



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**APOYO AL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA
PRODUCTIVO DE LA ASOCIACIÓN ACEFUVER**

Autor

Santiago Orozco Colorado

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería
Bioquímica

Chigorodó, Colombia

2020



Apoyo al Mejoramiento del Sistema Productivo de la Asociación ACEFUVER

Santiago Orozco Colorado

Informe de práctica social
como requisito para optar al título de:
Ingeniero Bioquímico

Asesores

Dalma E. Marsiglia López, M.Sc. Ing. Química
Víctor M. García M., Representante legal ACEFUVER

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Bioquímica.
Chigorodó, Colombia
2020.

Resumen

Las corrientes másicas residuales de la industria del grano del cacao tienen el potencial de implementarse en varias industrias, desde la industria alimenticia hasta la industria de energías renovables. En la agroindustria cacaotera solo se aprovecha la semilla, que representa aproximadamente el 30% de su fruto. Los desechos generados están constituidos por la cáscara, mucílago y la cascarilla.

La presente práctica tuvo como objetivo proponer alternativas para el aprovechamiento de los subproductos del cacao y el mejoramiento del proceso productivo de ACEFUVER. Se construyeron los diagramas del proceso desde lo realizado en las fincas de los asociados donde se cultiva la mazorca de cacao hasta la transformación del grano de cacao que se da en la planta transformado de ACEFUVER. Fue posible detectar los puntos claves a mejorar y se plantearon y ejecutaron algunas propuestas al sistema productivo.

El apoyo al sistema productivo también consistió en una revisión bibliográfica para la determinación de las propiedades fisicoquímicas de las corrientes residuales y sugerir aplicaciones de impacto, de las cuales se dejó propuesto la utilización del mucílago para la obtención de etanol debido a la alta concentración de grados Brix (19), y la cascarilla para la industria alimenticia como infusiones.

Por último, se aprovecharon dos subproductos generados en la planta de transformación que fueron la cascarilla de cacao donde se utilizó como aditivo para la elaboración de jabones y licor de cacao residual adherido al molino de piedra el cual se retiró con una espátula y se utilizó para realizar un proceso fermentativo y obtener vino de licor de cacao.

Palabras claves: Cacao, Cáscara, Cascarilla, Mucílago, ACEFUVER, Propiedades fisicoquímicas, °Brix, Jabones, Vino, infusiones.

Introducción

La región de Urabá es reconocida por excelencia como el eje bananero de Colombia, la subregión en el territorio antioqueño es altamente productiva agroindustrialmente al contar con una amplia extensión de tierras fértiles aptas para explotar este sector, sus 11.652 kilómetros cuadrados equivalen al 18,6% del área total del departamento, ubicada en la parte noroccidental de éste, limita al norte y noroeste con el Mar caribe (Océano Atlántico), donde se encuentra el Golfo de Urabá. Está constituida por once municipios, los cuales son: Arboletes, San Juan, San Pedro, Necoclí, Turbo, Apartadó, Carepa, Chigorodó, Mutatá, Murindó y Vigía del Fuerte (URABÁ, 2013).

El motor bananero del Urabá Antioqueño cuenta con un área productiva sembrada de 33.500 hectáreas y una producción de 71 millones de cajas al año, donde se generan alrededor de 28.000 empleos directos y 84.000 indirectos (Gómez B., 2011). Sin embargo, Urabá no es sólo banano, en los últimos años han surgido cultivos con un gran potencial que han sido priorizados en la sustitución de los cultivos ilícitos según los acuerdos de paz de Colombia 2017, dentro de ellos se destacan: la palma de aceite, el maracuyá y la piña, además de uno

de los más promisorios y con más aplicaciones en el sector alimentario, cosmético, energético y ambiental, el cultivo de cacao.

Los cultivos de cacao que cuenta con una extensión territorial de 8.000 hectáreas sembradas aproximadamente y con una producción de 290 toneladas para el año 2019, solo en el municipio de Chigorodó, uno de los municipios bandera en la transformación social hacia la búsqueda de mejores oportunidades económicas (Restrepo, 2017).

La asociación de cacaocultores emprendedores futuro verde “ACEFUVER” es una asociación gremial sin ánimo de lucro del municipio de Chigorodó, Antioquia que tiene como finalidad mejorar la productividad, competitividad y comercialización del grano de cacao, para ello la asociación cuenta con una planta de transformación donde solo se procesan granos de cacao que cuenten con certificación orgánica.

La asociación la integran 230 familias productoras, y alrededor de mil personas dependen de esta actividad económica, de las cuales es posible identificar indígenas, afrodescendientes, desplazados por el conflicto armado, madres cabeza de hogar y personas con condición de discapacidad.

ACEFUVER se conformó por iniciativa propia en el año 2013 por los campesinos al notar los bajos precios que ofertan los intermediarios por el grano de cacao seco. Una vez conformada la asociación, se han estado liderando proyectos que benefician directamente a las comunidades vulnerables que la conforman, para así mejorar su calidad de vida. El acercamiento con esta comunidad se llevó a cabo con la visita a la plantación de cacao del señor Carmelo García, donde se conoció acerca del proceso productivo del grano de cacao y se identificaron diferentes problemáticas a lo largo de dicho proceso, una de ellas, es la cantidad de subproductos provenientes de la transformación del grano de cacao que no están siendo aprovechados y que podrían aportar valor agregado, otra problemática latente es no contar con el apoyo técnico y tecnológico suficiente para realizar el mejoramiento continuo de la planta de transformación.

El proceso productivo del cacao está relacionado con el 30% del aprovechamiento de su fruto, el porcentaje restante es la cantidad de subproductos que se generan en distintas etapas del proceso, a decir: la cáscara del fruto, el mucílago y la cascarilla del grano (Vásquez et al. 2019). Estos subproductos tienen un gran potencial en diferentes industrias, algunos de sus usos más relevantes son: en la industria alimenticia como compuestos antioxidantes, energizantes, saborizantes, licores o bebidas fermentadas; en la industria farmacéutica y cosmética como antivirales, jabón y exfoliante. En la industria energética para la producción de etanol y biogás, y, por último, en la industria de biorremediación como absorbente (Vásquez et al. 2019).

Teniendo en cuenta el potencial que tiene la asociación ACEFUVER para seguir mejorando su proceso productivo y para aprovechar todas sus corrientes másicas y energéticas, en este proyecto se evaluará la obtención de productos con mayor valor agregado a partir de los procesos actuales y de los subproductos empleando tecnologías convencionales, las cuales puedan ser implementadas en la asociación y operadas por los miembros de ésta.

