



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Influencia del proceso de fermentación sobre las
características de calidad del grano de cacao
(*Theobroma cacao*)**

Lina María Cardona Velásquez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería agrícola y Alimentos

Medellín, Colombia

2016

**Influencia del proceso de fermentación sobre las
características de calidad del grano de cacao**
(Theobroma cacao)

Lina María Cardona Velásquez

Tesis como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Directora:

Ph.D. Edith Marleny Cadena Chamorro

Codirector:

Ph.D. Eduardo Rodríguez Sandoval

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería agrícola y Alimentos

Medellín, Colombia

2016

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicatoria

A mi familia por su amor incondicional.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo a donde quiera que vayas”

Josué 1: 9

Agradecimientos

A Dios por colmarme de bendiciones.

A mi mamá por ser mi amiga y la persona que más cree en mí, a mi papá por sus buenos consejos, a mi hijo por ser mi fortaleza, a mis hermanos por el apoyo incondicional, a mi novio por su paciencia y por alentarme cada día. En general a toda mi familia por el amor que me dan.

A los profesores Edith Cadena y Eduardo Sandoval, por todo el apoyo, asesoría y paciencia; y por darme la oportunidad de conocerlos y aprender muchísimas cosas de ellos. Los admiro mucho porque son unas grandes personas.

Al profesor Darin Suka y su equipo de trabajo, por recibirme con los brazos abiertos en *Cocoa Research Center* en Trinidad y Tobago, por mostrarme su cultura y brindarme su amistad.

A la convocatoria de investigación para financiar pasantías, trabajos de grado en pregrado o posgrado en temáticas relacionadas con la Orinoquia 2013 II, Universidad Nacional de Colombia-Sede Orinoquia por su apoyo económico para el desarrollo de la investigación que se llevó a cabo en Arauca.

A la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín por su apoyo económico para la realización de la pasantía en *Cocoa Research Centre - The University of the West Indies-*, en Trinidad y Tobago.

A la cooperativa Comprocar y a la ingeniera Delia Nieto por ser mis anfitriones en el departamento de Arauca, darme todo el apoyo logístico, y sobre todo por brindarme su amistad.

Resumen

La fermentación del cacao durante el proceso de beneficio es una etapa que determina la calidad final del grano. En este sentido, este trabajo se desarrolló con 3 estudios acerca de cómo influye de la fermentación sobre algunas características finales de los granos de cacao. Los estudios se llevaron a cabo en 3 lugares geográficos diferentes. El primer se realizó en el departamento de Arauca y tuvo como objetivo identificar las principales actividades que desarrollan los agricultores de la región durante la fermentación y cómo estas actividades determinan la calidad fisicoquímica y sensorial del grano. El segundo estudio tuvo lugar en la isla de Trinidad y Tobago, allí se evaluaron dos sistemas de fermentación; un fermentador rotatorio y un cajón de madera. Por último se determinó la influencia de la frecuencia de volteo y la duración de la fermentación sobre los granos de cacao; este último estudio se hizo en la ciudad de Medellín con cacao cosechado en el municipio de San Roque-Antioquia.

Palabras clave: poscosecha del cacao, fermentadores.

Abstract

The cocoa fermentation during the process of postharvest is a stage that determines the final quality of the cocoa beans. In this sense, this work was developed with 3 studies about how influences the fermentation on some final characteristics of the cocoa beans. The studies were conducted in 3 different geographic locations. The first was carried out in the department of Arauca and aimed to identify the main activities developed by farmers in the region during fermentation and how these activities determine the physical and chemical quality of the cocoa beans. The second study was done in Trinidad and Tobago Island, where two fermentation systems were evaluated; a rotary fermenter and a wooden Box fermenter. Finally, the influence of the turning frequency and the duration of the fermentation on the cacao beans were determined; this last study was done in Medellin city with cacao harvested in the San Roque-Antioquia city.

Key words: cocoa post-harvest, fermenters

Contenido

Contenido.....	VII
Lista de figuras	VIII
Lista de tablas.....	IX
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Capítulo 1 Marco teórico.....	4
Generalidades del cacao.....	4
El cultivo del cacao en el mundo.....	5
El cultivo de cacao en Colombia.....	7
Calidad del grano de cacao.....	8
Beneficio del cacao.....	13
Componentes químicos del grano de cacao.....	19
Referencias.....	22
Capítulo 2 Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca...26	
Resumen.....	26
Introducción.....	27
Materiales y métodos.....	30
Resultados y discusión.....	32
Conclusiones.....	44
Referencias.....	46
Capítulo 3 Evaluación de un fermentador rotatorio como una alternativa en la fermentación de cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en Trinidad and Tobago.....52	
Abstract.....	52
Introduction.....	53
Material and methods.....	54
Results and Discussion.....	58
Conclusion.....	67
References.....	68
Capítulo 4. Efecto de la frecuencia de volteo y el tiempo de fermentación sobre las propiedades de calidad y actividad antioxidante de los granos de cacao (<i>Theobroma cacao</i>).....71	

Resumen.....	71
Introducción.....	72
Materiales y Métodos.....	74
Resultados y discusión.....	77
Conclusiones.....	83
Referencias.....	84
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.....	86
Conclusiones.....	86
Recomendaciones.....	87
Anexo 1 Encuesta aplicada como instrumento para medir las variables del proceso de beneficio de cacao en Arauca.....	88

Lista de figuras

Figura 1-1 El cacao	4
Figura 1-2 Producción de cacao en el mundo en el año 2013	6
Figura 1-3. Principales productores de cacao en el mundo.	7
Figura 1-4 Producción de cacao en Colombia	8
Figura 1-5 Factores que intervienen en la calidad del grano de cacao	10
Figura 1-6 Esquema de la sucesión microbiana durante la fermentación del cacao.....	15
Figura 1-7 Principales cambios bioquímicos durante la fermentación.....	16
Figura 1-8 Métodos de fermentación.....	17
Figura 1-9 Métodos de secado	18
Figura 1-10 Principales catequinas que se encuentran en el cacao.....	21
Figura 2-1 Materiales utilizados para tapar el fermentador.	34
Figura 2-2 Relación entre los métodos de fermentación usados en la región de Arauca ...	35
Figura 2-3 Tipos de fermentadores utilizados en la región de Arauca en el beneficio del cacao.	36
Figura 2-4 Secadoras solares utilizadas en la región de Arauca.....	37
Figura 2-5 Relación entre las secadoras utilizadas en la región de Arauca.....	38
Figure 3-1 Fermentador rotatorio.....	55
Figure 3-2 Fermentador caja de madera	56
Figure 3-3 Secador solar	56
Figure 3-4 Comportamiento de la temperatura durante la fermentación	59
Figure 3-5 Comportamiento del pH durante la fermentación.....	60
Figure 3-6 Comportamiento de la acidez titulable durante la fermentación	62
Figure 3-7 Cambios en la masa durante la fermentación.....	64
Figure 3-8 Prueba de corte de los días 0,4,6 y 8 de fermentación	63
Figure 3-9 Polifenoles totales en el fermentador rotatorio.	66
Figure 3-10 Polifenoles totales en el fermentador cajón de madera.....	66
Figura 4-1 Sistema de microfermentadores	75
Figura 4-2 prueba de corte	72
Figura 4-3 Concentración de polifenoles totales	81

Lista de tablas

Tabla 1-1 Parámetros físicos y químicos del grano de cacao, utilizados por las industrias transformadoras en Colombia para su clasificación.....	12
Tabla 1-2 Requisitos del grano de cacao establecidos por la Norma Técnica Colombiana.....	12
Tabla 2-1 Parámetros físicos del cacao fermentado y seco de Arauca.....	41
Tabla 2-2 Parámetros bromatológicos del cacao fermentado y seco de Arauca.....	42
Tabla 2-3 Caracterización sensorial de cacao fermentado y seco de Arauca.	43
Table 3-1 Prueba de corte para los granos de cacao en diferentes días de fermentación.....	63
Tabla 4-1 PH, acidez e índice de fermentación de los granos de cacao.....	78
Tabla 4-2 Resumen para el análisis de varianza para pH, acidez titulable e índice de fermentación.....	79
Tabla 4-3 Porcentaje de inhibición de los radicales DPPH y ABTS+.....	82
Tabla 4-4 Resumen para el análisis de varianza para polifenoles totales, DPPH y ABTS+.....	82

Introducción

La demanda de cacao en el mundo es impulsada por el mercado de confitería de chocolate, el cual exige granos con buenas características, esto es, granos de buena calidad sensorial, físico química, nutricional, entre otros. Actualmente, Colombia es el décimo productor mundial —con cuarenta y ocho mil ton al año (ICCO, 2016)— y su cacao se encuentra catalogado como *fino* y de *aroma* (ICCO, 2015), lo cual le confiere los estándares de calidad para ser competitivo en el mercado. Sin embargo, su calidad se ve afectada por diversos factores, sobre todo en la etapa poscosecha, por cuanto durante la fermentación y el secado, es incipiente entre los diferentes actores de la cadena productiva de cacao. De manera que intervenir el proceso de poscosecha, para garantizar granos con un óptimo potencial de sabor y aroma, es de suma importancia.

Para una mejor comprensión de lo planteado, valga exponer las etapas de la poscosecha. La primera etapa, es decir, la fermentación, es un proceso espontáneo, en el que mediante la intervención de levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias ácido acéticas, se desencadena una serie de reacciones bioquímicas que dan como resultado los compuestos llamados *precursores de sabor*. Un cacao con una fermentación deficiente posee características de sabor desagradables, como astringencia, y una acidez elevada, afectando directamente la calidad sensorial del grano (Portillo, 2006). La segunda etapa poscosecha es el secado, cuyo objetivo principal es reducir la humedad de los granos hasta hacer seguro su almacenamiento, lo cual ocurre cuando alcanza una humedad de 7%; además, en esta etapa continúan las reacciones de condensación que inician en la fermentación y dan lugar a compuestos volátiles y otros precursores del sabor. Los métodos de la fermentación y secado varían entre países, regiones y, muchas veces, entre agricultores de misma región, lo que hace importante evaluar cómo estas actividades influyen en los atributos de calidad de los granos de cacao.

Para hacer frente a los diferentes retos que impone el mercado del cacao, y teniendo en cuenta lo dicho hasta aquí, en el presente estudio se identificaron las diferentes prácticas que se desarrollan durante la poscosecha o beneficio de los granos de cacao aplicadas en las principales zonas cacaoteras del departamento de Arauca, con el fin de determinar aquellos

factores que durante el proceso hacen vulnerable o, por el contrario, fortalecen la cadena productiva del cacao en la región y, de esta manera, poder extrapolarlo a lo que ocurre de manera general a nivel nacional.

Visto así, un factor que interviene en las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso fermentativo, es el uso de diferentes métodos. Tradicionalmente, se conoce el uso de cajones de madera, sean sencillos o en escalera, sacos de yute y canecas plásticas. Como alternativa a estos métodos, y con miras a facilitar las prácticas poscosecha, se evaluó un fermentador plástico rotatorio, para esto se llevaron a cabo dos fermentaciones simultáneas, una en un cajón sencillo de madera y otra en un fermentador plástico rotatorio para comparar como afecta el uso de cada uno de ellos en la calidad final del grano. Un segundo factor que se logró establecer es cómo la frecuencia de remoción de la masa y el tiempo final de fermentación tienen influencia en las características fisicoquímicas de la actividad antioxidante del grano de cacao.

La investigación se llevó a cabo en tres lugares geográficos distintos, cada uno caracterizado por ser una zona cacaotera, estos lugares fueron: algunos municipios del departamento de Arauca, Trinidad y Tobago y por último San Roque - Antioquia y de esta manera formar una idea general de las prácticas poscosecha, ya que como se mencionó anteriormente, éstas son variables entre regiones. El trabajo está dividido en tres etapas, en cada una se estudiaron aspectos diferentes de la fermentación y la manera en que estos influyen en las características finales del grano de cacao.

Así, esta investigación tiene como objetivo evaluar diferentes aspectos de la fermentación; de otra, cómo estos influyen en la obtención de granos que cumplan con los requerimientos de un grano de calidad que exige el mercado, con el fin de contribuir a la dinámica de la cadena productiva del cacao a nivel nacional, fortaleciendo los procesos poscosecha, por medio del conocimiento científico, en especial, en la etapa de fermentación para lograr un cacao que cumpla con los estándares de calidad.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de los diferentes procesos de fermentación durante la poscosecha del grano de cacao y su relación con la calidad.

Objetivos específicos

- Determinar la influencia de las prácticas de beneficio sobre las propiedades fisicoquímicas, bromatológicas y sensoriales del cacao cultivado en el departamento de Arauca, en los municipios de Arauquita, Tame, Fortul y Saravena.
- Comparar las propiedades fisicoquímicas del grano de cacao, provenientes de dos métodos de fermentación, estableciendo su relación con la calidad del grano de cacao.
- Evaluar el tiempo y la frecuencia de volteo durante la fermentación, en relación con su influencia en los parámetros físicos de calidad y en la actividad antioxidante.

Capítulo 1. Marco teórico

Generalidades del cacao

*Theobroma cacao*¹ es el nombre griego para el árbol del cacao o cacaotero. El fruto del cacaotero, comúnmente llamado *mazorca de cacao* (Rodríguez, 2011), es una baya ovoide de aproximadamente 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, con surcos a lo largo, y un peso entre 200 y 1000 g. Es de color amarillo, rojo, naranja, verde o café, dependiendo del genotipo. En su interior, contiene de 20 a 40 semillas, recubiertas por una pulpa mucilaginososa de color blanco, rica en azúcares y de sabor ácido (figura 1-1) (Doster, Roque, Cano, La Torre y Weigend, 2011), razón por la cual al cacao fresco o recién extraído de la mazorca se le denomina *cacao en baba* (Bravo, Nataly, Mingo, 2011).

Figura 1-1 El cacao



Fuente: elaboración propia

*A) Frutos del cacao, B) árbol del cacao C) cacao en baba D) flor del cacao

¹ *Theobroma* significa en griego: «alimento de los dioses», cacao deriva del náhuatl: *cacáhua*.

El cacao puede ser clasificado según su genotipo, es decir, según su linaje genético, determinado por su origen histórico o por su fenotipo, o sea, el lugar específico donde fue cultivado el árbol del cual se obtuvo el cacao. Existen tres tipos de cacao comerciales: criollo, trinitario y forastero (Baptista, 2009).

- *Cacao criollo*: corresponde a mazorcas cilíndricas, de cáscara delgada, de color rojo o amarillo y una semilla grande y redonda de color blanco o ligeramente púrpura (Baptista, 2009). Debido a la fragilidad de su árbol, y susceptibilidad a enfermedades, sólo representa el 5% de la producción mundial. En Latinoamérica, se cultiva, principalmente, en México, Nicaragua, Venezuela, Colombia, Ecuador. Su sabor es, por excelencia, fino, delicado, suave, y su aroma es intenso (Sánchez, 2007).
- *Cacao forastero*: se caracteriza por tener mazorcas amelonadas, de color verde en estado inmaduro, y amarillas en estado de madurez. Es la variedad más común, pero también es la más robusta y la que da más cantidad de frutos. Sin embargo, es el árbol que produce el grano menos aromático (Sánchez, 2007). En la actualidad, es el de mayor presencia en Asia y África, y su cultivo representa el 85% de la producción mundial (Durán, 2008).
- *Cacao trinitario*: es un genotipo que se obtiene del cruce del genotipo forastero y criollo. Es el cacao que más se cultiva en América. Incorpora aspectos de las variedades criollo y forastero. Su sabor es afrutado y perfumado y presenta un amplio rango de sabores (Sánchez, 2007).

El cultivo del cacao en el mundo

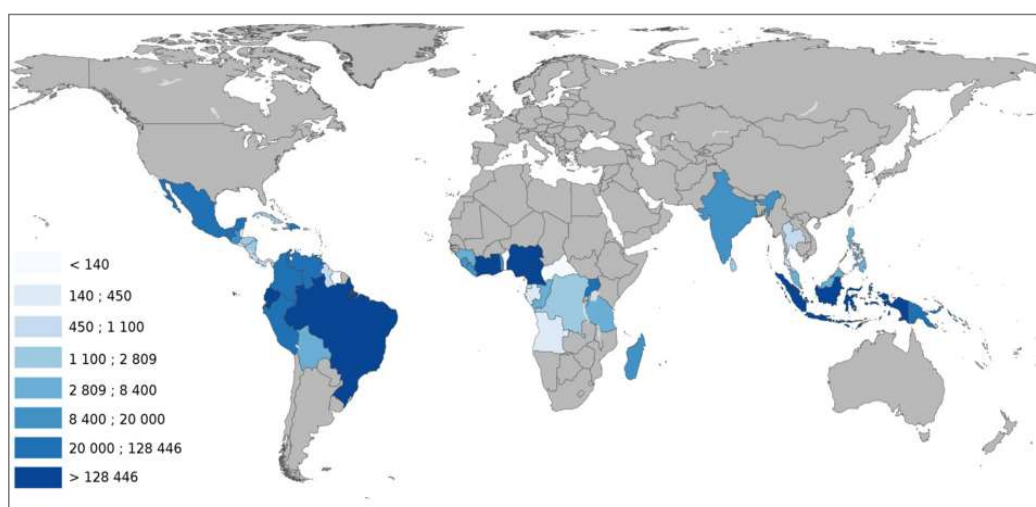
Las condiciones más propicias para el cultivo del cacao se encuentran confinadas a las áreas de los bosques húmedos tropicales, concentrando su producción en una banda estrecha no mayor de 20° al norte y al sur de la línea ecuatorial. Así mismo, para obtener una buena

producción de cacao, la temperatura debe mantenerse entre 21 °C y 32 °C, y una precipitación anual entre 1150 y 2500 mm (Rohan, 1964).

