ramola, S., Thakur, M., Chemat, F., & Cravotto, G. (2022). *Compuestos Bioactivos de la Cáscara de Cacao: Extracción, Análisis y Aplicaciones en la Cadena Productiva de Alimentos*. Alimenos.
- Botella-Martínez, C., Lucas-González, R., Ballester-Costa, C., Pérez-Álvarez, J., Fernández-López, J., Delgado-Ospina, J., . . . Viuda-Martos, M. (2021). *Agronomía. Cacao de Ghana (Theobroma cacao L.) Coproductos de cáscaras de frijol: efecto del tamaño de las partículas sobre la composición química, el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante*.
- Burgos Briones, G., Alcívar Cedeño, U., Suárez Menéndez, A., & Zambrano Acosta, A. (2020). Ebaluación técnica del enriquecimiento de harina de trigo con cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios* ISSN: 2313-7819.
- Cárdenas Ron, D. L., & Quimis Burgos, R. C. (2020). Aplicación de la cascarilla del cacao (*Theobroma Cacao* L.) en la elaboración de pastas frescas de corte largo (tallarín) y corto (plumita). Universidad de Guayaquil Facultad De Ingeniería Química.

- Cardona, M., D Sorza, J., L Posada, S., C Carmona, J., & A Ayala, S. (2002). Rev, Col Ciente Pec Vol 5. 12. Establecimiento de una base de datos para la elaboración de tablas de contenido nutricional de alimentos para animales.
- Casique Rojas, C. (2012). Determinación del contenido de polifenoles totales, antiocianinas y capacidad antioxidante en alimentos preparados con licor y polvo de cacao. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Castillo , E., Alvarez, C., & Contreras, Y. (2018). Caracterización físico-química de la cáscara del fruto de un clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) cosechados en Caucagua, estado Miranda. Universidad Pedagógica Experimental Libertador Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela.
- Chico, M. F. (2022). Valorización de los residuos de cacao: aplicaciones y perspectivas en la industria alimentaria. Revista Alimentos, Ciencia e Ingeniería, 2022: Vol. 29 - 2.
- Ciprián Jiménez, M. (2020). Aplicación de la cáscara del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) como fuente de flavonoides en productos a base de cereales. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Coronel Álvarez, Z. J. (2021). Determinación de la actividad antioxidante de la cascarilla de cacao (*Theobromaa cacao* L.) provenientes de la variedades CCN-51 y nacional por distintos métodos. Universidad Técnica Estatal De Quevedo Facultad de Ciencias Pecuarias.
- Delgado Ospina, J., Di Mattia, C. D., Paparella, A., Mastrocola, D., Martuscelli, M., y Chaves-López, C. (2020). Efecto de fermentación, secado y tostado sobre aminas biogénicas y



otros biocompuestos en granos y cáscaras de cacao criollo colombiano. Alimentos.

Díaz Oviedo , A. F., Ramón-Valenia, B. A., & Moreno-Contreras, G. G. (2021). Caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 97-106.

Domínguez-Pérez, L. A., Lagunes-Gálvez, L. M., Barajas-Fernández, J., Olán-Acosta, M., García-Alamilla, R., y García-Alamilla, P. (2019). Caracterización vibracional de grupos funcionales en granos de cacao durante el tostado usando espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier. *Aniversitaria* 29, e2172, 1-17.

Erik Vivanco Carpio, L. M. (2017). Caracterización físico-química de la cascarilla de *Theobroma cacao* L, variedades Nacional y CCN-51.

Escobar Coello, W. M. (2017). Diseño de una bebida de tomate de árbol con inclusión de cascarilla de cacao. Unidad académica de ciencias químicas y de la salud.

Garay Vega, R. R. (2019). Universidad Nacional De Ucayali Facultad De Ciencias Agropecuarias. Influencia de la temperatura de tostado en la capacidad antioxidante de la cascarilla de cacao (*Theobroma de cacao* L) CLON CCN-51 aprovechado para elaborar filtrantes.

Gavica Contreras, W. (2016). Validación de la determinación de los ácidos fenólicos presentes en la infusión de cascarilla en la semilla de cacao (*Theobroma cacao* L) por el equipo de electroforesis capilar. Facultad de Ciencias Químicas.