Objetivo General

Proponer alternativas para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales del cacao y el mejoramiento del proceso de producción en la asociación ACEFUVER.

Objetivos Específicos

- Recolectar información del proceso productivo del cacao en ACEFUVER para la determinación de corrientes y etapas que puedan ser potencializados técnica y financieramente.
- Estudiar las propiedades fisicoquímicas de los diferentes subproductos provenientes de las etapas de producción.
- Seleccionar un subproducto de la cadena de transformación del cacao y evaluar técnicamente posibles métodos para su aprovechamiento.

Marco Teórico

1. Generalidades del Cacao

1.1. El árbol de Cacao (*Theobroma cacao* L.).

La especie *Theobroma cacao* L. es una de las 22 que comprende al género *Theobroma* cuyo crecimiento se da bajo el dosel de bosques tropicales lluviosos y es realmente la única especie de gran importancia económica. Este árbol o arbusto en cultivo se mantiene normalmente a 4-8 m de altura, tiene un tallo liso o parcialmente vellosa, su corteza es oscura o gris-café, y sus ramas son cafés y finamente vellosas. Las hojas son coriáceas, tienden a ser ovadas angostas a elípticas, ligeramente asimétricas, de hasta 60 cm de largo, y entre 7 a 14 cm de ancho (Nicolas et al. 2011).

1.2. Fruto del Cacao

El fruto del cacao es botánicamente una drupa, a menudo llamado "mazorca". El fruto maduro consiste en una cáscara gruesa que contiene 30-50 semillas, éstas últimas son las que se utilizan para obtener el famoso chocolate. Las semillas están cubiertas por una capa azucarada y mucilaginosa que actúa como una protección y sostén de éstas a través de un funículo entrelazante. Las mazorcas pueden ser de color verde o rojizo cuando están inmaduras, pero cuando maduran las rojizas tornan hacia naranja o amarillo, y las mazorcas verdes cambian a amarillo (Nair 2010).

1.2.1. Cáscara de cacao: es aproximadamente el 56% del peso total de la mazorca madura. Los estudios y análisis químicos y proximales de la cáscara de cacao han revelado que contiene aproximadamente lo siguiente: proteína cruda 5.0% – 6.2%, fibra cruda 32.1% – 35.0%, grasa cruda 0.87%, cenizas 8.76%. La fibra detergente ácida, la fibra detergente neutra y el nutriente digestible total son 43.8%, 56.6% y 60.0% respectivamente (Jayeola et al. 2018).

1.2.2. Mucílago: esta es la sustancia blanquecina que cubre el grano de cacao dentro de la mazorca; también se conoce como sudoración de pulpa, jugo. Las semillas de

cacao están rodeadas por una pulpa aromática que surge de los tegumentos (Tejido vegetal que cubre ciertas partes de las plantas) de las semillas. La pulpa mucilaginososa está compuesta de células parenquimatosas (Tejido vegetal esponjoso de las células vivas que rellena los intersticios dejados por los vasos y que puede tener funciones diversas según su ubicación, como reservar sustancias, fotosintetizar o rellenar) esponjosas, rica en azúcares (10% -13%), pentosanos (2% -3%), ácido cítrico (1% -2%) y sales (8% -10%) (Jayeola et al. 2018).

1.2.3. Cascarilla del grano de cacao: es la cubierta exterior de color marrón de un grano de cacao. Es la hoja que envuelve el cotiledón del frijol. La cascarilla del grano de cacao es un material de desecho industrial lignocelulósico producido en las fábricas de cacao y chocolate, especialmente en los países industrializados, y constituye del 12% al 14% del grano de cacao tostado. La cascarilla del grano de cacao seco contiene 13,12% de proteína cruda, 13,00% de fibra cruda, 8,71% de extracto de éter y 9,15% de cenizas (Jayeola et al. 2018).

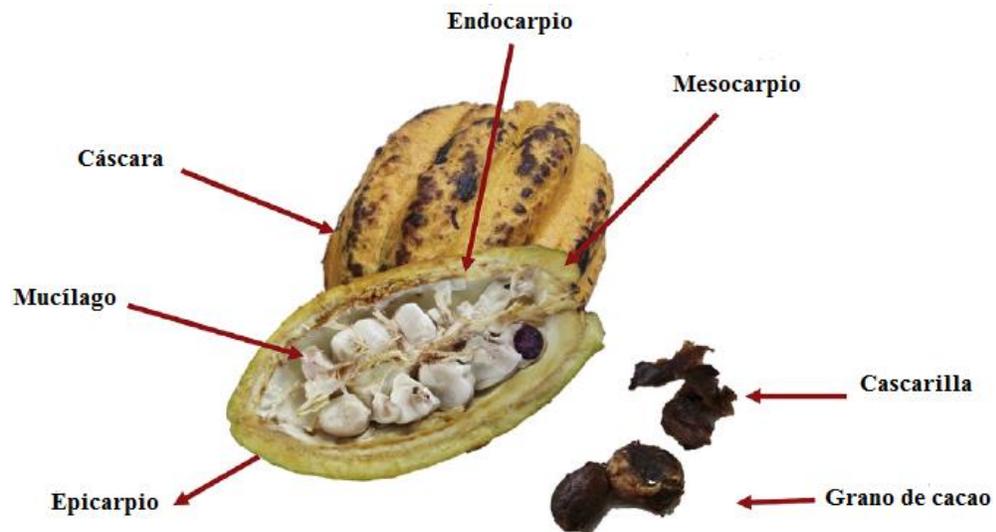


Ilustración 1. Partes del fruto del cacao, adaptado de Campos-Vega, Nieto-Figueroa, y Oomah, 2018.

1.3. Producción a nivel mundial

El grano de cacao es un producto altamente consumido a nivel mundial, con una producción anual para el 2019 de 4.835.000 toneladas de las cuales África aporta 3.706.000 toneladas anuales posicionándose en el primer puesto de la producción mundial, en el segundo puesto se encuentra América latina con 825.000 toneladas de las cuales Colombia aportó 55.000, esta cantidad le otorga la posición número cinco en producción de cacao a nivel de América latina (ILAC 2019).

2. Cadena de transformación del fruto del cacao

2.1. Recolección de las mazorcas de cacao

Esta recolección se realiza en campo y depende del color de las mazorcas, las mazorcas verdes maduran en color amarillo y las mazorcas rojas maduran de un color rojo intenso o morado, una vez se detecta que la mazorca está madura se

procede a retirar con un podón para cacao y el corte se realiza lo más cercano a la mazorca para no afectar al árbol de cacao (Pérez and Contreras 2017).