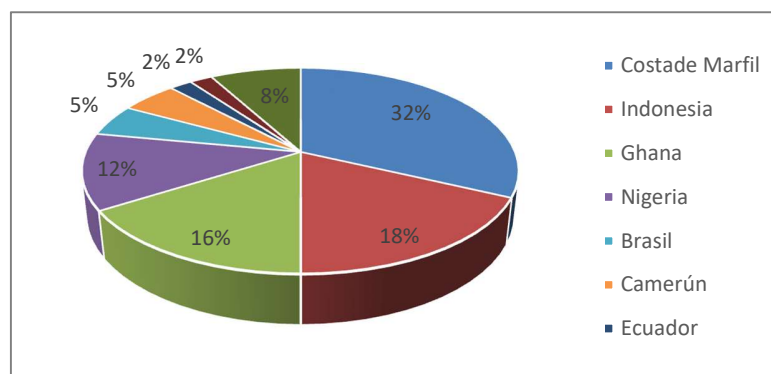
Según la Fundación Mundial del Cacao, el número de cultivadores alrededor del mundo está entre cinco y seis millones de personas, de las cuales entre un 90% y un 95% son típicamente pequeños agricultores, con fincas de un promedio de 3 ha (ICCO, 2016). Estas produjeron en los años 2014 y 2015 alrededor de 4,3 millones de toneladas (Mt). La producción mundial de cacao en grano se concentra principalmente en el oeste de África, Asia, Centro y Suramérica (figura 1-2) En esta línea, los principales países productores son: Costa de Marfil con una producción de 1,73 Mt Ghana con 0,920 Mt, Indonesia con 420 mil ton, Nigeria con 240 mil ton y Brasil con 210 mil ton (figura 1-3). Cabe indicar que Colombia ocupa el décimo lugar, con una producción en el año 2014 de 47 mil ton (ICCO, 2016).

Existe una diferencia entre el cacao ordinario, que representa el 95% de la producción mundial, el cual proviene de las variedades forastero, cultivado principalmente en África y Asia y el cacao fino y de aroma que proviene de las variedades criollo o trinitario que representa un 5% de la producción mundial (Durán, 2008).

Figura 1-2. Producción de cacao en el mundo en el año 2013



Fuente: adaptado de Actualitix (2016). *Grano de cacao – producción (toneladas)*.

Figura 1-3. Principales productores de cacao en el mundo.

Fuente: ICCO (2016). *Production of cocoa beans*

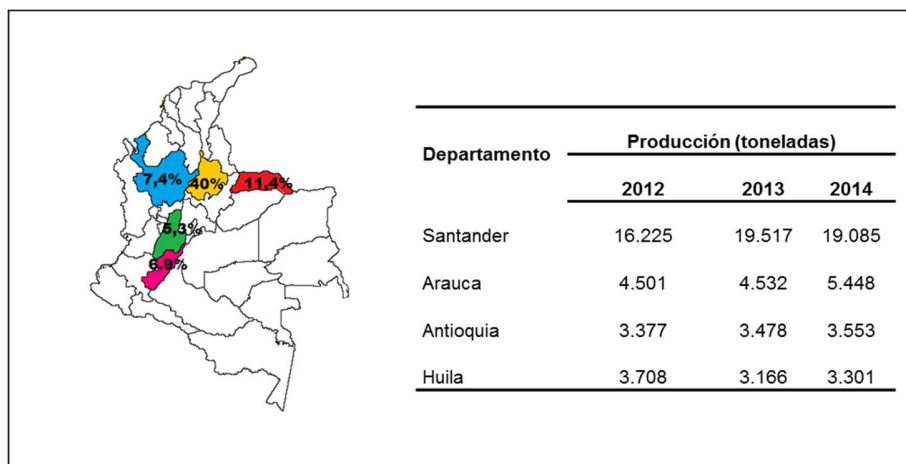
El cultivo de cacao en Colombia

En el territorio nacional,

Las plantaciones de cacao se concentran básicamente en cuatro zonas agroecológicas: i) Montaña Santandereana, que comprende los departamentos de Santander y Norte de Santander. ii) Valles interandinos secos que comprende los departamentos de Huila, sur del Tolima y norte del Magdalena. iii) Bosque húmedo tropical que comprende las zonas de Urabá, Tumaco, Catatumbo, Arauca, Meta y Magdalena y, iv) Zona Cafetera Marginal Baja: Gran Caldas, suroeste de Antioquia, y Norte del Tolima. (Superintendencia de Industria y Comercio, 2014).

El principal productor en el país es el departamento de Santander (40%). En el 2014 obtuvo una producción de 19,085 ton, seguido de Arauca con 5,448 ton; en tercer lugar, Antioquia con 3,553 ton (Fedecacao, 2016) (figura 1-4.).

En los últimos años en Colombia, el material vegetal que se siembra de cacao se denomina *clones*. Se trata de cruces de cacao criollo y trinitario y se reproducen vegetativamente mediante la técnica de injerto, para garantizar la homogeneidad de las características genéticas de las plantaciones (Superintendencia de Industria y Comercio, 2014).

Figura 1-4 Producción de cacao en Colombia

Fuente: Adaptado de Fedecacao (2016). *Producción nacional de cacao en grano por departamentos 2002-2014*.

Calidad del grano de cacao

La calidad es uno de los factores principales que afecta la comercialización internacional de los productos agrícolas. Actualmente, como lo exponen Amores, Jiménez y Peña (2005), las dimensiones que se precisan para la calidad de un producto, establecen un componente importante en cualquier estrategia para crear competitividad en una economía globalizada. Visto así, en el caso de los granos de cacao “la calidad final, resulta de un largo proceso que se inicia en la finca con la selección del material genético, el manejo del cultivo, además de los efectos de los factores climáticos sobre el desarrollo del fruto, continuando con un beneficio que comprende la cosecha, apertura de mazorcas y extracción de semillas, fermentación, secado, clasificación, empaque y almacenamiento del producto” (Reinel, Loor, Bolaños, y Tezara, 2016) (figura 1-5).

Según Afoakwa (2010), los principales aspectos de calidad en el cacao son agrupados en tres áreas principales:

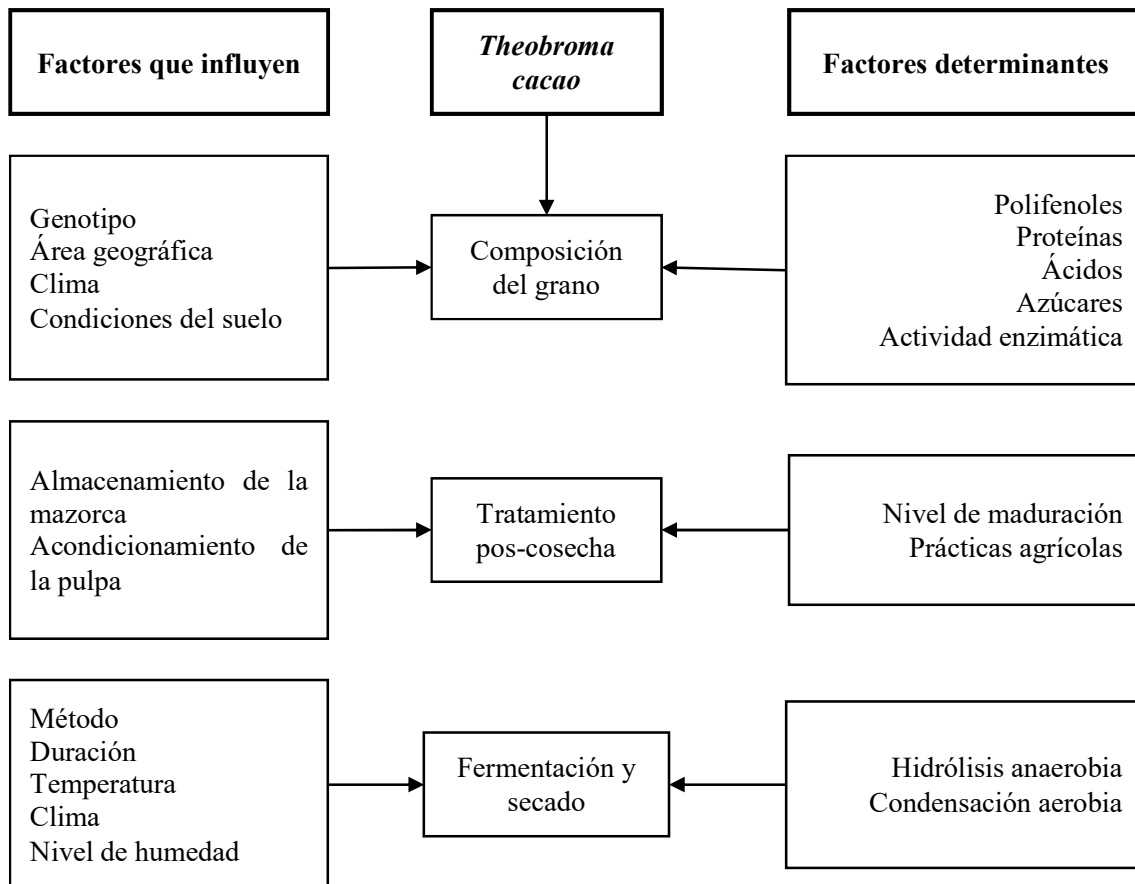
1. *Económica*: está relacionada con los rendimientos del grano, el contenido de manteca de cacao, los granos germinados o infestados que no sirvan para la producción.
2. *Calidad sensorial*: relativo al aroma y sabor de los granos y del licor e incluye factores tales como: la ausencia de sabores desagradables (astringente, ácido, verde), la presencia de sabores auxiliares deseables (por ejemplo: floral, especiado, frutal) y algunas propiedades físicas, tales como: la dureza de la manteca de cacao, la temperatura de fusión y el comportamiento de solidificación.
3. *Salubridad*: se refiere a la seguridad alimentaria (micotoxinas, microorganismos, pesticidas, metales pesados, o materiales extraños). Los límites están regulados por la legislación alimentaria nacional en el país donde se encuentra la fábrica o hacia donde se comercializa.

Clasificación comercial del cacao

El mercado del cacao establece unos parámetros mínimos que deben cumplir los granos para su comercialización, así como grado de fermentación y de humedad. De ahí que el grano debe estar libre de insectos, moho y materiales extraños (tabla1-1) y (tabla1-2). En cuanto al mercado internacional, este clasifica el cacao, según sus características físicas y sensoriales, como: «cacao fino y de aroma» y «cacao corriente» (Aprotosoie, Luca, y Miron, 2015). El primero, proviene de las variedades criollo y trinitario; posee sabores y aroma distintivos. Solo el 5% de la producción mundial hace parte de este grupo; América Latina y el Caribe aportan el 80%, en contraste con Asia y Oceanía que solo aportan el 18%, y África el 2% (Amores *et al.*, 2005). El segundo, por su parte, es un tipo de cacao que representa más del 95 % de la producción. Procede en su mayoría de África, Asia y Brasil, y pertenece a la variedad forastero. En gran parte, este cacao se destina para la producción

de manteca de cacao, y alimentos con un bajo porcentaje de cacao, como es el caso de la confitería (Amores *et al.*, 2005).

Figura 1-5 Factores que intervienen en la calidad del grano de cacao



Fuente: Adaptado de Afoakwa *et al.* (2008). *Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review.*

Parámetros físicos para establecer la calidad del grano de cacao

Prueba de corte

La clasificación del cacao en los países productores se basa en la estimación visual de la calidad del grano por medio de un procedimiento conocido como «prueba del corte» descrita en la NTC 1252 (2003) de la siguiente manera:

La prueba del corte consiste en cortar a lo largo unos 100 granos como mínimo, para desnudar la sección con la mayor cantidad de la parte media de los cotiledones. Se examinan individualmente y se determina el porcentaje de grano de distintas categorías. Si se necesita medir el grado de fermentación, se establecen tres categorías adicionales:

1. Granos totalmente fermentados, de color pardo, con las espiras de los cotiledones que tienden a separarse cuando el grano está convenientemente seca.
2. Si se puede apreciar algo de color azul o púrpura, entonces estos granos, que están parcialmente fermentadas, se clasifican como parcialmente parda o parcialmente púrpura. Si toda la superficie de corte es azul o púrpura, sin manchas pardas y los cotiledones están juntos comprimidos fuertemente, se clasifica el grano como completamente púrpura.
3. Los granos menos fermentados, que se definen en esa clasificación, son de color gris; esto es debido a que las células pigmentadas no han liberado sus contenidos y no se ha producido ninguna de las transformaciones químicas de la fermentación. (p.1).

Las tablas 1-1 y 2-2, presentan los parámetros físicos y químicos, además de otros requisitos que establece la NTC 1252 para el cacao en grano. Entre los parámetros se encuentra el índice de grano, el cual permite determinar el peso promedio de los granos en gramos y el índice de mazorca se define como el número de mazorcas que se necesitan para obtener un kg de cacao seco para cada uno de los clones

Tabla 1-1 Parámetros físicos y químicos del grano de cacao, utilizados por las industrias transformadoras en Colombia para su clasificación.

	Bajo	Normal	Alto
Índice de grano	<1,05	1,05 a 1,2	>1,2
Porcentaje de humedad	6 a 6,5	7 a 8	>8
Porcentaje de grasa	< 52	52 a 55	>55
pH	< 5,0	5,0 a 5,5	>5,5
Índice de mazorca	<15	16 a 20	>21

Fuente: Adaptado de Fedecacao (2005). *Caracterización fisicoquímica y beneficio del grano de cacao (Theobroma cacao L.) en Colombia.*

Tabla 1-2 Requisitos del grano de cacao establecidos por la Norma Técnica Colombiana

Requisitos	Premio	Corriente	Pasilla
Contenido de humedad en % (m/m), máx.	7	7	7
Contenido de impurezas en % (m/m), máx.	0	0,3	0,5
Grano mohoso interno, número de granos /100 granos, máx.	2	2	3
Grano dañado por insectos y/o germinados, número de granos/100 granos, máx.	1	2	2
Contenido de pasilla, número de granos/100 granos, máx.	1	2	
Contenido de almendra en % (m/m), min	-	-	40-60
Masa (peso) en g/100 granos, min	120	105-119	40
Granos bien fermentados, número de granos/100 granos, min	65	65	60
Granos insuficientemente fermentados, números de granos/100 granos, min	25	35	40
Granos pizarrosos, números de granos/100 granos, máx.	1	3	3

Fuente: Norma Técnica Colombiana 1252, 2003. *Cacao en grano*

Beneficio del cacao

El proceso de beneficio contempla dos pasos: la fermentación y el secado. En este, el cacao se prepara como materia prima para la industria, además es el proceso que mayor influencia tiene en el desarrollo de los precursores del sabor y aroma a chocolate; de esta manera se acondiciona el cacao para su comercialización a nivel nacional e internacional y define la calidad final (Recalde, 2007).

Fermentación

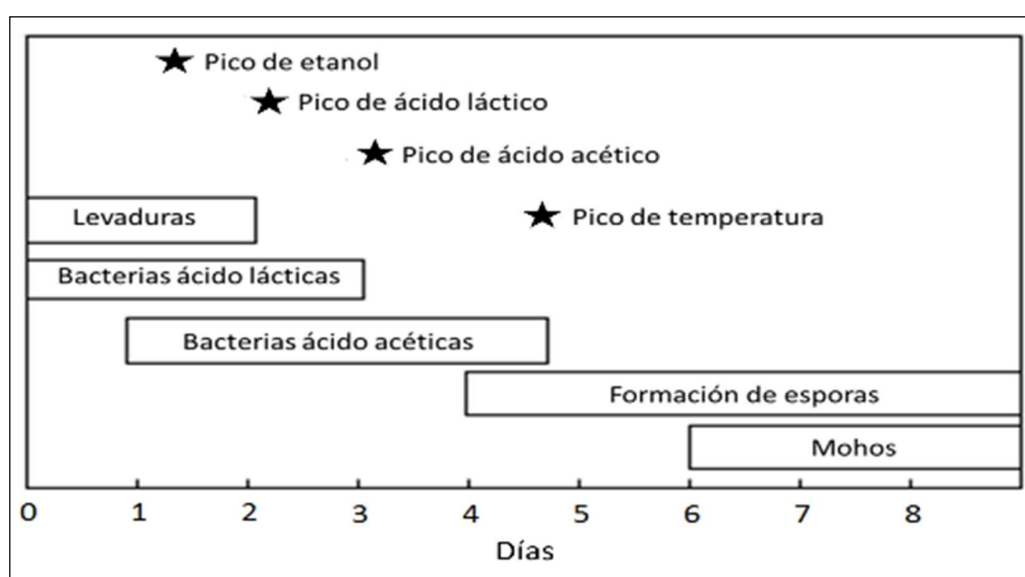
La fermentación de los granos de cacao es la combinación de reacciones microbianas y enzimáticas que ocurren en la pulpa. La naturaleza cuantitativa y cualitativa de estas reacciones es moderada por varios factores que incluyen: el tipo de cultivar de la planta de cacao, el estado de maduración de las mazorcas, la microbiota natural de la región donde está el cultivo, las condiciones climáticas, además de las prácticas que cada agricultor lleve a cabo durante el proceso (Lima, Almeida, Nout y Zwietering, 2011).