- Grillo, G., Boffa, L., Binello, A., Mantegna, S., Cravotto, G., Chemat, F., . . . Telysheva, G. (2018). Conjunto de datos analíticos de cáscaras y granos de cacao ecuatoriano. Departamento de Tecnología, Universidad de Turín.
- Guamán Gualli, C. (2021). La harina de cascarilla de cacao en la alimentación de cuyes. Escuela superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Pecuarias.
- Gutiérrez Pulido, H., & De La Vera Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimento*. México: McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación. *Docencia Universitaria*, Volumen 11, 169- 172.
- Herrera-Rengifo, J. D., Villa-Prieto, L., Olaya-Cabrera, A. C., & García-Alzate, L. S. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista IÓN*, 25-34.
- Jokić, E., Gagić, T., Knez, Z., Škerget, M., y Subarić, D. (2018). Separación de compuestos activos de subproductos alimentarios (cáscara de cacao) mediante extracción con agua subcrítica. *Moléculas*.
- Lara, J., Tejada, C., Villabona, Á., & Arrieta, A. (2016). Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao. *Universidad del Valle Colombia*, 111-122.
- Lecumberri, E., Mateo, R., Ramos, S., Alía, M., Rúperez, P., Goya, L., y Bravo, L. (2006). Alimentos funcionales. Caracterización de la fibra de cacao y su efecto sobre la capacidad antioxidante en suero de animales de experimentación, 22-28.
- Loor Intriago, M. L. (2020). Contenido de vitaminas C, polifenoles y

flavonoles totales en dos variedades de cacao (*Theobroma cacao* L): Nacional y CCN.51. Universidad Técnica Estatal De Quevedo Facultad De Ciencias Pecuarias.

López López, P. C. (2013). Elaboración de compost a partir de cascarilla de cacao. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacia.

María, S. A. (2009). Análisis de alimentos mediante Microscopía. V Curso de producción de la carne y alimentación humana.

Marín, V. A. (2019). Extracción y caracterización de los flavonoides obtenidos de la cáscara del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.) para su valorización. Universidad de Costa Rica Facultad de Ciencias Agroalimentarias.

Martínez, C. S., Salvadora, A., Murguerzab, B., Moulay, L., & Fiszman, S. M. (2011). Ciencia Y Tecnología de los Alimentos. Fibra de cacao y su aplicación como sustituto de grasa en mufints de grasa, 729-736.

Maruja, T. N. (2014). Compuestos bioactivos y capacidad antioxiante en la cáscarilla de granos de cacao (*Theobroma cacao* L) tostado y elaboración de un filtrante. Universidad Nacional Agraria de la selva Facultad de Industrias Alimentarias.

Mathias-Rettig, K., y Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 57-66.

Montoya Gómez, D. C., & Benavides Portela, Y. T. (2023). Transformación del cacao (*Theobroma cacao* L): una tendencia vanguardista. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.

Morejón , L. R., Vera Chang , J., Vallejo Torres , C., Morales Rodríguez , W., Díaz Ocampo, R., y Alvarez Aspiazu , A.

- (2018). Valor nutricional de la placenta deshidratada de cacao (*Theobroma cacao* L.) nacional, para la elaboración de barras nutricionales. REVISTA 5–11, 57-62. ISSN 2395-8510.
- Muñoz Mendoza, G. M. (2021). Aprovechamiento de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad trinitario (CCN-51) en la elaboración de licor cremoso artesanal. Uleam.
- Murillo Baca, S. M. (2018). Universidad Nacional Federico Villareal. Características Fisicoquímicas sensoriales y compuestos bioactivos de galletas dulces elaboradas con harina de cáscara de cacao.
- Navia Orcés, A. A., y Pazmiño Piedra, N. V. (2012). Mejoramiento de las Características Sensoriales del Cacao CCN51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
- Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., y Villagomez Páucar, A. (2014). Cuantitativa - Cualitativa y redacción de la tesis. Metodología de la investigación -- 4a. Edición. Bogotá: Ediciones de la U, 538.
- Ordoñez Choez, S. E., Vera Chang, J. F., & Tigselema Zambrano, S. M. (2019). Cascarilla de cacao (*theobroma cacao* l.) De líneas híbridas para la elaboración de rehiletes de chocolate. Universidad y Sociedad vol.11 no.2 Cienfuegos.
- Ordoñez Gómez, E. S. (2018). Actividad antioxidante y polifenoles totales de infusiones comerciales de la cascarilla de cacao. Investigación y Amazonía, 26-39.
- Palacios Duchicela, R. H. (2019). Universidad Técnica de Ambato. Producción de biofilm a partir de *Komagataeibacter xylinus*,

utilizando diferentes residuos agroindustriales.