2.2. Extracción de grano de cacao más mucílago

Los frutos se quiebran con una herramienta sin filo para no dañar los granos de cacao. Se retiran las almendras más el mucílago y se las ubica en un balde limpio, para después ser transportadas a los fermentadores donde se lleva a cabo la fermentación del grano de cacao. Para abrir las mazorcas puede emplearse un machete pequeño, un mazo o cualquier otro elemento que permita efectuar esta labor de manera eficiente y sin cortar los granos (Pérez and Contreras 2017).

2.3. Fermentación del grano de cacao

El proceso de fermentación del cacao corresponde a la acción de distintos microorganismos que, en condiciones de temperatura, pH, y concentración de azúcar, descomponen la pulpa dejando únicamente la semilla. Las sustancias formadas en el proceso penetran en la semilla, transformando bioquímicamente la composición original y matando el germen, razón por la cual queda inviable para la siembra (Pérez and Contreras 2017).

2.4. Secado del grano de cacao

Dependiendo del manejo que se le haya dado en la fermentación, el cacao recién sacado del cajón puede tener una humedad cercana al 65%, la cual debe ser disminuida hasta un rango del 6,5 a 7,0 %. De este modo, los microorganismos no encuentran un medio en el cual desarrollarse y las distintas enzimas existentes en el interior del grano se desactivan, con lo cual el cacao ya seco puede almacenarse de manera segura.

La forma del secado que prima en la asociación es el secado natural que consiste en la optimización de las variables ambientales, sin utilizar equipos y energía adicional para ello. La principal fuente de energía natural empleada es el sol que calienta el ambiente, de modo que el aire se mueve naturalmente sin intervención del hombre (Pérez and Contreras 2017).

2.5. Tostión y descascarillado

El tostado es el proceso esencial donde se le aplica calor con dos objetivos principalmente, uno de ellos es la disminución de humedad natural del grano de cacao y el otro es promover un conjunto de reacciones bioquímicas, en el cual intervienen los precursores formados en los procesos de fermentación y secado que luego darán origen al sabor y aroma inicial del chocolate. La temperatura y el tiempo de tostado depende de qué variedad de cacao sea, cantidad de humedad del grano y el tamaño del grano (Minifie 1989).

El descascarillado es el proceso en donde se retira la cascarilla de la almendra de cacao utilizando maquinaria que quiebra la almendra utilizando dos rodillos que generan aplastamiento de esta (Minifie 1989).

2.6. Molienda

El grano de cacao tostado y descascarillado se muele para producir licor de cacao, dicho proceso se emplea maquinaria con rodillos, anteriormente se empleaban

rodillos de granito, pero últimamente se están empleando rodillos de acero (Minifie 1989).

Metodología

La metodología del proyecto se desarrolló en 3 etapas, la primera etapa comprendió la recolección de la información en la asociación ACEFUVER para la construcción de diagramas de procesos y la identificación de las corrientes de subproductos, la segunda etapa la determinación de las propiedades fisicoquímicas de los subproductos con potencial aprovechamiento, y finalmente, la evaluación de su implementación en la obtención de productos de valor agregado.

1. Recolección de información

La etapa de recolección de la información inició con la elaboración de los diagramas o flujogramas del proceso de la transformación del grano de cacao en la asociación ACEFUVER, desde la recolección de la mazorca del cacao hasta el empaque del producto terminado. La primera parte del proceso se da en las fincas de los asociados, es por eso que se realizó una visita a la finca de Don Albeiro Cuesta, integrante y tesorero de la asociación, quien describió el proceso de extracción in situ del grano de cacao del fruto, como se menciona en el marco teórico del presente documento: recolección, extracción, fermentación y secado en las marquesinas; cabe resaltar que la mayoría de los integrantes realizan el mismo procedimiento siguiendo las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para la transformación del cacao recomendadas por la Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO). La segunda parte del proceso se da en la planta de transformación del grano de cacao de ACEFUVER, donde los integrantes Sandra Arrieta y Víctor García describieron todo el proceso allí realizado, que comprende la recepción del grano seco de las fincas hasta la obtención de chocolate, nibs, y cacao en polvo. Asimismo, se hizo seguimiento a cada unidad de proceso, se determinó la cantidad de materia que ingresa y sale de cada uno de los equipos, las corrientes residuales, y posteriormente se realizó el balance de materia pertinente a cada caso.

2. Determinación de propiedades fisicoquímicas

Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas de los subproductos generados en la industria del cacao se procedió a realizar una revisión del estado del arte para identificar el potencial de su aprovechamiento, es decir establecer qué componentes o plataformas componen los subproductos para diagnosticar qué productos primarios o secundarios se pueden obtener, y de esta forma plantear las rutas de transformación. Es importante dejar claro que esta decisión de realizar la revisión teórica y de no determinar los componentes de forma experimental, tiene su justificación basada en el plan de contingencia y emergencia sanitaria declarado en el país y a nivel mundial para frenar los efectos a causa del nuevo coronavirus COVID-19, y por ende las limitaciones en la movilidad y en la utilización de espacios públicos como universidades, y herramientas de trabajo como laboratorios de aprendizaje.

3. Evaluación de la obtención de productos de valor agregado

Una vez identificadas las corrientes residuales o subproductos potenciales de aprovechamiento, se procedió a realizarles el debido tratamiento y preparación para su

proceso de transformación. A continuación, se detallan los procedimientos llevados a cabo para cada materia prima empleada.

3.1. Licor de cacao

3.1.1. Recolección: una vez finalizado el lote de producción de licor de cacao, se retiró el material residual pegado a las paredes del molino con una espátula metálica, este material tenía una consistencia tipo pasta o estado semisólido. La pasta recolectada se conservó en un recipiente de plástico para evitar su contaminación con hongos u otros agentes para ser utilizada posteriormente en el proceso de fermentación.

3.1.2. Tratamiento: se tomó 30 g de licor de cacao y se disolvió en 1,5 litros de agua, se agregó sacarosa o azúcar común hasta alcanzar una concentración de 22 °Brix de acuerdo con lo recomendado por la literatura para iniciar ensayos de fermentación alcohólica, para esto se empleó un refractómetro comercial referencia PCE-032 con una capacidad de medición hasta 32 °Brix.