Durante el beneficio del cacao, cuando se expone el interior de la mazorca, se transfieren a las semillas diferentes microorganismos, siendo los principales vectores las manos de los trabajadores, la superficie del fruto, los cuchillos, los contenedores usados en el transporte de la semilla, los insectos que se posan en los granos y los recipientes de fermentación (Schwan y Wheals, 2004). Dos fenómenos importantes ocurren durante la fermentación: a) actividad microbiana en la pulpa mucilaginosa, con producción de alcohol y ácidos, lo que libera calor; b) complejas reacciones bioquímicas en el interior de los cotiledones, iniciadas por la difusión de productos del metabolismo de la pulpa. De acuerdo con lo expuesto por Lima *et al.* (2011), la fermentación del cacao se produce en dos fases; la primera se denomina *anaerobia*, y, la segunda, denominada *aerobia*. En ellas intervienen diferentes grupos de levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y bacterias ácido acéticas (BAA), principalmente (véase la figura 1-6).

- *Fase anaerobia:* en esta primera fase se lleva a cabo la transformación de los azúcares del mucílago, en alcohol etílico y, posteriormente, en ácido láctico, por la intervención, en primera instancia, de levaduras y, luego, de las bacterias lácticas. En ausencia de oxígeno proliferan diferentes especies de levaduras, lo que genera un aumento de temperatura en la masa de fermentación entre 30°C y 35°C, y una acidificación del medio, lo que genera un inicio en el rompimiento de las células de la pulpa durante las primeras 24 h (Lagunes y Loiseau, 2007). En esta fase, las especies más frecuentes son las del tipo *Saccharomyces* (en particular, *S. cerevisiae*, *Candida krusei*, *Kloeckera apiculata*, *Pichia fermentans*, *anomola Hansenula* y *Schizosaccharomyces pombe*), según expresa Schwan y Fleet (2015). Las levaduras utilizan los azúcares fermentables presentes en la pulpa para producir etanol y dióxido de carbono, y algunas también secretan enzimas pectinolíticas, las cuales ayudan a solubilizar la pulpa (Ho, Zhao y Fleet, 2014). Luego de veinticuatro horas, la población de levaduras comienza a decrecer lentamente, favoreciendo el crecimiento de las BAL, las cuales alcanzan su pico después de treinta y seis horas de inicio de la fermentación (Saltini, Akkerman y Frosch, 2013). Su principal actividad es degradar la glucosa de la pulpa en ácido láctico (Medina y Vargas, 2009). Las especies más abundantes son: *Lactobacillus fermentum*, *Lb. plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides*, y *Lactococcus (Streptococcus) lactis* (Schwan y Fleet, 2015).
- *Fase aerobia:* esta fase inicia con la aireación de los granos; comúnmente, después de cuarenta y ocho horas, con la incorporación de oxígeno en la masa, la población de BAL decrece y se crean las condiciones favorables para el desarrollo de las BAA, principalmente, *Acetobacter pasteurianus*. Estas bacterias son las responsables de la oxidación del etanol a ácido acético y luego a dióxido de carbono y agua. Estas reacciones son exotérmicas, lo que hace que la temperatura de la masa se incremente hasta los 50°C. Todo esto, ocasiona la difusión de alcohol y ácido acético al interior del grano y la inhibición de la germinación; es así como se desencadenan una serie de reacciones bioquímicas que llevan a la formación de los precursores del sabor

(Lagunes, Loiseau, Luis, Barel y Guiraud, 2007; Saltini *et al.*, 2013; Schwan y Fleet, 2015; Schwan y Wheals, 2004).

Figura 1-6 Esquema de la sucesión microbiana durante la fermentación del cacao



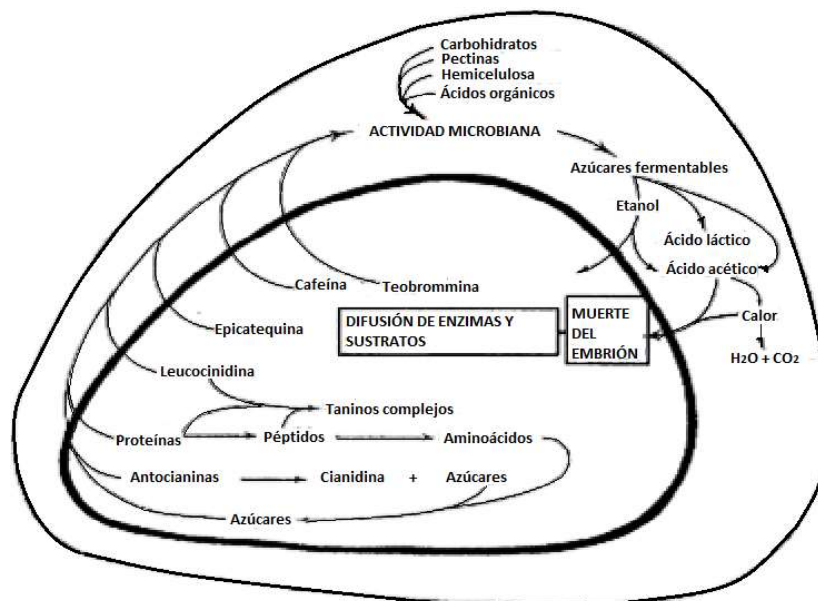
Fuente: adaptado de Schwan y Wheals, (2004). *The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality*

Bioquímica de la fermentación del cacao

La cascarilla del grano de cacao es permeable a muchas sustancias de bajo peso molecular; por tal motivo, el alcohol, el ácido acético, como también otros metabolitos, son absorbidos conjuntamente con el agua. Así lo muestra la figura 1-7 (Hansen, Del Olmo y Burri, 1998). La semilla se hincha y se generan cambios físicos y químicos que producen los precursores del sabor a chocolate (Orcés y Pazmiño, 2012). En la fermentación, durante la fase anaeróbica, la sacarosa es parcialmente hidrolizada a azúcares reductores; por su parte, las proteínas son sometidas a proteólisis en péptidos y aminoácidos, y los polifenoles son hidrolizados y oxidados. En la fase aeróbica, se caracteriza por reacciones oxidativas y de condensación —como la reacción de oxidación de los complejos polifenol-proteína y la

condensación del cabonil-amino— las cuales reducen la astringencia e influyen el sabor final del cacao (Afoakwa *et al.*, 2008; López y Dimick, 1995).

Figura 1-7. Principales cambios bioquímicos durante la fermentación



Fuente: Lopez y Dimick, (1995). *Cocoa Fermentation*

Métodos de fermentación

- Fermentación en montones: consiste en formar pilas con las almendras sobre un tendido de madera o de hojas de plátano, de manera que los lixiviados drenen fácilmente. Generalmente, estas pilas se cubren con hojas de plátano o sacos de yute para proporcionar a la masa las condiciones propias de temperatura (figura 1-8, A) (Sánchez, 2007).
- Fermentación en cajones sencillos de madera: los cajones son construidos con tabloncillos de maderas finas, resistentes a la humedad, tales como: el cedro o el nogal, y otras de tipo blando, que carecen de resinas y no desprenden sustancias extrañas

que interfieran en la calidad final del grano. Para cubrir el cajón se utilizan hojas de plátano o sacos de yute, además de la cubierta del cajón, la cual, generalmente, es del mismo material (figura 1-8, B) (Preciado, Ocampo y Possú, 2011).

- Fermentación en tambor rotatorio: son cilindros horizontales de madera, completamente cerrados, con un eje en el centro, el cual permite airear la masa con movimiento de palanca (Figura 1-8, C) (Lima *et al.*, 2011)
- Fermentación en saco (costal): la masa de fermentación se introduce en sacos de polipropileno o de yute de 5 a 7 días. En la mayoría de los casos en éste método de fermentación no se airea la masa (Figura 1-8, D) (Lima *et al.*, 2011).

Figura 1-8 Métodos de fermentación



Fuente: elaboración propia

*A) Fermentación en montón, B) cajón de madera, C) tambor rotatorio D) saco

Secado

El contenido de humedad en los granos fermentados es alrededor del 55%, pero para un almacenamiento seguro debe bajar a menos del 7% (Guehi, Zahouli, Ban-Koffi, Fae y Nemlin, 2010). El secado se lleva a cabo usando secadores de sol (figura 1-9, A) o secadores artificiales de aire caliente (figura 1-9, B). Durante el secado continúan las reacciones iniciadas en la fermentación, sigue disminuyendo el amargor y la astringencia de los polifenoles, se completan los cambios de color en las almendras; en los cotiledones, se observa un color pardo o canela. Por esto, el contenido de humedad debe disminuir lentamente, en un lapso de 5 a 7 días, cuando se hace al sol, para favorecer que se completen las reacciones de oxidación responsables del sabor y el aroma del cacao; de lo contrario, se corre el riesgo de inactivar 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 al aplastamiento de los granos, lo cual genera cutículas arrugadas, determinantes de la calidad del producto (Payne, Hurst, Miller, Rank, y Stuart, 2010).

Figura 1-9. Métodos de secado



Fuente: elaboración propia
*A) secador natural, B) secador artificial

Componentes químicos del grano de cacao

Los granos de cacao están formados por células epidérmicas, células parenquimatosas de reserva que contienen los lípidos, las proteínas y el almidón; y las células con pigmentos responsables de la coloración del grano, gracias a su contenido de polifenoles y purinas (Recalde, 2007).

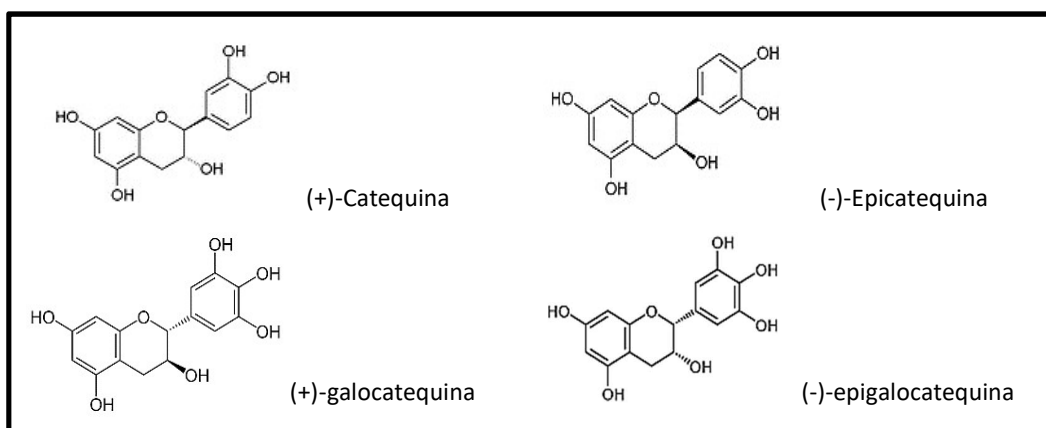
- *Lípidos*: la manteca de cacao constituye entre el 50% y 57% del peso seco de los granos de cacao. Los triglicéridos son el mayor componente, con alrededor de 97% de la composición total; la fracción restante está compuesta por ácidos grasos libres, mono y diglicéridos, fosfolípidos y glicolípidos (Lima *et al.*, 2011). Los ácidos grasos predominantes son saturados (esteárico: 18:0, 35%; y palmítico: 16:0, 25%) e insaturados (oleico: 18:1, 35%) (Aprotosoai *et al.*, 2015). Varios autores establecen que un contenido de grasa por debajo de 52% es bajo y 35% es un límite crítico que afecta las características físicas y sensoriales de los granos (Araujo y Fernandes, 2014; Fedecacao, 2005). Además, la concentración de los ácidos grasos determina la calidad nutricional del cacao. Lima *et al.*, (2011) reportaron que estas concentraciones varían de acuerdo a la variedad del cacao, la edad de la planta, el tiempo de cosecha, y también durante el proceso de beneficio. Un factor que influye en estas concentraciones es el tiempo de fermentación
- *Carbohidratos*: los granos de cacao contienen cerca de 2% a 4% en peso seco de azúcares libres (fructosa, sacarosa, glucosa, xilosa, arabinosa) y un 12% en peso seco de polisacáridos (almidón, pectinas, celulosa) (Aprotosoai *et al.*, 2015). En los granos sin fermentar, la sacarosa representa el 90% de los azúcares totales, pero durante la fermentación es convertida en azúcares reductores (fructosa y glucosa), debido a la actividad de la invertasa (Afoakwa, Kongor, Takrama, y Budu, 2013). Durante la tosti3n, los azúcares reductores intervienen en el desarrollo del sabor del chocolate a través de las reacciones de Maillard con los aminoácidos (Ho *et al.*, 2014).

-
- *Proteínas y aminoácidos*: el contenido de proteínas es entre el 10% y el 16% en peso seco de los granos de cacao; el 52% son albúminas y el 43% son globulinas (Afoakwa, Quao, Budu, Takrama, y Saalia, 2011; Aprotosoai *et al.*, 2015). Algunos péptidos, y aminoácidos libres como leucina, fenilalanina y tirosina hacen parte de los componentes más importantes que contribuyen a la formación del sabor durante la fermentación. Estos son formados por la reacción proteolítica de la aspártico-proteasa y la carboxipeptidasa (Puziah, Jinap, Sharifah, y Asbi, 1998). Los péptidos hidrófobos y los aminoácidos libres participan en la reacción de Maillard durante la tostión (Ho *et al.*, 2014).
 - *Polifenoles*: Los polifenoles en el cacao representan aproximadamente de 14% a 20% en peso seco (Camú *et al.*, 2008), siendo los más abundantes los de tipo flavonoides, especialmente tres grupos básicos con un núcleo común, tipo flavan-3-ol, antocianinas (4%), catequinas (37%) y proantocianidinas (58%) (Wollgast y Anklam, 2000). En su mayoría, la fracción de antocianinas consiste en cianidina-3-arabinnosa y cianidina-3-D-galactosa. De las catequinas la principal es la (-)-epicatequina que representa cerca del 30% del contenido de polifenoles del grano; otras minoritarias son (+)-catequina, (+)-galocatequina y (-)-epigalocatequina (figura 1-10). Entre las proantocianidinas, las más abundantes son aquellas unidades diméricas, triméricas y oligoméricas de epicatequina y flavan-3,4-diol, tal como lo expone Jinap, Jamilah y Nazamid, (2004).

Estos compuestos juegan un rol en la calidad de los granos y en los alimentos derivados del cacao, ya que intervienen en el olor, el color, la acidez, la astringencia y el sabor amargo. Actúan, principalmente, en la etapa de fermentación y secado de la poscosecha (Hansen, Del Olmo, y Burri, 1998). Durante la fermentación, y mediante la combinación de actividades enzimáticas endógenas y exógenas, mediadas estas por microorganismos, junto con la difusión de metabolitos dentro y fuera del cotiledón, los polifenoles se polimerizan y reaccionan con otros compuestos para formar complejos, lo cual disminuye su solubilidad reduciendo el

sabor amargo y la astringencia de los granos. Así mismo, da lugar al color marrón, propio de los granos bien fermentados. Este proceso continúa hasta terminar el secado (Di Mattia *et al.*, 2013).

Figura 1-10. Principales catequinas que se encuentran en el cacao



Fuente : adaptado de Cadena y Herrera, (2008). *Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su capacidad antioxidante.*

Referencias

- Afoakwa, E., Kongor, J., Takrama, J., y Budu, A. (2013). Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 20(3), 1215–1222.
- Afoakwa, E. O. (2010). Industrial chocolate manufacture – Processes and factors influencing quality. *Chocolate Science and Technology*, 35–57.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., y Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840–857.
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Budu, A. S., Takrama, J., y Saalia, F. K. (2011). Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) beans, 62 (11), 755–764.
- Amores, F., Jimenez, J., y Peña, G. (2005). Influencia del tiempo de fermentación y el tostado sobre el desarrollo de compuestos aromáticos asociados al sabor a cacao en almendras de cacao Nacional. *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias*, 7.
- Aprotosoai, A. C., Luca, S. V., y Mirón, A. (2015). Flavor chemistry of cocoa and cocoa products—an overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 73–91.
- Baptista, L. (2009). Guía técnica el cultivo de cacao de la Republica Dominicana, Santo Domingo. Santo Domingo. Centro Para El Desarrollo Agropecuario Y Forestal CEDAF, 250.
- Bravo, Nataly; Mingo, F. (2011). Valoración de tres métodos de fermentación y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma (*Theobroma cacao L.*) en la parroquia Panguitza del Cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe. *Universidad Nacional de Loja*, 244.
- Cadena, T., y Herrera, Y. (2008). Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su capacidad antioxidante. *Universidad Industrial de Santander*, 91
- Camu, N., de Winter, T., Verbrugghe, K., Cleenwerck, I., Vandamme, P., Takrama, J. S., Vancanneyt, M., and de Vuyst, L. (2007). Dynamics and biodiversity of populations of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria involved in spontaneous heap fermentation of cocoa beans in Ghana. *Applied and Environmental Microbiology*. 73:1809–1824.
- Di Mattia, C., Martuscelli, M., Sacchetti, G., Scheirlinck, I., Beheydt, B., Mastrocola, D., y Pittia, P. (2013). Effect of fermentation and drying on procyanidins, antiradical activity and reducing properties of cocoa beans. *Food and Bioprocess Technology*, 6(12), 3420-3432.
- Doster, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M. (2011). Cacao *Theobroma cacao L.* *Hoja Botánica*, 19 p.