- Panak Balentić, J., DjituDjica, A., Joki, E., Jozinovic, A., Babić, J., Miličević, B., . . . Pavlovic, N. (2018). Cáscara de cacao: un subproducto con gran potencial para una amplia aplicación.
- Pancardo Lagunas, A. (2016). Efecto del procesamiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la capacidad antioxidante durante la obtención de licor y cocoa. Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias Basicas.
- Pantoja Salazar, C. D. (2014). Deshidratación de la cáscara de cacao (*Theobroma de cacao* L) para la elaboración de Té, ute Santo Domingo. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Peña Flores, A. C. (2021). Comparación de la fibra dietética obtenida de la mazorca y cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao* L. Universidad Nacional De Piura Facultad de Ingeniería Agroindustrial.
- Peralta Ortiz, L. M. (2019). Elaboración de una bebida láctea a base de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). Universidad Estatal Amazónica departamento de Ciencias de la tierra.
- Ramírez Gómez, L. M. (2020). Diseño de un producto horneado adicionado con fibra dietaria proveniente de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). Universidad Nacional de Colombia.
- Ramírez Sulvarán, J. A., Sigarroa Rieche, A. K., y Del Valle Varga, R. A. (2013). Caracterización de los Sistemas de Producción de Cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Departamento de Norte de Santander y evaluación de su sostenibilidad. Centro de Investigación y Fomento del cacao CIFCA.
- Ramos-Escudero, F., Muñoz A, M., Alvarado, L., & Vásquez F, F.

- (2010). Composición y actividad antioxidante de la cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Ciencia y Tecnología*, 121-129.
- Rey Tobar, G. M., y Cedeño Basurto, H. B. (2022). Influencia de la cascarilla de cacao y edulcorante natural en el contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante de una infusión. *Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí*.
- Rochina Rochina, D. M. (2021). Utilización de la fibra de cascarilla de cacao en la industria alimentaria. *Esuela Superior Poliécnica de Chimborazo*.
- Rojas González, L. M. (2019). Aprovechamiento de la cáscara de cacao para la elaboración de un biocomposito con aplicación en la contrucción sostenible. *Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería Ambiental*.
- Rajo Poveda, O., Barbosa Pereira, L., Zepa, G., y Carolinamiviñeta, C. (2020). Nutrientes. Cáscara de Grano de Cacao: Un Subproducto con Propiedades Nutricionales y Potencial Biofuncional.
- Salinas Tuanama, L. R. (2018). Efecto de la sustitución de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) en polvo sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en muffins. *Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingenierías en Industrias Alimentarias*.
- Sánchez Campuzano, V. A. (2007). Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencias Agrarias*, 93.
- Sanchez Chica, Y. L. (2018). Adsorción de arsénico y antimonio en

soluciones acuosas mediante aplicación de biomasa lignocelulósica de cascara de cacao. Ingeniería Química.

Sangronis, E., Soto, M. J., Valero, Y., y Buscema, I. (2014). Cascarilla de cacao venezolano como materia prima de infusiones. Archivos Latinoamericanos de Nutrición.

Soto Pereira, M. J. (2012). Desarrollo del proceso de producción de cascarillas de semilla de cacao en polvo destinada al consumo humano. Universidad Simón Bolívar Decanato de Estudios Profesionales Coordinación de Ingeniería Química.

Tafurt, G., Suarez, O., Álvarez, C., y Liconte, N. (2020). Capacidad antioxidante de cáscara de los de granos de cacao orgánico. 1-6.

Tamayo Tamayo, M. (2003). El proceso de la investigación científica.

Tapia Yáñez, C. A. (2015). Aprovechamiento de residuos agroindustriales, cascarilla de cacao *Theobroma cacao* L.) variedad arriba y CCN51 para la elaboración de una infusión. Universidad técnica de Ambato Facultad de ciencias e ingeniería en alimentos carrera en ingeniería en alimentos .