3.1.3. Transformación: El licor de cacao se utilizó para un proceso fermentativo que se llevó a cabo durante 72 horas en un montaje construido de forma artesanal por el experimentador, que constaba de un recipiente de vidrio acoplado a una trampa de CO₂, esta última consistía en una manguera de 1,5 cm de diámetro recubierta por un extremo de gasa y algodón acoplada a una botella plástica con 200 ml de agua.

Inicialmente, se esterilizaron todos los materiales de trabajo empleando un fogón eléctrico y llevando a ebullición el agua contenida en el recipiente, 98 °C aproximadamente. Posteriormente, se preparó el inóculo en un Erlenmeyer de 250 ml empleando levadura comercial hasta obtener una concentración de 1 g/L, se llevó a una temperatura de 37 °C por 5 minutos, una vez terminado este proceso se depositó 30 ml en cada una de las botellas previamente esterilizadas y se ajustó el volumen a 300 ml con la solución de licor de cacao. Finalmente, para establecer el sistema de fermentación, se acopló la manguera de la trampa de CO₂ al diámetro interno del recipiente.

Las variables por evaluar fueron la concentración de grados Brix y la pérdida de peso, la toma de muestras se realizó cada 2 horas, por un lado, se empleó una jeringa de 10 ml para medir la concentración de grados Brix en los reactores de fermentación por triplicado, y por otro lado se pesó el envase de vidrio más el mosto fermentando. Posteriormente, se determinó la cantidad de etanol producido y se comparó con la cantidad teórica de etanol calculada por estequiometría.

3.1.4. Separación y purificación: para la recolección del producto terminado se utilizó un recipiente de plástico estéril y se vertió el mosto fermentado con la ayuda de un embudo acoplado con un papel filtro de café número dos para evitar que la levadura y otras impurezas se filtraran a la bebida.

3.2. Cascarilla de cacao

La cascarilla de cacao se obtuvo del proceso que se realiza en la planta de transformación de ACEFUVÉR. Se determinaron dos opciones de aprovechamiento y comercialización: como aditivo en la industria de jabones y como infusión en la industria de alimentos, los tratamientos correspondientes a cada producto se relacionan a continuación:

3.2.1. Aditivo en la elaboración de jabones por saponificación en frío: la cascarilla de cacao puede servir como un agente exfoliante, hidratante, calmante que le proporcione color, aromas y textura a una mezcla preparada de jabón a base de aceites. El proceso inició recolectando la cascarilla proveniente de la descascarilladora, se redujo su tamaño utilizando una licuadora industrial, se pasó a través de un tamizador con número de malla 10 de acero inoxidable, de este proceso se obtuvo un polvo muy fino. Para el experimento se utilizaron dos tamaños de partícula, el polvo fino obtenido anteriormente y la cascarilla sin pulverizar.

Para el proceso de saponificación en frío se utilizó hidróxido de sodio en escamas con una pureza del 99%, se tomó 7 g y se disolvió en 25 ml de agua para obtener una concentración del 28%, y se utilizaron 189 gramos de la mezcla de aceite de palma con aceite de soya de la marca IDEAL. El proceso se realizó en un vaso de precipitado de 250 ml aplicando agitación manual por 45 minutos a temperatura y presión ambiente.

Finalizado el proceso anterior, se agregó la cascarilla de cacao como aditivo en las dos condiciones de partícula previamente mencionadas y el porcentaje de adición, se seleccionó un diseño de experimentos de dos factores con tres niveles como se muestra en la Tabla 1, donde los niveles corresponden al porcentaje de cascarilla de cacao añadido a la mezcla de jabón.

Tabla 1. Diseño factorial dos factores con tres niveles

Factor	Nivel		
Cascarilla sin tamizar	1%	2%	3%
Cascarilla tamizada	1%	2%	3%
Control	Sin cascarilla		

Una vez garantizada una mezcla homogénea de las partes, se depositó en el molde de silicona y se guardaron en un lugar seco y limpio.

Para el monitoreo de pH se utilizaron tiras indicadoras de pH, las cuales reaccionan por contacto y cambian de color dependiendo de su pH en una escala de color ya establecida, la medición de pH se llevó a cabo una vez al día hasta detectar un pH neutro.

3.2.2. Preparación de cascarilla de cacao para infusiones: para garantizar la inocuidad de este producto se realizó un lavado de la cascarilla de cacao con agua potable y un desinfectante avalado para alimentos con el fin de eliminar impurezas o contaminantes presentes en el producto. Se pulverizó la cascarilla con una licuadora industrial y fue tamizada utilizando un número de malla 16, posterior a ello se distribuyó en bolsas de doble envoltura para infusiones y se almacenó en cajas de cartón limpias y estériles.

Resultados y análisis

1. Proceso productivo del cacao en ACEFUVÉR

Con el fin de apoyar en el mejoramiento del sistema productivo en la asociación, la primera etapa de esta práctica consistió en la recopilación de la información del proceso productivo del fruto del cacao que se da en la asociación ACEFUVÉR, desde la recolección de la mazorca del cacao en las fincas de los asociados hasta el producto transformado y empacado en la planta transformadora de ACEFUVÉR.

En el gráfico 1 se visualiza el proceso que se realiza en campo, es decir, en las fincas de los integrantes de la asociación, todos los cacaocultores realizan la recolección de las mazorcas de cacao del árbol *Theobroma cacao L.* teniendo en cuenta los criterios por color y maduración, continúan todo el proceso hasta tener listo el grano de cacao seco que se lleva al punto de acopio o planta de transformación de ACEFUVÉR. A lo largo de este proceso se generan dos subproductos principales o corrientes de salida, que son la cáscara de cacao y el mucílago, éstos provienen de la etapa de corte y separación del fruto y la etapa de lixiviación en la fermentación del grano, respectivamente. No se verificó en campo la cantidad de desechos generados debido a la emergencia sanitaria provocada por el COVID-19, y las restricciones de acceso y movilidad a las fincas de los asociados, sino que se hicieron estimaciones de acuerdo con lo reportado por literatura. Durante todo el proceso de adecuación del grano para su transformación, el subproceso más relevante es la fermentación del grano de cacao, debido a que en este proceso se resaltan los matices de sabor y aroma que hacen que sea un grano de alta calidad (Pérez and Contreras 2017).