- Fedecacao. (2005). Caracterización fisicoquímica y beneficio del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. Federación Nacional de Cacaoteros. Retrieved from http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_09B.pdf
- Fedecacao. (2016). Producción nacional de cacao en grano por departamentos 2002-2014. Retrieved from <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>
- Guehi, S., Zahouli, I. B., Ban-Koffi, L., Fae, M. A., y Nemlin, J. G. (2010). Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1564–1571.
- Hansen, C. E., Del Olmo, M., y Burri, C. (1998). Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(2), 273–281.
- Ho, V. T. T., Zhao, J., y Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 72–87.
- ICCO. (2015). Deliberation of the 2015 ad hoc panel on the review of annex “C” of the international cocoa agreement. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1).
- ICCO. (2016). Production of cocoa beans. Production - Latest figures from the Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics (Vol. XLII). Retrieved from <http://www.icco.org/about-us/international-cocoa.html>
- Jinap, S., Jamilah, B., y Nazamid, S. (2004). Sensory properties of cocoa liquor as affected by polyphenol concentration and duration of roasting. *Food Quality and Preference*, 15(5), 403–409.
- Lagunes, S., Loiseau, G., Luis, J., Barel, M., y Guiraud, J. (2007). Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic, 114, 124–130.
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, M. J. R., y Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L., “The Food of the Gods”: Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761.
- Lopez, A. S., y Dimick, P. S. (1995). *Cocoa Fermentation. Biotechnology Second, Completely Revised Edition*, 562–577.
- Medina, J. D. L. C., y Vargas, O. (2009). CACAO: Operaciones Poscosecha. Instituto Tecnológico de Veracruz, 1–78. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
- Norma Técnica Colombiana (2003). NTC 1252. Cacao en grano. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá.
- Orcés, N., y Pazmiño, A. (2012). “Mejoramiento

- de las Características Sensoriales del Cacao CCN51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación.” Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Payne, M., Hurst, J., Miller, K., Rank, C., y Stuart, D. (2010). Impact of Fermentation , Drying , Roasting , and Dutch Processing on Epicatechin and Catechin Content of Cacao Beans and Cocoa Ingredients, 10518–10527.
- Preciado, O., Ocampo, C. I., y Possú, W. B. (2011). Caracterización del sistema tradicional de producción de cacao (*Theobroma cacao L.*), en seis núcleos productivos del municipio de Tumaco, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2), 58-69.
- Portillo, L. (2006). Efecto de algunos factores post-cosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao L.*). *Rev. Fac. Agron.*, 23, 49–57.
- Puziah, H., Jinap, S., Sharifah, K., y Asbi, A. (1998). Changes in Free Amino Acid, Peptide-N, Sugar and Pyrazine Concentration during Cocoa Fermentation. *Journal of Science, Food and Agriculture*, 78, 535 – 542.
- Recalde, A. (2007). Evaluación del efecto del presecado y tiempo de fermentación, en los contenidos de polifenoles totales, alcaloides y ácidos volátiles en dos genotipos de cacao. Universidad Central del Ecuador.
- Reinel, V., Loor, O., Bolaños, M., y Tezara, W. (2016). Efectos del tipo de cacao en la calidad organoléptica del cacao (*Theobroma cacao*) en Esmeraldas, Ecuador. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación Y Saberes*, 22–38.
- Rodríguez, J. (2011). Estudio de los compuestos volátiles de *Theobroma cacao L.*, durante el proceso tradicional de fermentación, secado y tostado, 20. Retrieved from <http://www.repositoriodigital.ipn.mx>
- Rohan, T. a. (1964). The precursors of chocolate aroma: A comparative study of fermented and unfermented cocoa beans. *J Food Sci*, 456–459.
- Saltini, R., Akkerman, R., y Frosch, S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29(1), 167–187.
- Sanchez, V. (2007). Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao*), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interes comercial. Las Ríos: Universidad Técnica estatal de Quevedo.
- Schwan, R., y Fleet, G. (2015). *Cocoa and Coffee Fermentations* (first). CRC Press. London.
- Schwan, R., y Wheals, A. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205–221.

- Superintendencia de Industria y Comercio. (2014). Cadena productiva del cacao: diagnóstico de libre competencia, 5. Retrieved from <http://www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Cacao.pdf>.
- Wollgast, J. and Anklam, E. (2000). Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: Changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*. 33:423–447

Capítulo 2. Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao (*Theobroma cacao*) en el departamento de Arauca

Lina Cardona Velásquez, Eduardo Rodríguez Sandoval, Edith Cadena Chamorro

Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Medellín, Antioquia, Colombia.

Resumen

Arauca es el segundo productor de cacao en Colombia; pero sus características de calidad se ven afectadas por las prácticas de beneficio aplicadas, es decir, por los procesos de fermentación y secado. Por ello, el objetivo de esta investigación va dirigido a identificar las prácticas de beneficio del cacao que se realizan en las principales zonas cacaoteras del departamento de Arauca. En virtud de lo dicho, se realizó trabajo de campo en fincas cacaoteras ubicadas en los municipios de Saravena, Fortul, Tame y Arauquita, en el departamento de Arauca, donde se obtuvo información acerca de la identificación de la finca, las características de cultivo, y las prácticas de cosecha y beneficio. El resultado mostró que en Arauca la mayoría de las fincas cacaoteras, en la etapa de fermentación utilizan cajones de madera sencillos, y tipo escalera; costales, canecas de plástico y cajón de cemento; además, la fermentación se elabora directamente en el suelo, a través de un apilamiento del grano. Con respecto a la etapa de secado solar, se mencionan estructuras como casa elba (secadores móviles), tendales y marquesina, como los métodos más desarrollados en el beneficio. En la región de Arauca existe una relación directa entre las etapas de fermentación y secado, y los factores socioeconómicos y culturales, relación que se expresa en la heterogeneidad de las características finales del grano de cacao que produce esta región.

Palabras clave: fermentación, secado,

Introducción

La producción mundial de cacao en grano se concentra en los países tropicales, principalmente, en los continentes de África y América. Según la Fundación Mundial del Cacao, el número de sus cultivadores alrededor del mundo está entre cinco y seis millones de personas, quienes producen un total cercano a los 4,3 millones de toneladas. Según datos suministrados por The International Cocoa Organization² (ICCO), en el año 2015, los países con mayor producción de cacao fueron, en orden de importancia, Costa de Marfil (1,73 millones toneladas), Ghana (920 mil toneladas), Indonesia (420 mil toneladas) y Nigeria (240 mil toneladas). En América se destaca la participación de Brasil (210 mil toneladas) y Ecuador (191 mil toneladas). Por su parte, en Colombia la producción de cacao en 2014 se concentró en Santander (19 mil toneladas), Arauca (5,5 mil toneladas), Antioquia (3,5 mil toneladas) y Huila (3,3 mil toneladas) (Fedecacao, 2016).

El departamento de Arauca se encuentra ubicado en la Región de la Orinoquia en el nororiente de Colombia. Su relieve está constituido por tres conjuntos morfológicos: la cordillera Oriental, el piedemonte y la llanura aluvial; los últimos dos ocupan el 80% del territorio; la temperatura ambiente promedio es de 35°C y la humedad relativa en tiempo seco es del 40% (Gobernación de Arauca, 2012). Está constituido por siete municipios: Tame, Saravena, Arauquita, Fortul, Cravo Norte, Puerto Rondón y Arauca la capital. Su actividad económica se centra en el petróleo, la ganadería y la agricultura; se destacan las cadenas productivas de plátano, cacao y yuca (Gobernación de Arauca, 2012).

Como ya se enunció en apartados anteriores, Arauca es el segundo productor de cacao del país —el primer lugar lo ocupa el departamento de Santander— con un área cultivada de 14335 ha en el 2013, área de la cual dependen alrededor de 4500 familias, y genera entre nueve mil y doce mil empleos (Fedecacao, 2015). Por su calidad, sabor y aroma, Arauca ha sido reconocido como productor de cacao fino en el Salón del Chocolate de París. Recibió premios en los años 2010 y 2011, y fue finalista en el 2013 (Cocoa of Excellence, 2015).

² Organización Internacional del Cacao.

Vale agregar que el 70% de la producción de cacao del departamento es comercializada en Bucaramanga y Bogotá a través de intermediarios, los cuales son proveedores de las principales empresas transformadoras de cacao del país: Nacional de Chocolates y Casa Luker; el 30% restante es acopiado por grupos cooperativos, los cuales lo venden a otros procesadores, en su mayoría, de Santander (Henao *et al.*, 2013).

En relación con el municipio de Arauquita, este encuentra en la actividad agrícola uno de sus mayores potenciales de desarrollo. Es el primer productor de cacao en el ámbito departamental, con un área en cultivo de 4673 ha, razón por la cual representa uno de los productos comerciales de mayor importancia económica y social. En cuanto a los municipios de Saravena, Tame y Fortul encuentran su mayor potencialidad en el uso del suelo en el piedemonte. Desde el punto de vista económico, esta es un área muy importante, dado que es en la agricultura, en especial, en el cultivo del cacao, donde el proceso de valorización de los recursos adquiere una dinámica mayor (Gobernación de Arauca, 2012). Cabe indicar que el cacao presenta especial importancia socioeconómica en el nivel agroforestal, de tradición productiva y disponibilidad de suelos, en la región, y de viabilidad comercial, tanto nacional como internacional, convirtiéndolo en una apuesta productiva de especial relevancia para el departamento (Gobernación de Arauca, 2012).

El cacao se divide en dos grandes grupos: *forastero* y *criollo*, además de un híbrido de estos dos llamado *trinitario*. La mayoría de las variedades comerciales cultivadas en el mundo se derivan del grupo *forastero*, por cuanto presenta una alta diversidad genética, usualmente con semillas de color café oscuro y vainas verdes cuando están inmaduras. El tipo *criollo* presenta granos blancos o rosados y las vainas son rojas o verdes cuando están inmaduras. El *trinitario* se originó del cruce entre el *criollo* nativo y el *forastero*, y tiene diferentes grados de similitud con los dos anteriores. Los cultivos en el mundo se forman por tres tipos de variedades comerciales: tradicionales, híbridos y clónicos. En la mayoría de los países productores, el cacao se planta con semillas de variedades híbridas (cruces entre clones) producidas por instituciones de investigación o semillas colectadas en la misma finca. Sin

embargo, recientemente se implementa una tendencia —en países como Brasil, Ecuador, Indonesia y Malasia— que consiste en utilizar variedades de clones producidos por injerto, estacas enraizadas, o, en algunos casos, cultivo de tejidos. Así, los granos de cacao provenientes de semillas híbridas tienen diferentes tamaños, formas, colores, contenido de pulpa, y antecedentes genéticos, que dificultan la estandarización de los procesos de fermentación, secado y tuestión del grano (López y Pires, 2015). Las prácticas de beneficio, principalmente la fermentación y el secado, son actividades que determinan la calidad final del cacao; en estas, se desarrollan los precursores del sabor y el aroma característicos del chocolate (Rodríguez, 2011). En la región de Arauca existe una gran diversificación de estas prácticas, lo que ocasiona que el cacao producido no sea de calidad homogénea y se afecte de manera general su mercado. Es poco el volumen de comercialización con características de cacao tipo *premium* o fino; la mayoría se vende como cacao, tipo corriente, de acuerdo a la clasificación que establece la Norma Técnica Colombiana 1252 de 2003. Según los expertos, la calidad final de un grano fino de cacao depende de los siguientes factores: 50% genética del cacao, 20% poscosecha o proceso de beneficio, es decir, fermentación y secado apropiados; 25% transformación (tostado y conchado) y 5% suelo y clima (Gutiérrez, 2013).

En este contexto, y frente a los grandes productores mundiales de cacao, los países con menor producción no resultan ser unos competidores importantes; de ahí que, en esa línea de productos, siempre se estará pendiente del vaivén político de África y de los grandes volúmenes mundiales que determinan los precios.

Considerando ahora los procesos de beneficio del cacao de una región a otra, estos se realizan de acuerdo con costumbres tradicionales locales; por tanto, varía el método de fermentación, su duración y otras prácticas en la finca (selección del grano, remoción periódica, etcétera), lo cual puede impactar en la calidad del producto final (Saltini *et al.*, 2013). En consecuencia, el objetivo de este estudio determinar la influencia de las prácticas de beneficio sobre las propiedades fisicoquímicas, bromatológicas y sensoriales del cacao cultivado en el departamento de Arauca en los municipios de Saravena, Fortul, Tame y Arauquita.

La calidad del grano de cacao comienza a forjarse desde el establecimiento y mantenimiento del cultivo. El agricultor debe buscar materiales vegetales (clones de cacao) que sean compatibles con las condiciones medioambientales y geográficas de la finca y que, además, le otorguen características fisicoquímicas adecuadas al grano de cacao. Para el mantenimiento del cultivo, el agricultor debe realizar podas, fertilización y retiro de mazorcas enfermas, con la periodicidad establecida por el técnico que supervisa el cultivo (Pinzón, 2012).

La variación en la intensidad del sabor y el aroma del cacao, como los tipos floral, nuez y caramelo, se ha demostrado en otros estudios (Afoakwa *et al.*, 2013). El mercado para cacao de fino aroma, en especial para chocolate negro con alto contenido de cacao, se ha expandido y diversificado, lo que ha generado nuevas oportunidades para los productores primarios. La diferenciación en el aroma y el sabor del cacao dependen, entre otros, de condiciones de cultivo como el clima, la cantidad y el tiempo de sol y lluvia, las condiciones del suelo, la maduración, el tiempo de cosecha, y el tiempo entre la cosecha y la fermentación. El cacao común, generalmente, presenta una característica fuerte en sabor, mientras que los cacaos finos se perciben más aromáticos y suaves. En Asia, por ejemplo, se ha demostrado que algunos cacaos son más ácidos (mayor contenido de ácido láctico y acético) que los procedentes del oeste de África; esto, debido a las diferencias en variedad y a las condiciones de fermentación, como la utilización de cajas de madera y el secado artificial (Afoakwa *et al.*, 2013).

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el departamento de Arauca, particularmente, en aquellos municipios con mayor producción de cacao, entre ellos, Arauquita, Fortul, Tame y Saravena. Seguidamente, y de forma aleatoria, se seleccionaron y visitaron cuarenta y ocho fincas, ubicadas en veinticinco veredas, que cumplieran cada una con el requisito de un cultivo de cacao en etapa productiva, y que el beneficio se realizara en la misma finca o lugar de cosecha. Adicionalmente, se efectuó un registro fotográfico de las instalaciones donde cada

periodo se lleva a cabo el beneficio. Como instrumento de recolección de datos, se aplicó una encuesta con el fin de medir las variables y obtener las características específicas del proceso de beneficio (Anexo 1). La primera parte de la encuesta fue dirigida a la identificación y ubicación de la finca. La segunda parte, enfocada a la caracterización del cultivo; por ejemplo qué área y qué densidad tiene el cultivo de cacao, cuáles son períodos del año con mayor productividad y cuál es el principal material genético sembrado. Posteriormente, la información solicitada estuvo orientada a indagar acerca del método de fermentación utilizado, tiempo total de fermentación, tiempo hasta el cual se procedió con el primer volteo y con qué frecuencia se removió la masa, cuáles fueron las características del fermentador, sus dimensiones y el material utilizado para cubrirlo.

Respecto a las prácticas para el secado del cacao, se consultó sobre el tipo de secado, cuál la estructura utilizada en la finca, cada cuánto se remueve y por cuánto tiempo se deja secando. Por último, se preguntó por el material utilizado para el empaque del cacao fermentado y seco, y sobre la manera como se comercializa. Adicionalmente, se consultó sobre los métodos empleados para la inspección del proceso de fermentación y secado, y si se establecieron algunos parámetros para determinar la calidad de cacao de cada finca.

Para la obtención de las muestras se tomaron granos al azar en las fincas que disponían de granos secados al momento de realizar la visita. Cada uno de los análisis se hizo por triplicado.