Teneda Llerena, A.-H. K.-M. (2018). Utilización de residuos agroindustriales, cascarilla de cacao (*theobroma cacao*. Caracterización de una infusión de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L., var. Arriba) con hierbas aromáticas.

Tovar Sarmiento, J. P. (2022). Evaluación del reemplazo de grasa en la formulación de un pan tostado con la adición de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L). Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería, Cali.

Valbuena Coca , D. A., y Serrano Acevedo, C. A. (2018). Aprovechamiento de la cascarilla de cacao para o de

la cascarilla de cacao para la generación de un producto derivado en la Asociación de Productores Orgánicos del Municipio de Dibulla (APOMD). Ciencia Unisalle.

Vera Rodríguez, J. H., Jiménez Murillo, W. J., Naula Mejía, M. C., Villa Cárdenas, U. J., Zaruma Quito, F. A., Montecé Maridueña, G. Y., . . . Astudillo Ludizaca, C. M. (2021). Residuos de la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) como alternativa alimenticia para rumiantes. *Revista Colombiana Cienc Anim.* Recia 13(2):e839.

Vera Romero, J. M., y Castellanos Suarez, L. J. (2022). Evaluación de características colorimétricas y fisicoquímicas en licores de cacao variedades santander. *Limentech Ciencia y Tecnología de Alimentaria*, 66-76.

Villamizar-Jaimes, A. R., y López-Giraldo, L. J. (2016). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. 75-83.

Villanueva Duran, D. M., y Serna Ponce, J. D. (2015). Universidad Nacional Hermilio Valdizán Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela académico profesional de Ingeniería Agroindustrial. Determinación de los parámetros óptimos en la obtención de una bebida funcional a partir de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su nivel de aceptación comercial en la ciudad de Huánuco.

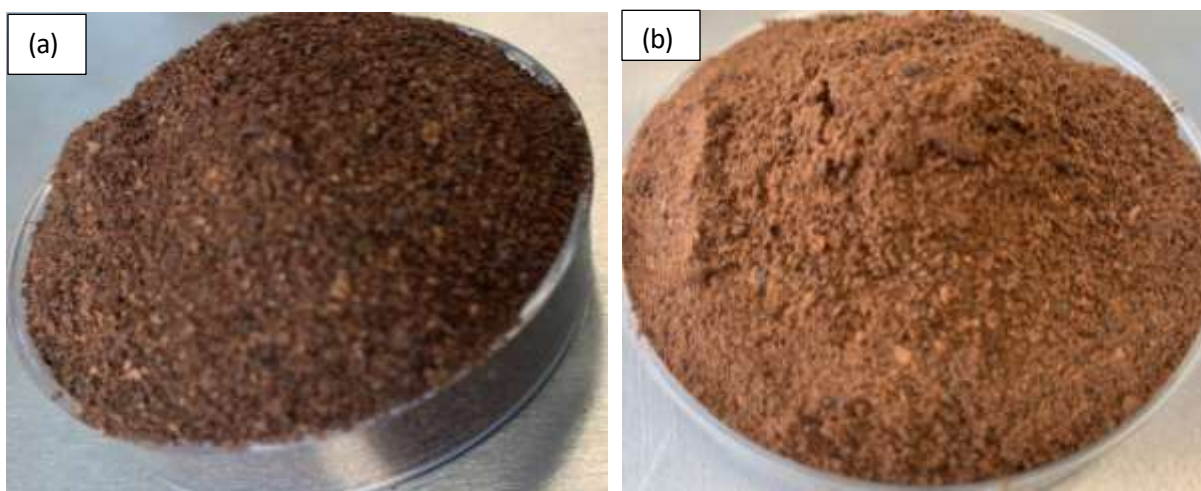
Zapata Bustamante, S., Tamayo Tenorio, A., & Alberto Rojano, B. (2014). Efecto del Tostado Sobre los Metabolitos Secundarios y la Actividad Antioxidante de Clones de Cacao Colombiano.



## ANEXOS



Anexo 1: Cascarilla de cacao deshidratada (a), cascarilla de cacao horneada (b)



Anexo 2: Cascarilla de cacao molida deshidratada (a), cascarilla de cacao molida horneada (b)