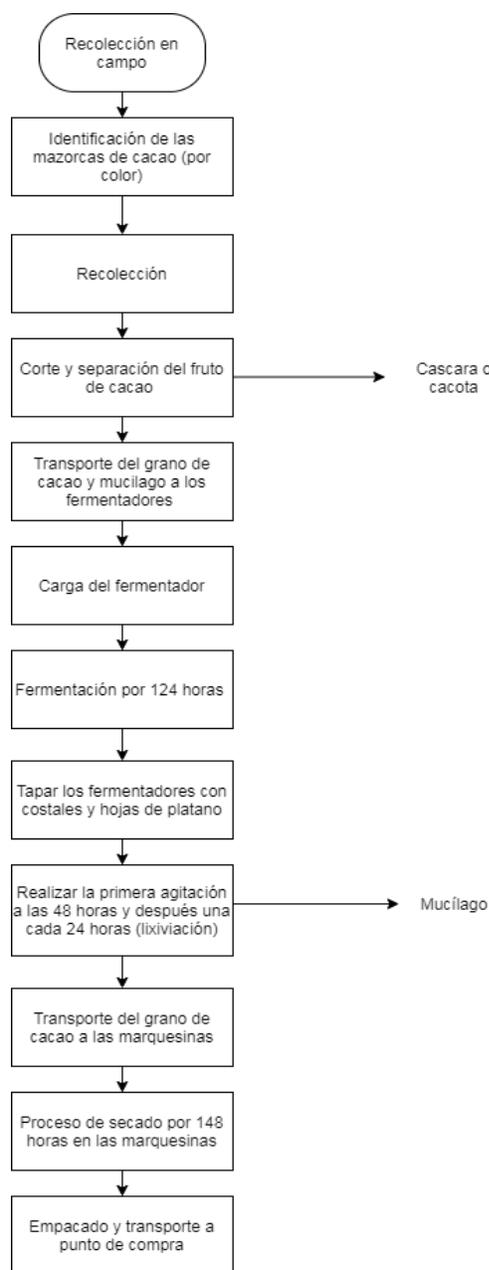


Gráfico 1. Recolección del grano de cacao en campo

En el gráfico 2 se muestra el flujograma de la transformación del grano de cacao en la planta transformadora de ACEFUVER, que inicia con la prueba de corte del grano de cacao y finaliza en el empaque de los diferentes productos a comercializar. En el diagrama se muestran las decisiones que se toman en el proceso, los criterios de decisión, las rutas de proceso, y los porcentajes de las corrientes principales. Uno de los porcentajes más relevantes, es el correspondiente a la pérdida de masa representada mayoritariamente por la cascarilla de cacao con un 20,5 %, sin embargo, según reportes de FEDECACAO comúnmente se deberían generar alrededor de 12,68 % de cascarilla de cacao (Fedecacao 2005) en el proceso de descascarillado. La justificación encontrada para estas mayores pérdidas del grano de cacao se debía al trabajo ineficiente de la descascarilladora, ya que la almendra de cacao quedaba adherida a la cascarilla. Para disminuir el desperdicio de la almendra se propuso ajustar los rodillos de la descascarilladora para disminuir el ancho de la apertura por donde pasa el grano de cacao y así forzar un mejor contacto para aplastar y quebrar el grano de cacao y, de este modo, lograr separar mejor la cascarilla de la almendra de cacao.

Un proceso identificado como clave de la transformación del grano es la tosti3n, en la planta se identific3 que el equipo que estaba siendo utilizado generaba grandes afectaciones al grano tostado. En la ilustraci3n 2 se visualiza el proceso de tostado con la maquinaria anterior, una grageadora acoplada a un soplete, se evidencia un proceso totalmente ineficiente debido a que no hab3a control de temperatura, el cacao no quedaba tostado homog3neamente y la toma de muestra del grano de cacao para conocer c3mo iba el proceso de tostado era peligrosa debido a que la fuente de calor estaba en el centro de la grageadora. Se propuso mejorar la etapa de tosti3n, para ello se reemplaz3 la tostadora por una nueva la cual se puede visualizar en la ilustraci3n 3.



Ilustraci3n 2. Tostadora anterior

La nueva tostadora tiene una capacidad media para 40 kg/h de grano de cacao, tiene incorporada control de temperatura, vasca de enfriamiento, aislante t3rmico, extractor de impurezas, y la toma de muestras se realiza de manera m3s segura, con esta tostadora se estableci3 un protocolo para determinar el tiempo y la temperatura de tostado de los granos de cacao que depende de su humedad interna, cantidad de granos en 100 gramos

de muestra, y el tipo de cacao trabajado: trinitario, criollo o forastero), con estas variables se determinan las condiciones óptimas para tostar dicho grano.