Análisis fisicoquímicos: Los parámetros que se determinaron para éstos análisis fueron: el índice de fermentación y el % de cascarilla y humedad según NTC 1252, el índice de grano (Batista L, 2009), la acidez titulable y el pH sobre las muestras tratadas (Rodríguez *et al.*, 2012). Cada análisis se realizó por triplicado.

Análisis Bromatológicos: Los análisis medidos fueron: % de grasa por extracción Soxhlet (NTC 668), proteína cruda por Kjeldahl (NTC 4657), % de cenizas por incineración directa (AOAC 942.05); además se determinaron el contenido de magnesio y potasio por espectrofotometría de absorción atómica (NTC 5151).

Análisis sensorial: Durante 3 meses se realizó el entrenamiento de un panel sensorial especializado en cacao, el cual contó con 15 panelistas. El entrenamiento se desarrolló con base a los lineamientos determinados en las NTC 4129, 4130, 3925, 3915 y 3929 y los procedimientos descritos por Fuentes (2011). Los panelistas en las pruebas finales calificaron las muestras de cacao fermentado, seco y molido de 1 a 5 en intensidad de los atributos: achocolatado, ácido, amargo, astringente, frutal.

Resultados y discusión

Características de los cultivos

En el departamento de Arauca, los cultivos de cacao corresponden a pequeños y medianos productores. De las fincas visitadas, el 67,4% tiene un área de cultivo de 1 a 4 ha; el 21,7% tiene un área de 5 a 12 ha; solo el 10,9% tiene más de 12 ha, lo cual concuerda con lo expresado por Adarme y Sánchez (2013), quienes sustentan que esto se debe a que los predios no son de uso exclusivo para el cultivo de cacao, sino que también se utilizan para otras actividades agropecuarias como la ganadería, la porcicultura, la avicultura y demás cultivos de la región —como el plátano y la yuca, los cuales demandan áreas específicas para su desarrollo—. Los cultivos en general tienen una densidad que va desde 800 hasta 1200 árboles por hectárea.

Los clones utilizados para el cultivo de cacao en la zona son, principalmente, FEAR5, CAU39, FSA11, FSA12, FTA 2, FTA4. Estos clones provienen, en su mayoría, de la región, y son los recomendados por Fedecacao para cultivos en región agroecológica bosque tropical húmedo (BTH) (Pinzón, 2012). Además, estos tipos de cacao poseen características de calidad fisicoquímica y sensorial, los cuales producen un licor con agradables notas de frutos dulces, caramelo, especias y nueces, un sabor a chocolate sostenido y una referencia para cacao afrutado (Perea, 2013).

En el caso particular de los productores en el departamento de Arauca, estos reconocen que la mayor parte de la producción de cacao proveniente de sus fincas es de cacaos corrientes;

por ello, es necesario implementar buenas prácticas de procesamiento y mejorar todo lo relacionado con los parámetros de calidad, para llegar a obtener un cacao, tipo exportación, e incrementar el precio de venta del grano seco.

Relativo a los periodos de cosecha, el cultivo de cacao en Arauca tiene sus picos entre marzo y junio; sin embargo, hay producción durante todo el año. La mayoría de agricultores, un 83% de las fincas visitadas, cosechan cada quince días, y el 17%, cada mes. Cabe señalar que esta frecuencia se ve afectada por factores como la extensión del cultivo, la etapa productiva en que se encuentra, las condiciones climáticas de la época y la productividad que tenga el cultivo, pues los agricultores argumentan que no se justifica una cosecha por debajo de 60 kg de grano de cacao con mucílago (baba).

En general, los cacaoteros de la región reciben asistencia técnica de Fedecacao, que los capacita en prácticas agrícolas (podas, fertilización, sistema de riego y control biológico y físico de plagas) para garantizar la productividad; no obstante, con mucha frecuencia los cultivos se ven amenazados por enfermedades como moniliasis (*Moniliophthora roreri*), y escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), además de otras afectaciones como las generadas por el agente patógeno *Phytophthora* sp., causante de la mazorca negra, lo que afecta de manera significativa el volumen de producción (Adarme y Sánchez, 2013).

Proceso de beneficio: fermentación y secado

En el departamento de Arauca existe una gran diversidad en cuanto a las prácticas de poscosecha, especialmente en la etapa de fermentación en el beneficio del cacao. En actividades poscosecha, inicialmente el agricultor recoge las mazorcas que se encuentran en estado de madurez, estado que es identificado por el tiempo de cultivo y por la apariencia exterior de la mazorca. Luego, se clasifican, separando las mazorcas que presentan defectos o alguna infestación. El siguiente paso es el «degüelle» dentro del mismo cultivo, actividad que consiste en la apertura de la mazorca y el retiro de las almendras de la placenta; la

herramienta más utilizada para esta actividad es el machete. Posteriormente, las almendras pasan al proceso de fermentación; con independencia del método que se utilice, los agricultores reconocen la necesidad de tapar el fermentador para obtener un incremento en la temperatura. Este fenómeno está directamente relacionado con la actividad microbiana y los respectivos procesos bioquímicos o catabólicos de oxidación de las sustancias orgánicas. Culturalmente, en la mayoría de los países productores de cacao se utilizan hojas de plátano para cubrir la masa de fermentación (Gutiérrez, 2013), método que también se observa en Arauca en donde, adicionalmente, utilizan bolsas de plástico y costales de plástico o de fique (figura 2-1).

Figura 2-1 Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. Materiales utilizados para tapar el fermentador



Fuente: elaboración propia

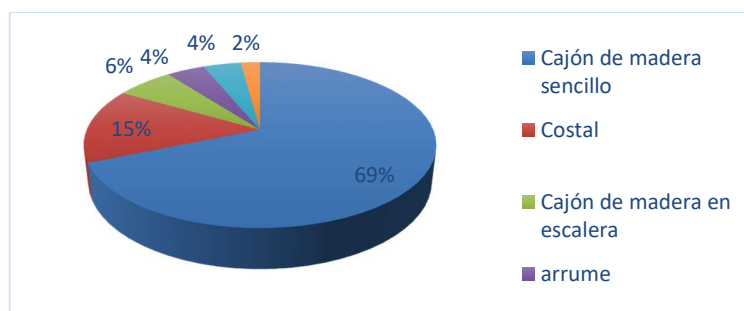
*A) Hojas de plátano, B) costal de plástico

En relación con el lugar de procesamiento, se observó que aproximadamente el 70% de las fincas no posee un área delimitada para el proceso de beneficio, es decir, se carece de instalaciones adecuadas para el proceso de fermentación con lo cual se garantiza inocuidad. Según manifestaron los agricultores, se debe principalmente a falta de recursos económicos. El 69% de las fincas utiliza cajones de madera sencillos, elaborados con maderas propias de la región, pero también hay fincas que utilizan otros métodos como la fermentación en costal, en cajón de madera en escalera, en caneca de plástico y/o en cajón de cemento (figuras 2-2 y 2-3). Las capacidades y dimensiones de estos fermentadores son muy variadas,

puesto que dependen del tamaño de cultivo que maneja cada propiedad. Solo el 4% de los encuestados emplea una fermentación en arrumes o apilamiento sobre el suelo, la técnica más deficiente en el beneficio del cacao (Payne *et al.*, 2010).

Es importante resaltar que entre los municipios visitados no se aprecia una diferencia marcada en el proceso de beneficio; la variabilidad en las prácticas de procesamiento se presenta entre fincas. Como ejemplo, la selección del fermentador se hace con base en las facilidades y capacidad de inversión e influyen las costumbres que se han transmitido de forma oral entre las familias cacaoteras. Lo anterior bien podría relacionarse con el nivel cultural y socioeconómico de los propietarios de cada predio.

Figura 2-2. Relación entre los métodos de fermentación usados en la región de Arauca



Fuente: Elaboración propia

En términos generales, la comunidad cacaotera de Arauca es consciente de la importancia de la etapa de fermentación, pues es bien conocido que durante esta etapa se desarrollan características fisicoquímicas y sensoriales que le confieren calidad al cacao; sin embargo, no existe un consenso acerca de las actividades que se deben seguir para llegar a obtener una buena calidad del grano.

En la región de Arauca, el tiempo promedio que dura la fermentación del cacao es de 5 ± 1 días; sin embargo, la frecuencia con que se debe remover la masa no es clara entre la mayoría de los cacaoteros; algunos remueven la masa cada 24 h; otros no la remueven y, muy pocos, esperan 48 h hasta dar el primer volteo y luego la remueven cada 24 h, como es recomendado

por Fedecacao, para que la fermentación se realice en dos fases ya explicadas (anaerobia y aerobia) y así garantizar una completa degradación microbiana del mucílago a través de rutas bioquímicas que, a su vez, son responsables de la formación de precursores del sabor a chocolate (Pinzón, 2012)-.

Figura 2-3 Tipos de fermentadores utilizados en la región de Arauca en el beneficio del cacao.



Fuente: elaboración propia

*A) cajón sencillo de madera, B) costal, C) caneca de plástico. D) cajón de madera en escalera

Las principales debilidades que se observan en la región respecto a la fermentación, además de la falta de estandarización del proceso, son: falta de aplicación de buenas prácticas agrícolas (BPA), que garanticen un producto inocuo durante toda la cadena productiva. Incluso en algunas fincas se observó, además de las pocas condiciones higiénicas en el área de beneficio, la presencia de aves de corral sobre los fermentadores. Estas malas prácticas conducen a sabores y características indeseables, a la contaminación con materia fecal de los animales y a contaminación cruzada con químicos que se guardan en el área (Rodríguez, 2011).

Llegados a este punto, se aborda, entonces, el proceso de secado. Este es [el proceso] mediante el cual la baba remanente de la fermentación se seca; mientras la almendra pierde humedad se continúa con el desarrollo de compuestos volátiles y no volátiles que le confieren las características sensoriales al cacao (Rodríguez, 2011). En la Norma Técnica Colombiana 1252 (2003) se establece que la humedad debe bajar hasta obtener un 7%. En este porcentaje de humedad se desacelera el crecimiento de mohos y levaduras, permitiendo que la calidad del cacao no se pierda durante el almacenamiento (Rodríguez *et al.*, 2012).

El secado solar es el principal método que se utiliza en la región de Arauca. Las estructuras que se utilizan para esto son: casa-elba (69%), tendales (23%), marquesina (4%). Algunos secan en el suelo sobre un plástico (4%) (Véase figura 2-4).

Figura 2-4. Secadoras solares utilizadas en la región de Arauca



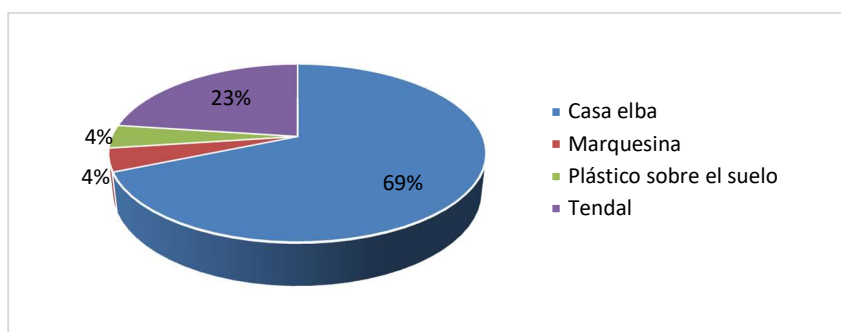
Fuente: elaboración propia

*A) Casa-elba, B) Marquesina C) Tendal

Existe un consenso entre los agricultores en cuanto a la metodología que utilizan para el secado. El tiempo de secado, cuando el clima es favorable, es de 6 días; el primero y el segundo días el grano se expone al sol por 3 h, y, a partir del tercer día, se expone todo el día. Esta práctica garantiza que el grano que se hinchó durante la fermentación, no se aplaste de manera brusca y tome una contextura aplanada (Pinzón, 2012). La estructura más común para el secado en la fincas visitadas es la casa-elba (figura 2-5); estas estructuras son elaboradas en madera y pueden ser de una o varias bandejas. A diferencia de la marquesina,

la casa-elba permite el sol directo sobre el cacao, y el diseño facilita su manejo, permitiendo guardar el cacao con facilidad.

Figura 2-5 Relación entre las secadoras utilizadas en la región de Arauca



Fuente: elaboración propia

Los agricultores expresan que una forma empírica de inspeccionar si el cacao está bien seco es el sonido que emite al partirlo; según ellos, debe sonar como un material crujiente. Adicionalmente, se mide la humedad del cacao al momento de llegar a los acopios, ya que este parámetro hace parte directa de la fórmula de liquidación del precio; se sancionan aquellos cacaos que llegan con una humedad más alta de la que establece la Norma Técnica Colombiana 1252 (2003). También, en los acopios se efectúa una separación manual de impurezas y de granos defectuosos.

Teóricamente, los agricultores deberían hacer diferentes pruebas de calidad al grano, entre las que se destacan la prueba de agua y la de corte. Estas pruebas relacionan el grado de fermentación del grano. La prueba de agua consiste en verter cien granos en una probeta llena de agua y cuantificar el número de granos que flotan: el número de granos que floten son aquellos que iniciaron la fermentación, pues una vez fermentado el grano, se hincha y se llena de aire en su interior, lo cual le permite flotar al suspenderse en agua (Gutiérrez, 2013). En cuanto a la segunda prueba, consiste en realizar un corte longitudinal por la parte central de cada uno de los cien granos, a fin de exponer la máxima superficie de corte de los

cotiledones. Se examinan visualmente las dos mitades de cada grano a la luz diurna o bajo una iluminación artificial (lámpara fluorescente) (Senanayake y Buckle, 1995). Se cuentan separadamente los granos defectuosos, es decir, aquellos mohosos, pizarrosos, partidos, violetas, vanos, múltiples, germinados, dañados por insectos, según lo definido en la Norma Técnica Colombiana 1252 (2003).

En la práctica, la determinación de las pruebas de calidad del grano en cada finca no se efectúa de forma adecuada o, simplemente, no se realiza, porque no hay incentivos económicos para aquellos cacaos que tengan un buen proceso de fermentación, según lo argumentado por los cacaoteros. Esta desmotivación hace que el agricultor no preste especial cuidado a las prácticas de beneficio. Cabe añadir, teniendo en cuenta la importancia de la humedad en el precio final del cacao en las zonas de acopio, el proceso de secado está más desarrollado y tecnificado.

Evaluación de parámetros fisicoquímicos

Para que el cacao sea clasificado como premio o corriente el índice de fermentación no debe estar por debajo de 65%; sin embargo, en la tabla 2-1 se observa que cuando la fermentación se realiza en costales o en timbo, no alcanza este valor, hallándose diferencias respecto a la fermentación que se lleva a cabo en cajones de madera y allí donde los volteos son continuos. Esta tendencia que también se presenta en los parámetros de acidez titulable y pH donde las muestras fermentadas en cajones de madera reportan mayor pH y datos inferiores de acidez titulable, lo que corresponde a lo descrito por Senanayake *et al.*, (1997) y Lima, *et al.*, (2011) quienes establecieron la relación que existe entre la concentración de ácido acético, pH y la acidez titulable de los granos de cacao fermentados y secos. Cuando no hay suficiente aireación, como el caso de la fermentación en costales, se presume una mayor concentración de ácido láctico, ya que al no existir aireación no se promueve el crecimiento de las bacterias ácido acéticas, las cuales son las encargadas por medio de una reacción exotérmica de oxidar el etanol a ácido acético (Schwan y Wheals, 2004). De esta manera se puede afirmar que la

acidez titulable y el pH son indicadores de un buen proceso de fermentación, lo que a su vez está relacionado con el desarrollo de los precursores del sabor a chocolate.

Existen otros parámetros fisicoquímicos que presentan efecto sobre la calidad del cacao, los cuales están ligados a la variedad genética y a la región donde está ubicado el cultivo; además, dan cuenta de la calidad comercial del grano, del rendimiento y de su vida útil. Estos parámetros corresponden al índice de grano, % de cascarilla y % humedad.

Tabla 2-1. Parámetros físicos del cacao fermentado y seco de Arauca

Método	Municipio	Días de fermentación	Frecuencia de volteo (h)	índice de fermentación	índice de grano	% cascarilla	% humedad	pH	Acidez titulable
CM	Saravena	4	24	82	112,5	14,83	8,23	5,16	1,1
CM	Saravena	6	24	84	110,82	15,72	8,5	5,02	1
CM	Saravena	7	24	94	142,4	12,12	7,94	5,95	0,8
CM	Saravena	6	12	84	150,9	14,84	7,94	5,46	1
CM	Tame	5	24	86	126,66	16,04	8,13	5,05	1,1
CM	Tame	7	24	78	140,46	15,48	9,66	5,47	1,2
CM	Tame	4	24	72	113,45	14,70	9,26	5,15	1,4
CM	Arauquita	6	48	82	143,85	15,83	8,3	5,06	1,1
CM	Arauquita	6	24	92	145,19	15,46	8,06	5,28	1,3
CM	Arauquita	4	24	88	113,16	13,87	7,72	5,51	1,1
CM	Fortul	6	24	76	116,73	15,30	7,93	5,22	1,2
CM	Fortul	5	12	88	136,74	15,83	7,59	5,35	1
CM	Fortul	5	24	80	116,5	15,46	8,5	5,15	1,1
Co	Saravena	4	0	58	137,81	14,35	8,37	6,23	0,7
Co	Tame	6	0	66	145,16	13,12	6,56	5,55	0,7
Co	Arauquita	7	0	62	108,95	12,18	7,75	5,86	0,6
Co	Arauquita	4	0	64	109,39	15,18	8,64	5,75	0,9
A	Arauquita	5	48	70	117,13	12,39	7,54	5,62	1,3
CE	Fortul	5	24	86	94,29	14,82	8,06	5,41	1,2
CP	Tame	6	24	62	117,74	16,02	7,91	5,63	1,2

CM: cajón de madera, Co: costal, A: arrume, CE: cajón en escalera, CP: cajón plástico

Fuente: autores

El porcentaje de humedad debe ser de 7% o menos para evitar el desarrollo de moho que deteriore la calidad y así facilitar su almacenamiento alargando la vida útil del grano (J Nogales, Graziani de Fariñas, y Ortiz de Bertorelli, 2006). No obstante, en la zona de Arauca, un gran porcentaje de las muestras recolectadas cumplió con este requisito, con excepción de una finca en Tame que fermentaba en costales. Esta situación suscita una desventaja para el agricultor en el momento de la comercialización, ya que las cooperativas y los intermediarios penalizan con dinero una humedad mayor a 7% en el grano debido a que las plantas transformadoras rechazan el grano con altos porcentajes de humedad (J Nogales *et al.*, 2006).

El promedio del índice de grano dentro de las muestras es de 124 g y el % de cascarilla es de 14,7%; sin encontrarse diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los métodos de fermentación utilizados. Esto se debe a que son características propias de cada variedad genética y que además depende de las características geográficas donde se encuentre el cultivo. Estos valores clasifican las muestras de cacao como cacao premio o alto según los parámetros que se establece en Fedecacao, (2005) y en la Norma Técnica Colombiana 1252, (2003). Adicionalmente, concuerda con los valores hallados para cacao sembrado en la región de Arauca según el estudio realizado por Perea, (2013).

Evaluación de parámetros bromatológicos

En la tabla 2-2, se observa que el contenido de grasa en las muestras es bajo y solo una muestra se encuentra por debajo del límite crítico establecido. Además, no hay diferencias entre el método de fermentación y el % de grasa.

El contenido de proteína en las muestras es del 13,2%, lo cual concuerda con lo mostrado por Fedecacao, (2005) y Perea, (2013) para el cacao sembrado en Arauca; cuyo rango es de 12 a 15%.

Los valores de cenizas, magnesio y potasio son similares a los presentados por Fedecacao (2005). Estos valores se encuentran directamente relacionados con los métodos que se utilizan para la fertilización del suelo.

Tabla 2-2 Parámetros bromatológicos del cacao fermentado y seco de Arauca

Método	Municipio	Días de fermentación	Frecuencia de volteo (h)	% de grasa	% Proteína	% cenizas	% magnesio	% potasio
CM	Saravena	4	24	32,39	16,1	3,47	0,33	0,82
CM	Saravena	6	24	36,21	13,6	3,12	0,29	0,77
CM	Saravena	7	24	33,21	13	3,05	0,26	0,76
CM	Saravena	6	12	38,36	12,4	2,94	0,23	0,28
CM	Tame	5	24	41,35	13,6	3,32	0,28	0,84
CM	Tame	7	24	40,03	13,6	3,17	0,26	0,75
CM	Tame	4	24	39,29	13,5	3,29	0,28	0,76
CM	Arauquita	6	48	39,14	12,7	2,81	0,24	0,64
CM	Arauquita	6	24	38,54	12,8	2,96	0,26	0,74
CM	Arauquita	4	24	41,01	12,9	2,96	0,25	0,71
CM	Fortúl	6	24	39,17	12,7	2,8	0,24	0,71
CM	Fortúl	5	12	39,62	12,1	3,48	0,32	0,89
CM	Fortúl	5	24	41,28	12,5	3,17	0,27	0,83
Co	Saravena	4	0	42,11	14,1	3,54	0,32	1
Co	Tame	6	0	33	13,6	3,06	0,28	0,78
Co	Arauquita	7	0	41,44	12,3	3,42	0,29	0,87
Co	Arauquita	4	0	41,38	13	3,53	0,29	0,81
A	Arauquita	5	48	41,38	13,5	3,81	0,3	0,89
CE	Fortúl	5	24	38,42	12,5	2,84	0,23	0,68
CP	Tame	6	24	30,7	13,4	3,48	0,32	0,89

CM: cajón de madera, Co: costal, A: arrume, CE: cajón en escalera, CP: cajón plástico

Fuente: autores

Evaluación de parámetros sensoriales

En la tabla 2-3 no se encontraron diferencias en los atributos de las muestras evaluadas; esto posiblemente se debe a que el entrenamiento de los panelistas durante un periodo de tres meses no fue suficiente para lograr identificar de una manera adecuada cada uno de los atributos sensoriales.

Tabla 2-3 Caracterización sensorial de cacao fermentado y seco de Arauca.

Método	Municipio	Atributo					
		Acido	Amargo	Astringente	Chocolate	Frutal	Nuez
CM	Saravena	4	3	2	3,8	1,2	1
CM	Saravena	3,8	4,2	2,2	3	1	1
CM	Saravena	3,2	4	2,4	3,6	1	1,2
CM	Saravena	4	3	2	3,6	1	1,8
CM	Tame	3,8	3	2	3,0	1	1
CM	Tame	3,8	4	3,2	3,2	1,2	1,4
CM	Tame	4	3,8	3,2	3,8	1,4	1
CM	Arauquita	4	3	3	3,6	1	1
CM	Arauquita	3,6	3,6	2,8	3,8	1	1,2
CM	Arauquita	4	3	2,8	3,8	2	1,2
CM	Fortúl	4	3	3,2	3,6	1	1,6
CM	Fortúl	3,8	4	2,2	3	2	2
CM	Fortúl	3,8	3,8	3,2	3,4	1,2	1
Co	Saravena	3,6	4	3	3,8	1	1
Co	Tame	3,6	4,2	3,4	3,6	1	1,4
Co	Arauquita	3,8	4	3,4	3	1	1
Co	Arauquita	3,8	3,8	2,8	3,2	1	1,6
A	Arauquita	4,2	4	2,6	3,6	1,2	2
CE	Fortúl	4	3,8	2,4	3,8	1,8	1,4
CP	Tame	3,8	4,2	3,2	3,2	1,6	1

CM: cajón de madera, Co: costal, A: arrume, CE: cajón en escalera, CP: cajón plástico

Durante el desarrollo del entrenamiento se notó dificultades en la evaluación del sabor amargo y ácido, debido a la confusión que se generaba entre los posibles evaluadores o panelistas que se emplearían en el estudio. Por este motivo se hizo una selección de los panelistas basados en las Normas Técnicas Colombianas 4129, 4130, 3925, 3915 y 3929, las cuales establecen los lineamientos para el entrenamiento sensorial y diseño de pruebas. Los resultados de la evaluación sensorial indican en general que las muestras de cacao son ácidas, con buen sabor a chocolate y con amargo y astringencia medio. No se percibe un sabor a frutal o nuez por parte de los panelistas. El mercado para cacao de fino aroma,

principalmente para chocolate negro con alto contenido de cacao, se ha expandido y diversificado, generando nuevas oportunidades para los productores primarios. Uno de los desafíos de los agricultores es también buscar nuevos tipos de aromas que pueden ser de interés en el mercado del cacao y chocolate (Eskes, Ahnert, Assemat, y Seguíne, 2006).

Conclusiones

En el departamento de Arauca los cultivos de cacao corresponden a pequeños y medianos productores. Así mismo, el beneficio del cacao se practica en diferentes formas, el método de fermentación y secado que emplea cada finca depende de factores socio-económicos y culturales, perdiéndose homogeneidad en las características del cacao que produce la región. No hay diferencias apreciables en las prácticas de beneficio en las diferentes regiones del departamento, pero si existe diferencias entre predios, aun de la misma región. El 69% de las fincas encuestadas utilizan como fermentador cajones de madera sencillos elaborados con maderas propias del departamento. El secado solar es el principal método que se utiliza en la región. El 69% de los predios visitados emplean la casa-elba (cobertizos con techos retráctiles) para el secado del grano. El parámetro de calidad más importante que se tiene en cuenta para el precio del cacao es la humedad. De acuerdo con los resultados de la encuesta, los productores en su gran mayoría no implementan en sus predios las actividades de fermentación uniforme de la masa, separación de impurezas y clasificación según tamaño. Actividades indispensables en el manejo poscosecha del grano de cacao para obtener un grano de excelente calidad.

La fermentación realizada en costales tiene baja aireación dando como resultado granos insuficientemente fermentados y por consiguiente, los resultados de pH fueron bajos y la acidez titulable alta para este tipo de muestras. No se recomienda la utilización de costales para llevar a cabo el proceso de fermentación en el beneficio del cacao.

Referencias

- Adarme, W., & Sánchez, C. (2013). Propuesta metodológica para coordinar procesos logísticos de producción y distribución de cacao y plátano en las zonas de Cricare y Caño Limón.
- Afoakwa, E., Kongor, J., Takrama, J., & Budu, A. (2013). Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 20(3), 1215–1222. Retrieved from <http://www.ifrj.upm.edu.my>
- Afoakwa, E. O. (2010). Sensory Character and Flavour Perception of Chocolates. *Chocolate Science and Technology*, 73–90. <http://doi.org/10.1002/9781444319880.ch5>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840–857. <http://doi.org/10.1080/10408390701719272>
- Afoakwa, E. O., Quao, J., Budu, A. S., Takrama, J., & Saalia, F. K. (2011). Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) beans, 62(November), 755–764. <http://doi.org/10.3109/09637486.2011.581224>
- Amores, F., Jimenez, J., & Peña, G. (2005). Influencia del tiempo de fermentación y el tostado sobre el desarrollo de compuestos aromáticos asociados al sabor a cacao en almendras de cacao Nacional. *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias*, 7.
- Aprotosoai, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2015). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products-An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 73–91. <http://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>
- Araujo, Q., & Fernandes, C. (2014). Cocoa Quality Index - A proposal. *Food Control*, (MAY), 49–54. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.003>
- Ardhana, M. M., & Fleet, G. H. (2003). The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International Journal of Food Microbiology*, 86(1-2), 87–99. [http://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00081-3](http://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00081-3)
- Ariefdjohan, M. W., & Savaiano, D. a. (2005). Chocolate and cardiovascular health: is it too good to be true? *Nutrition Reviews*, 63(12 Pt 1), 427–30. <http://doi.org/10.1301/nr.2005.dec.427>
- Baptista, L. (2009). Guía técnica el Cultivo de Cacao de la República Dominicana, Santo Domingo. *Santo Domingo, República Dominicana. Centro Para El Desarrollo Agropecuario Y Forestal CEDAF*, 250. [http://doi.org/10.1016/S0365-6691\(10\)70034-4](http://doi.org/10.1016/S0365-6691(10)70034-4)
- Bariah, K. (2014). Impact of Fermentation Duration on the Quality of Malaysian Cocoa Beans Using Shallow Box, 74–80.
- Bordiga, M., Locatelli, M., Travaglia, F., Cozzon, J. D., Mazza, G., & Arlorio, M. (2015). Evaluation of the effect of processing on cocoa polyphenols: Antiradical activity, anthocyanins and procyanidins profiling from raw beans to chocolate. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 840–848. <http://doi.org/10.1111/ijfs.12760>
- Bravo, Nataly; Mingo, F. (2011). Valoración de tres métodos de fermentación y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma (*Theobroma cacao* L.) en la parroquia Panguitza del Cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe. *Universidad*

Nacional de Loja, 244.

- Cadena, T., & Herrera, Y. (2008). Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su capacidad antioxidante. Retrieved from <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2008/128865.pdf>
- Camu, N., De Winter, T., Addo, S. K., Takrama, J. S., Bernaert, H., & De Vuyst, L. (2008). Fermentation of cocoa beans: Influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavour of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(13), 2288–2297. <http://doi.org/10.1002/jsfa.3349>
- Chávez, R., & Ordoñez, E. (2013). Polifenoles totales, Antocianinas y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) durante el procesamiento de licor y polvo de cacao. *Revista ECI Perú*, 10, 42–49.
- Cocoa of Excellence. (2015). INTERNATIONAL COCOA AWARDS. Retrieved July 2, 2016, from <http://www.cocoaofexcellence.org/>
- Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Mororó, R. C., Pereira, J. L., Frisvad, J. C., & Taniwaki, M. H. (2012). The effect of cocoa fermentation and weak organic acids on growth and ochratoxin A production by *Aspergillus* species. *International Journal of Food Microbiology*, 155(3), 158–164. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.026>
- Crafack, M., Keul, H., Eskildsen, C. E., Petersen, M. A., Saelens, S., Blennow, A., ... Nielsen, D. S. (2014). Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International*, 63, 306–316. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.032>
- Di Mattia, C., Martuscelli, M., Sacchetti, G., Scheirlinck, I., Beheydt, B., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2013). Effect of Fermentation and Drying on Procyanidins, Antiradical Activity and Reducing Properties of Cocoa Beans. *Food and Bioprocess Technology*, 6(12), 3420–3432. <http://doi.org/10.1007/s11947-012-1028-x>
- Doster, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2011). Cacao *Theobroma cacao* L. *Hoja Botánica*, 19 p.
- E. Portillo, L. G. de F. y E. C. (2006). Efecto de algunos factores post-cosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.). *Rev. Fac. Agron.*, 23, 49–57.
- Eskes, B., Ahnert, D., Assemat, S., & Seguire, E. (2006). Evidence for the Effect of the Cocoa Bean Flavour Environment during Fermentation on the Final Flavour Profile of Cocoa Liqueur and Chocolate. *Ingenic.cas.psu.edu*, (1994), 1–7. Retrieved from <http://ingenic.cas.psu.edu/documents/publications/News/Eskes et al INGENIC NL 12.pdf>
- Fedecacao. (2005). *Caracterización físicoquímica y beneficio del grano de cacao (Theobroma cacao L.) en Colombia*. Federación Nacional de Cacaoteros. Retrieved from http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_09B.pdf
- Fedecacao. (2015). Avanzan tres convenios de apoyo a los cacaocultores de Arauca. Retrieved July 2, 2016, from <http://www.fedecacao.com.co>
- Fedecacao. (2016). Producción nacional de cacao en grano por departamentos 2002-2014. Retrieved from <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>

- Gobernación de Arauca. (2012). No Title. Retrieved July 3, 2016, from <http://www.arauca.gov.co/>
- Guehi, S. T., Dabonne, S., Ban-Koffi, L., Kedjebo, D. K., & Zahouli, G. I. B. (2010). Effect of turning beans and fermentation method on the acidity and physical quality of raw cocoa beans. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(3), 163–171.
- Guehi, T. S., Zahouli, I. B., Ban-Koffi, L., Fae, M. A., & Nemlin, J. G. (2010). Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1564–1571. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02302.x>
- Gutierrez, S. (2013). Manual prácticas de control de calidad de cacao en centro de acopio. Recuperado el 3 de febrero de 2015. APROCAP-GTZ.
- Hansen, C. E., Del Olmo, M., & Burri, C. (1998). Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(2), 273–281. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199806\)77:2<273::AID-JSFA40>3.0.CO;2-M](http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199806)77:2<273::AID-JSFA40>3.0.CO;2-M)
- Henao, D., Fabian, C., Lozano, M., Mora, H., Montes, J., Juliana, V., ... Monica, S. (2013). *Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación*. [http://doi.org/ISBN: 978-958-57775-2-1](http://doi.org/ISBN:978-958-57775-2-1)
- Ho, V. T. T., Zhao, J., & Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 72–87. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014>
- ICCO. (2015). *Deliberation of the 2015 ad hoc panel on the review of annex “C” of the international cocoa agreement. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1).
- ICCO. (2016). *Production of cocoa beans. Production - Latest figures from the Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics* (Vol. XLII). Retrieved from http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/30-related-documents/46-statistics-production.html
- Jinap, S., Jamilah, B., & Nazamid, S. (2004). Effect of polyphenol concentration on pyrazine formation during cocoa liquor roasting. *Food Chemistry*, 85(1), 73–80. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.06.005>
- Keen, C. L., Holt, R. R., Oteiza, P. I., Fraga, C. G., & Schmitz, H. H. (2005). Cocoa antioxidants and cardiovascular health. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1 Suppl), 298–303. <http://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.02.012>
- Lagunes, S., Loiseau, G., Luis, J., Barel, M., & Guiraud, J. (2007). Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic, 114, 124–130. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.10.041>
- Lefeber, T., Gobert, W., Vrancken, G., Camu, N., & De Vuyst, L. (2011). Dynamics and species diversity of communities of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria during spontaneous cocoa bean fermentation in vessels. *Food Microbiology*, 28(3), 457–64. <http://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.010>
- Lefeber, T., Papalexandratou, Z., Gobert, W., Camu, N., & De Vuyst, L. (2012). On-farm implementation of a starter culture for improved cocoa bean fermentation and its influence on the flavour of chocolates produced thereof. *Food Microbiology*, 30(2), 379–92. <http://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.021>
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, M. J. R., & Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L.,