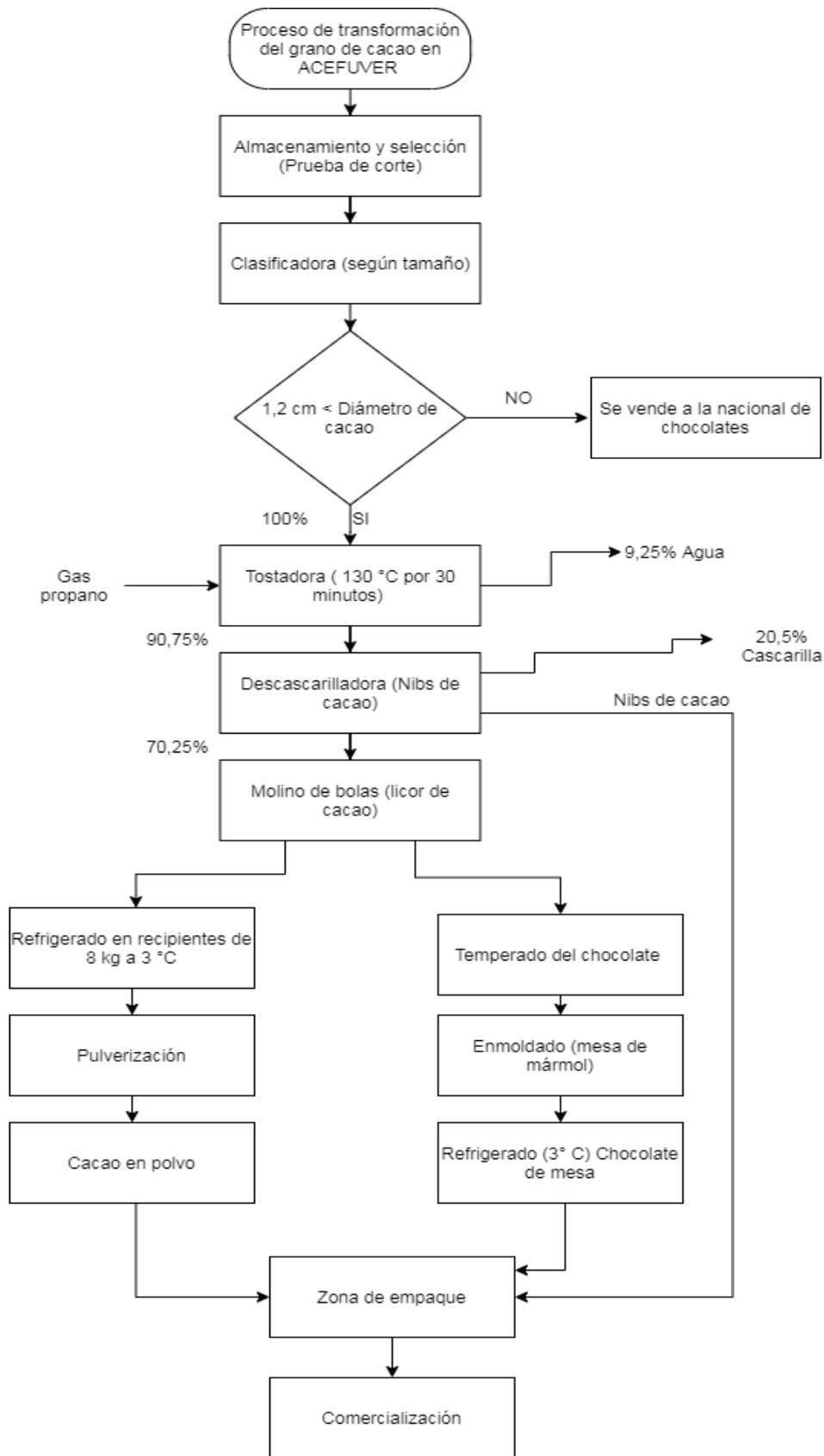


Gráfico 2. Transformación del grano de cacao



Ilustración 3. Tostadora moderna

2. Propiedades fisicoquímicas de las corrientes residuales principales

En ACEFUVER se trabajan algunas variedades o clones de cacao para garantizar la producción de cacao orgánico con las mejores propiedades de aroma y sabor, dentro de las más representativas se encuentran: FEDECACAO Yacopi 2, CCN 51, FEDECACAO SAN VICENTE 41, LUKER 40. Teniendo en cuenta las variedades, se realizó la revisión o búsqueda bibliográfica de los componentes o caracterización fisicoquímica de los subproductos o corrientes másicas de mayor relevancia para este estudio y potencialmente aprovechables por los asociados. La tabla 3 muestra composición de la cáscara de cacao, el mucílago y la cascarilla de cacao. La relevancia de la tabla radica en la identificación de las plataformas que pueden aprovecharse para la obtención de un gran abanico de productos primarios y secundarios de acuerdo con los conceptos de la economía circular y las biorrefinerías.

La revisión bibliográfica indica que en el caso de los carbohidratos se puede plantear una fermentación alcohólica para la obtención de alcohol, esta idea se apoya con los altos niveles de grados Brix que son 19,6 aproximadamente. Recordando que los vinos de alta calidad antes de fermentar deben tener 22 °Brix es una fuente importante de sólidos suspendidos. Los glúcidos representativos en el mucílago de cacao de mayor a menor son la fructosa, sacarosa y glucosa.

Tabla 3. Composición química de la cáscara de cacao (%m/m base seca), mucílago (%m/m húmeda) y cascarilla de cacao (%m/m base seca).

Propiedades fisicoquímicas	Cáscara	Mucílago	Cascarilla
Humedad (% m/m)	6,67	-	7,71
Densidad (g/ml)	-	1,1	-
Ceniza (% m/m)	11,39	-	7,35
Sólidos suspendidos (mg/l)	-	192154	-
Proteína (% m/m)	6,3	-	15,85
Grasa (% m/m)	0,71	-	2,02
Fibra (% m/m)	20,52	-	-
Carbohidratos (% m/m)	74,93	-	17,8
Referencia	(Villamizar, Rodríguez, and León 2017)	(Balladares et al. 2016)	(Martínez et al. 2012)

En el caso del alto contenido de proteína se puede utilizar para alimento animal, la pectina extraída de la cáscara de cacao exhibe propiedades antimicrobianas, las cenizas de la cáscara de cacao en África occidental, específicamente en el país de Ghana se utilizan para la elaboración de jabones, los cuales, su principal compuesto es Potasa (sales de potasio). Considerando el alto contenido de fenoles contenidos en la cascarilla se considera utilizarla para realizar infusiones.

La tabla 4 muestra los actuales aprovechamientos que se le están dando a las corrientes residuales de la transformación del grano de cacao en Colombia, esta información es un indicio de que es posible hacer el aprovechamiento de los subproductos en la región.

Tabla 4. Actuales aprovechamientos de los subproductos del cacao

Nombre de la empresa o proyecto	Subproducto aprovechado	Producto comercial	Ubicación
Desarrollo de procesos y productos para la valoración de mucílago y granos de cacao en el departamento de Santander (Santander 2018)	Mucílago y cáscara de cacao	Celulosa bacteriana, ciclodextrinas, jarabes e industria cosmética	Piedecuesta-Santander
Aprovechamiento gastronómico de la cáscara del cacao (Gutiérrez García and López Barrera 2018)	Cáscara de cacao	Harina de cáscara de cacao	N.D.
Cacao y más cacao (Cacao 2019)	Cascarilla de cacao	Infusiones	Bogotá D.C

3. Aprovechamiento de las corrientes residuales de ACEFUVER

Debido a la pandemia actual que padece el país por el virus COVID-19, este acarreo consecuencias como el cierre de escuelas, colegios y universidades en donde se encuentran los laboratorios con todos los equipos para realizar los análisis pertinentes, un espacio estéril donde se controlan las condiciones óptimas para los procesos a realizar. En la zona de Urabá la pandemia afecta, a parte de lo ya mencionado, el ingreso a las veredas donde los asociados tienen sus cultivos de cacao y se presentaron algunos problemas de orden público en dichas veredas, en las cuales, se generan dos subproductos en la cadena productiva del cacao, que son la cáscara de cacao y el mucílago de cacao. Por lo tanto, no había las garantías para acceder a los otros subproductos de la cadena productiva del cacao.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y con el fin de montar un proceso que realmente se puede implementar en ACEFUVER, se seleccionó la cascarilla de cacao para la obtención de un producto de valor agregado, debido a que este subproducto se genera en la planta de transformación de la asociación.

En la tabla 5 se presentan los valores obtenidos de cómo varía el pH a lo largo de 13 días de reacción. Este proceso se presenta debido al exceso de hidróxido de sodio presente en la reacción de saponificación, una vez el pH llegue a 7 se puede decir que la presencia de hidróxido es mínima.