- “The Food of the Gods”: Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761. <http://doi.org/10.1080/10408391003799913>
- Lopez, A. S., & Dimick, P. S. (1995). Cocoa Fermentation. *Biotechnology Second, Completely Revised Edition*, 562–577.
- López, U. V., & Pires, J. L. (2015). Botany and production of cocoa. In Taylor & F. Group (Eds.), *Cocoa and Coffee Fermentations* (pp. 43–64). Boca Raton, FL: CCRC Press.
- Medina, J. D. L. C., & Vargas, O. (2009). CACAO: Operaciones Poscosecha. *Instituto Tecnológico de Veracruz*, 1–78. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE*, 3(10). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Nazaruddin, R., Seng, L. K., Hassan, O., & Said, M. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma Cacao*) during fermentation. *Industrial Crops and Products*, 24(1), 87–94. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.03.013>
- Nielsen, D. S., Teniola, O. D., Ban-Koffi, L., Owusu, M., Andersson, T. S., & Holzapfel, W. H. (2007). The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations analysed using culture-dependent and culture-independent methods. *International Journal of Food Microbiology*, 114(2), 168–186. <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.09.010>
- Nogales, J. (2006). Cambios Físicos Y Químicos Durante Fermentado En Dos Diseños de cajones de madera. *Agronomía Tropical*, 56(1), 5–20.
- Nogales, J., Graziani de Fariñas, L., & Ortiz de Bertorelli, L. (2006). Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. *Agronomía Tropical*, 56(1), 5–20.
- Norma Técnica Colombiana (1973). NTC 668. Alimentos y materias primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá.
- Norma Técnica Colombiana (1997) NTC 4129. Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y seguimiento de evaluadores. Parte 1. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá.
- Norma Técnica Colombiana (1997) NTC 4130. Análisis sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y seguimiento de evaluadores. Parte 2. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá.
- Norma Técnica Colombiana (1999). NTC 4657. Alimento para animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda. Método Kjeldahl. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá.
- Norma Técnica Colombiana (2003). NTC 1252. Cacao en grano. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá.
- Norma Técnica Colombiana (2003). NTC 5151. Alimento para animales. Determinación de los

- contenidos de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio y zinc. Método usando espectrometría de absorción atómica. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá.
- Orcés, N., & Pazmiño, A. (2012). “*Mejoramiento de las Características Sensoriales del Cacao CCN51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación.*” Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Othman, A., Ismail, A., Abdul Ghani, N., & Adenan, I. (2007). Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, 100(4), 1523–1530. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.021>
- Payne, M., Hurst, J., Miller, K., Rank, C., & Stuart, D. (2010). Impact of Fermentation , Drying , Roasting , and Dutch Processing on Epicatechin and Catechin Content of Cacao Beans and Cocoa Ingredients, 10518–10527. <http://doi.org/10.1021/jf102391q>
- Perea, A. (2013). *Características de calidad del cacao en Colombia. Catálogo de 26 cultivares.* (Fedecacao, Ed.) (1st ed.). Bucaramanga.
- Perea-Villamil, J., Cadena-Cala, T., & Herrera-Ardila, J. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento. *Salud UIS*, 41, 128–134.
- Pinzón, J. (2012). *Guía técnica para el cultivo del cacao.* (Fedecacao, Ed.) (Quinta edi). Bogotá.
- Puziah, H., Jinap, S., Sharifah, K., & Asbi, A. (1998). Changes in Free Amino Acid , Peptide-N , Sugar and P y razine Concentration during Cocoa Fermentation. *Journal of Science, Food and Agriculture*, 78, 535 – 542.
- Recalde, A. (2007). *Evaluación del efecto del presecado y tiempo de fermentación, en los contenidos de polifenoles totales, alcaloides y ácidos volátiles en dos genotipos de cacao.* Universidad Central del Ecuador. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=78wbAgAAQBAJ&dq=Evaluación+del+efecto+del+p rocesado+y+tiempo+de+la+fermentación+en+los+contenidos+de+Polifenoles,+alcaloides+y +ácidos+volátiles+en+dos+genotipos+de+cacao&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Reinel, V., Loor, O., Bolaños, M., & Tezara, W. (2016). Efectos del tipo de cacao en la calidad organoléptica del caca (theobroma cacao) en Esmeraldas, Ecuador. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación Y Saberes*, V(1), 22–38.
- Rodríguez, J. (2011). Estudio de los compuestos volátiles de Theobroma cacao L., durante el proceso tradicional de fermentación, secado y tostado, 20. Retrieved from <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8918/Tesiss Jacobo Rodríguez-Volátiles cacao.pdf?sequence=1>
- Rodriguez, J., Escalona, H. B., Contreras, S. M., Orozco, I., Jaramillo, E., & Lugo, E. (2012). Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food Chemistry*, 132(1), 277–288. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078>
- Rohan, T. a. (1964). The precursors of chocolate aroma: A comparative study of fermented and unfermented cocoa beans. *J Food Sci*, 456–459.
- Romero, T., Salgado, M. A., García, P., García, M. A., Rodríguez, G., Hidalgo, M., & Robles, V. (2013). Relationship between fermentation index and other biochemical changes evaluated during the fermentation of Mexican cocoa (Theobroma cacao) beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), 2596–2604. <http://doi.org/10.1002/jsfa.6088>

- Saltini, R., Akkerman, R., & Frosch, S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29(1), 167–187. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.054>
- Schwan, R., & Fleet, G. (2014). *Cocoa and Coffee Fermentations*. Lavras.
- Schwan, R., & Fleet, G. (2015). *Cocoa and Coffee Fermentations* (first). London.
- Schwan, R., & Wheals, A. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205–221. <http://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Senanayake, M., & Buckle, K. A. (1995). Effect of Variety and Location on Optimum Fermentation Requirements of Cocoa Beans : An Aid to Fermentation on a Cottage Scale, 461–465.
- Senanayake, M., Jansz, E. R., & Buckle, K. a. (1997). Effect of Different Mixing Intervals on the Fermentation of Cocoa Beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(1), 42–48. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199705\)74:1<42::AID-JSFA768>3.0.CO;2-U](http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199705)74:1<42::AID-JSFA768>3.0.CO;2-U)
- Serra Bonvehí, J., & Ventura Coll, F. (1997). Evaluation of bitterness and astringency of polyphenolic compounds in cocoa powder. *Food Chemistry*, 60(3), 365–370. [http://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00353-6](http://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00353-6)
- Serra Bonvehí, J., & Ventura Coll, F. (2002). Factors affecting the formation of alkylpyrazines during roasting treatment in natural and alkalized cocoa powder. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(13), 3743–3750. <http://doi.org/10.1021/jf011597k>
- Sukha, D. A. (2003). Primary processing of high quality Trinidad and Tobago cocoa beans – targets , problems , options, 27–31.
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2014). Cadena productiva del cacao: diagnóstico de libre competencia, 5. Retrieved from <http://www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Cacao.pdf>.
- Wollgast, J., & Anklam, E. (2000). Review on polyphenols in Theobroma cacao: Changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*, 33(6), 423–447. [http://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00068-5](http://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00068-5)
- Zapata Bustamante, S., Tamayo Tenorio, A., & Alberto Rojano, B. (2013). Efecto de la fermentación sobre la actividad antioxidante de diferentes clones de cacao Colombiano. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(3), 391–404.

Capítulo 3. Evaluación de un fermentador rotatorio como una alternativa en la fermentación de cacao (*Theobroma cacao*) en Trinidad and Tobago.

Rotary fermenter assessment as an alternative to the fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) in Trinidad and Tobago.

Lina Cardona¹, Darin Sukha² Eduardo Rodriguez-Sandoval¹, Edith Cadena-Chamorro¹

¹Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Medellín, Antioquia, Colombia. ² Cocoa Research Centre, The University of the West Indies, St. Augustine. Trinidad

Abstract

This investigation had as aim to evaluate two types of fermenters, a wooden box fermenter (WBF) and a rotary fermenter (RF), comparing the physicochemical attributes. In Cocoa Research Center in Trinidad and Tobago two fermentations were done at the same time, it was used a traditional wooden box fermenter and also a rotary fermenter, which was made with a polyurethane drum. Fermentations were carried out over 8 day and turning the fermentation masses at 72 h and 120 hours. The temperature was measured every day; the maximum temperatures were observed at 6 day and were about 46.5 ± 1 °C and 49.0 ± 0.3 °C for the RF and the WBF, respectively. The pH of testa and cotyledon of cocoa beans were measured at the 0, 2, 4, 6, and 8 days of fermentation, but the pH behaviour did not show significant difference between both fermenters ($p < 0.05$). The polyphenols measured shows that the concentration of total polyphenols decreased during the fermentation process. When beans were roasted at a low temperature (121 °C), the concentration on day 8 according to the concentration on day 0 decreased to 20% and 22% in the WBF and RF. In addition, when the beans were roasted at high temperature (140.5 °C) polyphenols decreased their concentration to 37% and 41% in the WBF and RF. In conclusion the cocoa beans have the similar characteristic when the fermentation is made in RF or WBF.

Key words: fermentation, cocoa physical quality

Introduction

The cocoa tree, (*Theobroma cacao L.*) is cultivated within the narrow equatorial belt that crosses South and Central America, Africa and Asia (Lefeber, Gobert, Vrancken, Camu, y De Vuyst, 2011). In 2014, world production of cocoa was more than 4 million metric tons (ICCO, 2015). However; less than 5% of the cocoa world trade is categorized “Fine or Flavour” cocoa, which grows mostly in countries of Central and South America (ICCO, 2015). Trinidad and Tobago is regarded as the center of origin for Trinitario germplasm (Sukha, 2003; CARIFORUM, 2015). This country is an exclusive producer of fine or flavour cocoa. In 2010 ICCO (International Cocoa Organization) *Ad hoc* panel on fine or flavour cocoa, recognized the high quality of the cocoa beans exported by Trinidad and Tobago (ICCO, 2015).

The production of quality cocoa (*Theobroma cacao*) depends on several factors; some of them are: genetic variety, weather conditions and the forest system in which the crop is developed (Afoakwa *et al.*, 2008). However, it is during the post-harvest activities where the flavor profile and the physicochemical characteristics of cocoa beans are developed (Lefeber, Papalexandratou, Gobert, Camu, y De Vuyst, 2012).

Postharvest consists in two main activities: fermentation and drying. A farmer harvests cocoa pods, extracts the grains and then deposits them in the place where the fermentation takes place (Lima *et al.*, 2011). These beans are coated with a mucilaginous pulp, that contains high concentrations of sugars, which are the substrate for the microorganisms involved in the fermentation (Afoakwa *et al.*, 2008). The fermentation is a spontaneous microbiological process, where several species of yeast, lactic acid bacteria, acetic acid bacteria and some filamentous fungi take place. This fermentation process also depends on the place where the cocoa beans are harvested (Ho *et al.*, 2014).

In the first phase of fermentation, the yeast converts the pulp sugar into ethanol, which along with acetic acid, enters into the bean killing the embryo and triggers endogenous biochemical reactions that produce the chocolate flavour precursors (Ho *et al.*, 2014). The second phase of cocoa fermentation starts with aeration of fermentation mass, enabling the

development of acetic acid bacteria. Acetic acid is produced via oxidation from part of the ethanol produced by the yeast. This reaction is exothermic, increasing the temperature of the fermentation mass to 40-50 °C. After this stage, the lactic acid bacteria fermentation mass predominate, producing lactic acid and citric acid, contributing to a pH balance in the process (Crafack *et al.*, 2014; Ho *et al.*, 2014; Lagunes, Loiseau, Luis, Barel, y Guiraud, 2007).

The fermentation method, the duration and the mixing frequency depends on the cultural traditions and dominant cultivar of each country. Cocoa beans are fermented by either several different methods, the most common is heap fermentation and wood box fermentation; the other methods include basket, tray, barrel and platform fermentation, even fermentation in depressions or holes made in the ground (Schwan y Fleet, 2015).

Currently, Trinidad and Tobago's farmers use wooden box fermenters. Fermentation usually lasts between 6-8 days; during fermentation, the beans should be turned twice, the first time at 48 h and the second time at 96 h (Sukha, 2003).

This study aims to compare the physicochemical attributes of rotary fermented cocoa in contrast to typical wooden box fermentations. It implement a rotary fermenter; as an alternative to traditional wooden box fermenter in order to ease the level of manual labor required to turn fermentations and to facilitate post-harvest practices of farmers as well as to obtain a high quality cocoa product.

Material and methods

Locations (beans, fermentation and drying)

The cocoa beans were obtained from Stollmeyer Estate, Santa Cruz in North Trinidad, fermented and dried at the Cocoa Research Centre, University of West Indies, St Augustine, Trinidad.

Fermentation conditions

Two fermentations were done at the same time; it was used a traditional wooden box fermenter (60 x 60 x 60 cm) (figure 3-1) and also a rotary fermenter, which was made with a polyurethane drum (D: 60 cm x L: 100 cm) (figure 3-2), with an iron shaft with blades and perforations on the surface to drain the juice and sweating from the fermenting mass. 150 kg wet beans were used in each fermentation system. Each fermenter was covered with at least four layers of banana leaves and 2 layers of jute bags. Fermentation was carried out over 8 days, turning the fermentation masses at 72 h and 120 hours. In order to turn the cocoa beans in the wooden box, a wooden shovel was used. Half of the beans were deposited in a bag and beans that were in the bottom of the box were removed for 10 min, then beans on the bag were taken back into the wooden box and turned for 10 min; while the cocoa mass was moved for 15 min inside the rotary fermenter.

Figure 3-1. Rotary Fermenter



Source: own elaboration

Figure 3-2 Wooden Box Fermenter

Source: own elaboration

Drying

During fermentation, 2 kg of cocoa were taken at 48 h intervals (0, 2, 4, 6 and 8 days of fermentation). Cocoa beans were dried by sun drying. The beans were mixed manually every day in the morning and in the afternoon to obtain moisture around 7% during 5 days.

Figura 3-3. Sun Dryer

Source: own elaboration

Temperature and pH

The temperature was measured every day on the fermented masses at the same time. The path through the leaves was cleared with a wooden probe. The probe was inserted in the corners and in the centre of the fermentation mass at a depth of 20 cm using a digital thermometer (DIGI-SENSE 94460-40). The average temperature was calculated each day. The pH of pulp and cotyledon of cocoa beans were measured at the 0, 2, 4, 6, and 8 days of fermentation. Cotyledons and pulp were separated from three cocoa beans, round in a mortar with 10mL of distilled water. Then, pH was measured with a digital pH meter (OAKLON 83855). This process was done by triplicate.

Titrateable acidity

Finely ground nibs (5 g deshelled beans) were homogenized in 45 mL of boiled distilled water. The mixture was filtered with a Whatman N°4 filter paper. A further 25 mL aliquot was titrated to an end point pH of 8.1 with 0.01N NaOH (Guehi, Dabonne, Ban-Koffi, Kedjebo, y Zahouli, 2010). The values were reported as meq of sodium hydroxide per 10 g of dry nibs (meq of NaOH per g). These measurements were performed in triplicate.

Total phenolic content

The total polyphenol content was performed by the Folin- Ciocalteu colorimetric method (Othman, Ismail, Abdul Ghani, y Adenan, 2007). A sample (0,4 g) was defatted with 10 mL n-hexane. The supernatant was extracted with 2 mL of 70% aqueous ethanol at room temperature for 2 h using an orbital shaker at 200 rpm. The mixture was filtered with Whatman N°4 filter paper. Then, 20 μ L of the extract, 480 μ L of distilled water and 1250 μ L of Na₂CO₃ were added in a test tube and allowed to stand for 5 minutes. 150 μ L of Folin–Ciocalteu reagent was added to the mixture and was kept in the dark for 60 min. Absorbance was read at 760 nm. Gallic acid solutions between 0 and 140 mg/L were used to construct the calibration curve. The results were expressed as mg Gallic acid / g cocoa.

Cut test

Cut test was measured at 0, 2, 4, 6, and 8 days of fermentation. 30 fermented and dried cocoa beans were selected randomly. Cocoa bean was cut lengthwise through the middle to expose the maximum surface of the cotyledons. Both halves were examined in full daylight and categorized into different groups according to the internal cotyledon characteristic (fully fermented, partly purple/partly brown, slaty, over fermented, mouldy and infested).