Tabla 5. Variación de pH con el tiempo

Día	Tamizado			No tamizado			Control
	1%	2%	3%	1%	2%	3%	0%
0	12-13	12-13	12-13	12-13	12-13	12-13	12-13
1	12-11	12-11	12-11	12-11	12-11	12-11	12
2	11-10	11-12	11-12	11-12	11-12	11-12	11-12
5	10-11	10-11	10-9	9-10	10-9	10-9	9-10
6	10-9	10-9	9-10	9-8	9-8	9-10	9-8
7	9-10	9-10	9-8	8-9	8-9	9-8	8-9
8	9-8	9-8	8	8	8-9	9-8	8-9
9	9-8	9-8	8	8	8	8	8-7
12	8-7	8-7	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8
13	7-8	7-8	7	7	7-8	7	7-8

Una vez concluida la reacción de estabilización de pH se procedió a retirar los jabones del molde. En la ilustración 4 se presenta el jabón con cascarilla tamizada al 1%, dicho experimento fue el que obtuvo mejor resultado de la serie de los jabones tamizados, su contextura es dura, tiene un color café y se pueden visualizar las virutas de la cascarilla en él. Los demás experimentos de la serie de tamizados tuvieron coloración café-negro y su contextura era frágil.



Ilustración 4. Jabón con cascarilla de cacao tamizada al 1%

En la ilustración 5 se muestra el jabón con cascarilla de cacao sin tamizar al 1% de aditivo, como se visualiza no hay virutas de cascarilla y su color es un poco más claro que el jabón de la ilustración 5, su contextura es rígida y presenta un ligero olor a cacao.



Ilustración 5. Jabón con cascarilla de cacao no tamizada al 1%

En la ilustración 6 se visualiza el jabón control, el cual no tiene ningún aditivo, su contextura es rígida y posee un ligero olor a aceite.



Ilustración 6. Jabón control, sin ningún aditivo

Por otro lado, se determinaron las mejores condiciones en las cuales la cascarilla de cacao también pueda ser utilizada en la elaboración de infusiones aromáticas a base de cacao. Para la comercialización de infusiones se deben garantizar ciertos parámetros de inocuidad del producto ante el ente regulador de alimentos y medicamentos a nivel nacional

(INVIMA). Se deben realizar exámenes microbiológicos, los cuales deben estar medir: aerobios/mesófilos (100000), coliformes (90-150), *E. coli* (< 3), mohos/ levaduras (2000). Adicional a estos análisis se propone realizar el análisis de metales pesados, en específico el de cadmio. Para las propiedades fisicoquímicas se debe tener en cuenta: después del proceso de tostado y descascarillado se verifica que la humedad máxima contenida sea del 5%, el peso por paquete de bolsita debe ser 1,3 gramos. Adicionalmente, es muy importante la conservación y almacenamiento de las infusiones, una vez empacadas y procesadas se deben almacenar en canastas de plástico, sobre estibas, estar separadas de las paredes, sin humedad, que no lleguen los rayos del sol directos y sin cambios de temperatura bruscos, se recomienda que se almacene a temperatura ambiente. El sistema de inventario se debe realizar bajo el concepto de PEPS (Primeros en Entrar, Primeros en Salir) (Meneses-Agudelo, Esteban. Ramelli 2013).

Durante la realización de las prácticas se determinó que existía una pérdida de masa relacionada al licor de cacao que quedaba adherido a las paredes de moldeo, como forma de aprovechamiento surgió la idea de realizar un vino de cacao. En la tabla 6 se muestran los datos obtenidos de la variación de peso y el consumo de grados Brix de la fermentación alcohólica utilizando licor de cacao como aditivo y saborizante, se llevó a cabo durante 72 horas, las muestras de °Brix se tomaron utilizando una pipeta Pasteur de plástico y el cambio de peso se registró con una balanza digital con capacidad mínima de 1 gramo.

Tabla 6. Cambio de peso y de grados Brix con el transcurso del tiempo y la producción de CO₂ obtenida

HORA	Peso del mosto solo			Grados
	1 PESO (g)	2 PESO (g)	3 PESO (g)	4 °Brix
10:00	323	325	323	22
12:30	323	325	323	22
02:00	322	325	323	22-21
03:30	322	324	323	22-21
05:00	322	324	322	20-19
08:00	317	318	317	19-20
10:00	316	317	316	19
12:00	316	315	316	19
03:00	315	315	315	19-18
05:00	314	314	314	18-19
08:30	311	308	311	16-17
11:00	311	307	310	16-15
01:30	310	307	310	15-16
03:30	310	306	309	15-16
05:00	309	306	309	15-16
09:30	307	302	306	15
CO ₂ PRODUCCIÓN	16	23	17	
PROMEDIO		18,7		

En la tabla 7 se registra el valor de etanol obtenido durante la fermentación. Para el cálculo de este se tomaron los gramos de CO₂ producidos y se utilizó el peso molecular de mismo, posterior a ellos se utilizó la ecuación estequiométrica de la producción de alcohol y se relaciona con el peso molecular del etanol, siguiendo este procedimiento encontramos los gramos de etanol producidos, posterior a ello utilizando la densidad del etanol encontramos los mililitros de etanol y finalmente utilizando el volumen del reactor se obtiene el porcentaje de volumen alcanzado en la fermentación. Se propone que para la disposición del papel filtro más la levadura se piense en la utilización para alimento animal.

Tabla 7. Volumen de etanol producido

Gramos de etanol producido	19,5
Mililitros de etanol	24,5
% Volumen	8,2

Conclusiones

Después de la recolección de los datos y la elaboración de los diagramas de flujo en la planta de transformación se determinaron puntos clave para mejorar, uno de ellos es colocar en marcha un protocolo para la selección del grano de cacao, con una humedad por debajo de 7 y con un tamaño ideal para evitar la selección de granos donde su porcentaje de almendra sea inferior al porcentaje de cascarilla, estos granos se conocen como “pasilla”, con ello se disminuirá la pérdida de agua en forma de vapor, la generación de cascarilla en exceso y se obtendrán después del proceso de tostado mayor peso de almendra de cacao. Otro punto importante es el proceso de descascarillado en el cual se pierde cerca de 8% más en cascarilla que lo reportado por FEDECACAO, dicho porcentaje se puede disminuir haciendo una selección adecuada del grano y ajustar la distancia de los rodillos que trituran el grano de cacao ya tostado para que haya un mayor contacto con el grano de cacao con cascarilla.

Las propiedades fisicoquímicas obtenidas de la búsqueda bibliográfica lograron relacionar algunos de los clones que se trabajan en ACEFUVÉR. Las aplicaciones más relevantes es la implementación del mucílago de cacao para realizar un proceso fermentativo debido a su concentración tan alta de grados Brix. La dificultad principal es la recolección del mucílago, debido a que este subproducto se genera en campo en los cajones fermentativos, una manera de recolectar este subproducto sería colocar una bandeja de acero inoxidable de bajo de los cajones fermentativos e ir recolectando este líquido.

De los subproductos seleccionados se obtuvieron dos productos que fueron el vino de licor de cacao, el cual se degustó y fue aceptado por los comensales por su ligero sabor a chocolate y su aroma. El otro producto fue jabón con cascarilla de cacao, el cual fue un aditivo y se obtuvo un color café oscuro, debido a los pigmentos presentes en la cascarilla. El jabón de cascarilla de cacao sin tamizar mostró mejores resultados en cuestión de rigidez y color que el jabón con la cascarilla tamizada.

Referencias Bibliográficas

- Balladares, Carlos et al. 2016. "Physicochemical Characterization of Theobroma Cacao L. Mucilage, in Ecuadorian Coast." *Emirates Journal of Food and Agriculture* 28(10): 741. <http://www.ejmanager.com/fulltextpdf.php?mno=219504>.
- Campos-Vega, Rocio, Karen H. Nieto-Figueroa, and B. Dave Oomah. 2018. "Cocoa (Theobroma Cacao L.) Pod Husk: Renewable Source of Bioactive Compounds." *Trends in Food Science & Technology* 81: 172–84. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224417307513>.
- Castillo, María. 2014. "Saponificación: Una Propuesta Didáctica Para El Aprendizaje Significativo Del Concepto de Cambio Químico." *Revista digital universitaria* 15(5): 15. [http://bdigital.unal.edu.co/59841/1/SAPONIFICACIÓN Y CAMBIO QUÍMICO-TRABAJO FINAL.pdf](http://bdigital.unal.edu.co/59841/1/SAPONIFICACIÓN_Y_CAMBIO_QUÍMICO-TRABAJO_FINAL.pdf).
- Fedecacao. 2005. *Caracterización Fisicoquímica y Beneficio Del Grano de Cacao (Theobroma Cacao L.) En Colombia*. http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_09B.pdf.
- Gómez B., Ana. 2011. "Transformaciones Del Banano En Urabá: Experiencias Pasadas, Iniciativas Presentes y Nuevas Oportunidades de Industrialización" 69.
- Gutierrez García, Andrea, and Juan Sebastian Lopez Barrera. 2018. "Aprovechamiento Gastronómico de La Cáscara Del Cacao." <http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/527>.
- ILAC. 2019. "CACAO FINO Y DE AROMA PARA AMÉRICA LATINA Cacao Fino de Aroma , Un Producto Latinoamericano de Exportación." *Banco de Desarrollo de América Latina* 6: 1–15.
- INVIMA. 2015. "Formulación - Grados Brix - Rendimiento."
- Jayeola, Christianah O. et al. 2018. "Production of Bioactive Compounds From Waste." In *Therapeutic, Probiotic, and Unconventional Foods*, Elsevier, 317–40. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128146255000170>.
- Martínez, R. et al. 2012. "Chemical, Technological and in Vitro Antioxidant Properties of Cocoa (Theobroma Cacao L.) Co-Products." *Food Research International* 49(1): 39–45. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996912003146>.
- Meneses-Agudelo, Esteban. Ramelli, Elizabeth Gilchrist. 2013. "Transformación de Plantas Aromáticas En Infusiones." 1–144.
- Minifie, Bernard W. 1989. *Chocolate, Cocoa and Confectionery: Science and Technology*. Dordrecht: Springer Netherlands. <http://link.springer.com/10.1007/978-94-011-7924-9>.
- Nair, K.P. Prabhakaran. 2010. "Cocoa (Theobroma Cacao L.)." In *The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World*, Elsevier, 131–80. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123846778000059>.
- Nicolas et al. 2011. "Hoja Botánica: Cacao Theobroma Cacao L." *Hoja botánica* (June): 19 p.
- PCE Instruments. 2010. "Refractómetro de Mano: Instrumentos de Medición Óptica de Mano Para Concentración." 19. <https://www.pce-instruments.com/espanol/slot/4/download/92645/manual-refractometro-2.pdf>.

- Pérez, Miguel, and José Contreras. 2017. "Guía de Buenas Prácticas de Cosecha, Fermentación y Secado Para La Producción de Cacaos Especiales." *Coexca cacao fino y de aroma*: 22–41. https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Colombia/Documents/Guia_de_buenas_practicas_de_poscosecha.pdf.
- Restrepo, Juan camilo. "¡Urabá Es Banano y Mucho Más!" *AGRONEGOCIO*. <https://www.agronegocios.co/agricultura/uraba-es-banano-y-mucho-mas-2622899> (agosto 22, 2017).
- Suarez, Jueventino. 1994. "Fermentacion Alcoholic." *No Journal or Journal Lost*: 5. <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/FERMENTACION-ALCOHOLICA.pdf>.
- URABÁ, CÁMARA DE COMERCIO DE. 2013. "INFORME SOCIOECONÓMICO."
- Vásquez, Zulma S. et al. 2019. "Biotechnological Approaches for Cocoa Waste Management: A Review." *Waste Management* 90: 72–83. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X19302454>.
- Villamizar, Yessenia Lisbeth, Jefferson Shair Rodriguez, and Lexy Carolina León. 2017. "Caracterización Fisicoquímica, Microbiológica y Funcional de Harina de Cáscara de Cacao (Theobroma Cacao L .) Variedad CCN-51. 1 δ Characterization Physicochemical , Microbiological and Functional of Cacao Shell Flour (Theobroma Cacao L .) Variety CCN." *Cuaderno Activa* (9): 65–75.

Cibergrafía

- Cacao, Cacao y más. 2019. "Productos Con Cacao – Cacao y Más Cacao." <https://cacaomascacao.com/productos-con-cacao/> (October 12, 2020).
- Santander, Gobernación de. 2018. "Proyecto de Aprovechamiento Del Mucilago de Cacao Llega Al 50% de Ejecución." : 1. <http://santander.gov.co/index.php/actualidad/item/2545-proyecto-de-aprovechamiento-del-mucilago-de-cacao-llega-al-50-de-ejecucion> (October 12, 2020).