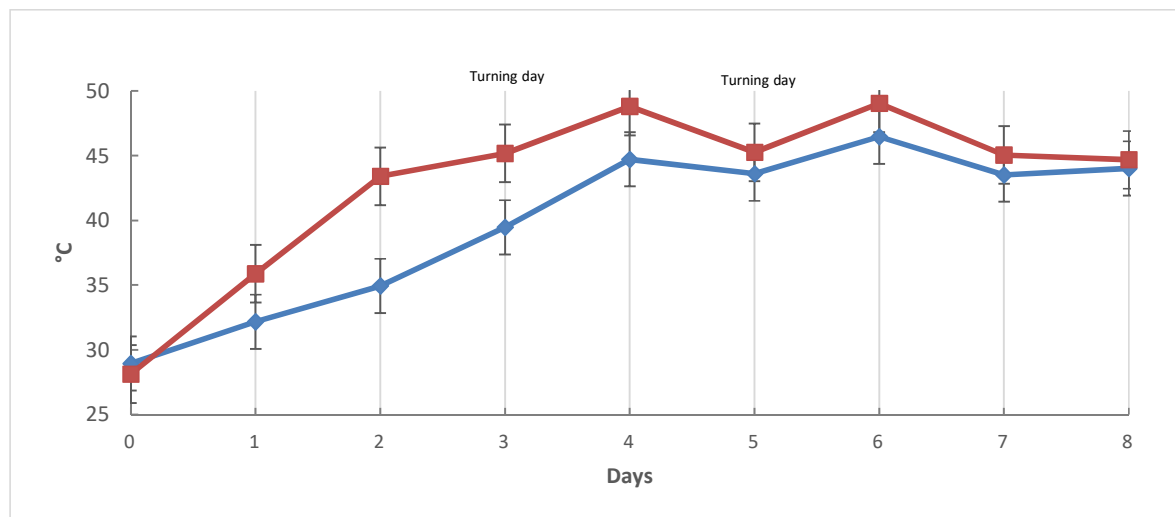
Statistical Analysis

The data obtained were analyzed for one-way ANOVA and Duncan's Multiple Range Test using STATGRAPHICS Centurion XVI.I software at 95% confidence level.

Results and Discussion

Temperature

Changes in temperature during the fermentation depends on two factors, the mass and the turning frequency (Guehi *et al.*, 2010). During fermentation process, the temperature behaviour is significantly different ($p < 0.05$) between wooden box fermenter (WBF) and rotary fermenter (RF) at the 1, 2, and 3 days. The maximum temperatures were observed at 6 day and were about 46.5 ± 1 °C and 49.0 ± 0.3 °C for the RF and the WBF, respectively (figure 3-4). The temperatures ranges are within the normal established ranges for the cocoa fermentation (Ho *et al.*, 2014; Nielsen *et al.*, 2007; Saltini, Akkerman, y Frosch, 2013; Schwan y Wheals, 2004).

Figure 3-4. Temperature behaviour during fermentation

Source: own elaboration

*RF (◆) and WBF (■)

The RF temperature was lower than that of WBF; this difference was less noticeable after the 4 days of the fermentation process. For example on day 2, the temperature in the RF was 34.94 ± 0.1 while, in the WBF was 43.4 ± 0.1 °C. However, the two methods showed similar temperatures at the end of fermentation, 44.02 ± 0.7 °C and 44.68 ± 0.2 °C, RF and WBF, respectively. The peaks of temperature were observed one day after turning the fermentation mass (4-6 days); probably due Two phases are associated with cocoa fermentation: yeasts convert the sugars of the pulp to alcohol in an early anaerobic fermentation and then acetic acid bacteria, by an exothermic reaction, oxidize the alcohol formed, first to acetic acid and then to CO₂ and H₂O in the aerobic fermentation (Senanayake *et al.*, 1997).

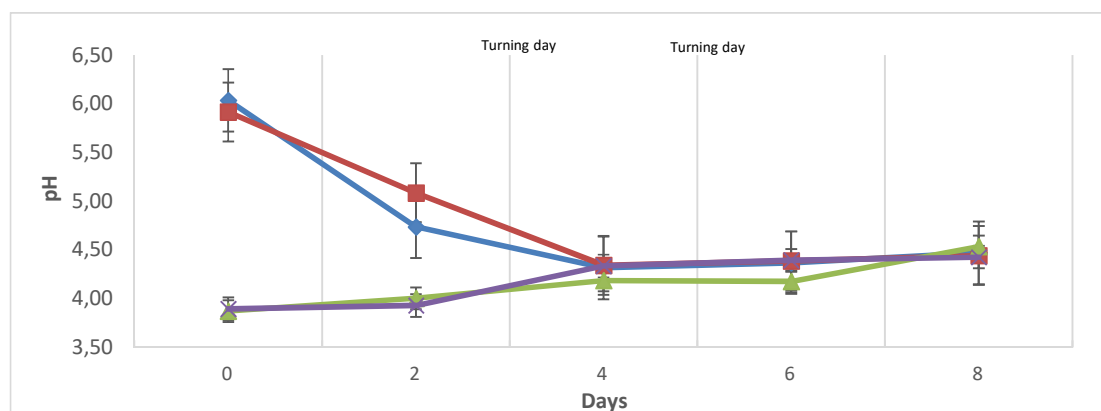
pH

The microbial activity during the fermentation process produces the diffusion of organic acids into the cotyledons. This causes the pH in the cotyledon to decrease from 6.5 to approximately 4.5 within the first 4 days of fermentation. After this decrease, the pH slightly increases again until reaching a value of 5 around the end of the fermentation process. These

changes are extremely important for the flavour development (Saltini *et al.*, 2013; Schwan y Fleet, 2015).

The initial pH for the cotyledon was higher than the one for the pulp (figure 3-5). The low pH of the pulp is caused by the presence of citric acid. The initial pH of the pulp is very important during fermentation, because the growth of yeasts at pH 3.5 – 4.0 is favored, and then the succession and the development of lactic and acetic acid bacteria increase the pH in the range of 4.5. Whereas, if pH reaches a value among 6.5 – 6.0 the cotyledons remain unfermented. There were no differences in the pH value after 3 – 4 days in both fermentation methods. The pH at the end of the fermentation process ranged from 4.5 to 5.5 (Afoakwa, Quao, Budu, Takrama, y Saalia, 2011; Copetti *et al.*, 2012; Guehi *et al.*, 2010; Nogales, 2006; Rodríguez, 2011).

Figure 3-5. pH behaviour during fermentation



Source: own elaboration

*Pulp WBF (x), Pulp RF (▲), Cotyledon WBF (■), Cotyledon RF (◆),

In this research, the pH behaviour did not show significant difference between both fermenters. The difference between initial and final pH is for the pulp was 0.6 ± 0.004 and for the cotyledon was 1.52 ± 0.002 . At day 4, the testa and the cotyledon pH was equalized

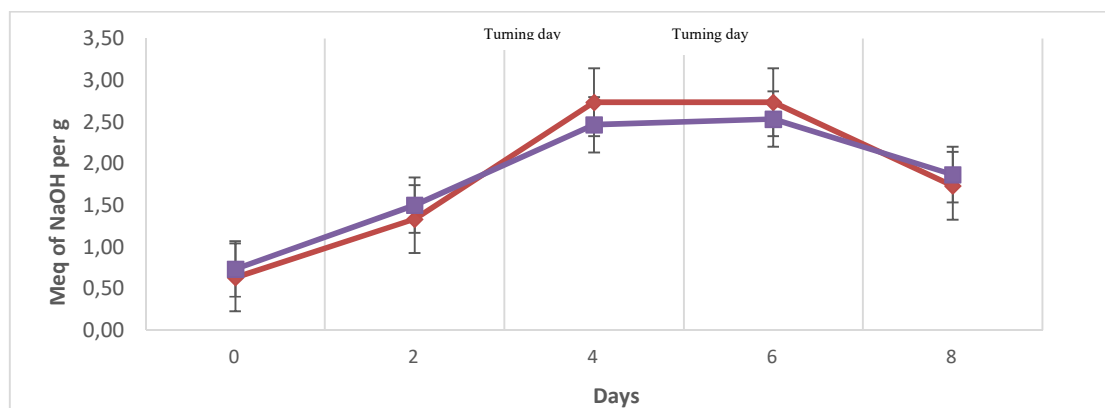
around 4.4. Similar trends have been reported by other researchers (Bariah, 2014; Guehi *et al.*, 2010; Senanayake y Buckle, 1995; Senanayake *et al.*, 1997).

The pulp's and the cotyledon's pH is affected by the kind of microflora during the fermentation and the variety of cocoa. In addition, the pH can directly affect the formation of flavour precursors. The pH is a key parameter to the development of enzymes inside the bean (Schwan y Wheals, 2004).

Titrateable acidity

Non-volatile acids are generated during fermentation, microorganisms breakdown the sugars in the pulp resulting in the production of alcohols and organic acids, predominantly acetic acid (Schwan y Wheals, 2004). Production of acids in the pulp is important in cocoa fermentation, as these acids diffuse into the beans and induce the biochemical reactions; which is necessary to achieve a well fermentation process. However, high acid production in the pulp is detrimental because an excessive acid diffusion into the beans results in the production of acidic beans (Afoakwa, Kongor, Takrama, y Budu, 2013).

Titrateable acidity showed the same trend during fermentation in WBF and RF (Figure 3-6). The lower values were on the first day of fermentation. The acidity levels in the pulp increases to reach a maximum at days 4-6 of fermentation, and after, that, the titrateable acidity decreased until the end of fermentation (8 day). This trend is similar to the one showed by (Afoakwa *et al.*, 2013; Afoakwa *et al.*, 2011; Guehi *et al.*, 2010;; Nazaruddin, Seng, Hassan, y Said, 2006; Nielsen *et al.*, 2007).

Figure 3-6. Titratable acidity behaviour during fermentation.

Source: own elaboration. *WBF (◆), RF (■)

The highest values were on the days 4 and 6 days; just one day after the mixing. The sugars contained in the pulp are converted to ethanol and other organic acids such as citric acid by the yeasts in the first phase of fermentation. After aeration of the fermentation mass (3 and 5 days), the acetic acid bacteria oxidized ethanol to acetic acid, triggered an increase in acid concentration and increased in titratable acid inside cocoa beans (Nielsen *et al.*, 2007; Schwan y Wheals, 2004). However, titratable acidity was decreased on the 8th day. This might be due to the evaporation of volatile acids like acetic acid (Nielsen *et al.*, 2007).

Cut Test

Cut test analysis is based on visual observation for color changes of cocoa beans and the degree of fermentation (figure 3-8). It is determined by grouping the beans according to slaty, partly purple/ partly brown and fully fermented, over fermented and mouldy (Bariah, 2014). In figure 3-7 changes observed in the mass during fermentation

The distribution of all dried bean samples was categorized according to color as shown in table 3-1. The highest percentage of fully fermented beans (76.7% and 80.0%) was observed for the samples on day 6. Figure 3-8 shows the changes on cocoa beans during the fermentation process. Both fermentation methods showed a similar trend. On day 0, 100% of the grains were purple and slate color. On day 4 the two methods of fermentation showed

the same amount of well-fermented (40%) grains. On day 8, over-fermented grains, dark brown and brittle husks were observed.

Table 3-1. Cut test for cocoa beans from RF and WBF at different fermentation days. Cocoa bean surface colour (%)

Day	Fully Fermented		Partly Purple/ Partly brown		Slaty		Over fermented		Mouldy	
	RF	WBF	RF	WBF	RF	WBF	RF	WBF	RF	WBF
0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
2	26,7	33,3	66,7	56,7	6,7	10	0	0	0	0
4	60	60	40	26,7	0	13,3	0	0	0	0
6	76,7	80	20	13,3	3,3	6,7	0	0	0	0
8	40	46,7	0	6,7	0	10	60	33,3	0	3,3

Source: own elaboration.

Figure 3-7. Changes in the mass during fermentation



Source: own elaboration.

Figure 3-8. Cut test 0, 4, 6, and 8 days of fermentation

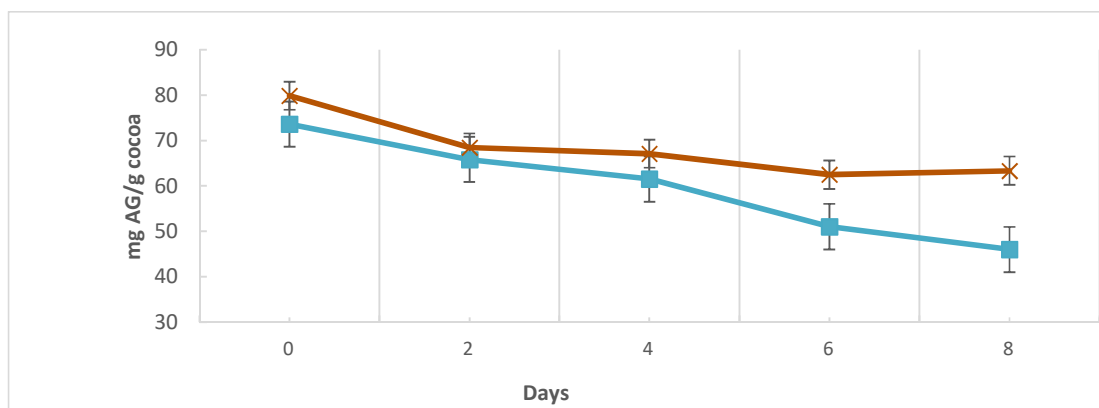
Source: own elaboration.

Total Polyphenols

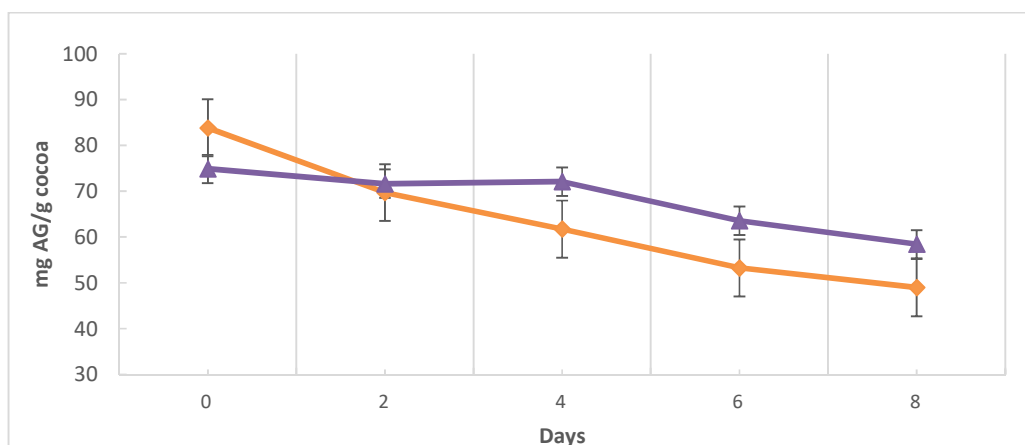
Phenolic compounds are microconstituents present in the diet that can inhibit lipid oxidation, by inhibiting the propagation of oxidizing chain reactions. These are also involved in scavenging free radicals (Othman *et al.*, 2007). These compounds are correlated to astringent and bitter sensations and contribute significantly to the green and fruity flavours of cocoa liquors (Aprotosoaie *et al.*, 2015).

There are 3 main groups of polyphenols: catechins (flavan-3-ols), anthocyanins, and proanthocyanidins corresponding to approximately 4, 37, and 58 %, respectively (Aprotosoaie *et al.*, 2015). The content and composition of polyphenols vary strongly depending on several factors: genotype, origin, ripeness degree, and bean processing (Othman *et al.*, 2007).

The fermentation, dry and roast processes can reduce the initial concentration of total polyphenol (figure 3-9 and 3-10). During fermentation, different biochemical reactions take place and the diffusion of metabolites into and out of the cotyledons allows polyphenols to polymerize and react with other compounds to form complexes. These reactions decrease polyphenols solubility, thus reducing bitterness and astringency and resulting in the typical colour of well-fermented beans (Di Mattia *et al.*, 2013). After sun drying, the level of (-) epicatechin and (+) catechin are further reduced by 50% and 60%, respectively (Serra Bonvehi y Ventura Coll, 1997). Drying conditions may help oxidative phenomena and polymerization reactions. These contribute to reduce epicatechin and catechin contents with low percentages, depending on the processing conditions adopted (Di Mattia *et al.*, 2013).

Figure 3-9. Total Polyphenols behaviour during fermentation at Rotary Fermenter.

Source: own elaboration. High roast (140.5°C) (■), low roast (121.0 °C) (X)

Figure 3-10. Total Polyphenols behaviour during fermentation at Wood Box fermenter.

Source: own elaboration. High roast (140.5°C) (◆), low roast (121.0 °C) (▲)

Figure 3-9 and 3-10 shows that the concentration of total polyphenols decreased during the fermentation process. Total polyphenols follow the same trend in both fermentation processes WBF and RF. However, there are differences in the concentration when the roasting is done at different temperatures. When beans were roasted at a low temperature (121 °C), the concentration on day 8 according to the concentration on day 0 decreased to 20% and 22% in the WBF and RF. In addition, when the beans were roasted at high

temperature (140.5 °C) polyphenols decreased their concentration to 37% and 41% in the WBF and RF. Roasting can affect the level and composition of polyphenols. The polyphenols are thermolabile molecular structures, and high temperatures and prolonged roasting cause a reduction of the content of total polyphenols (Serra Bonvehí y Ventura Coll, 2002). On the other hand there were no differences in the behavior of the polyphenols concentration between RF and WBF.

Conclusion

The rotary fermentation system is an alternative for cocoa processing, with facilities for the operational system. However the physicochemical properties in fermented and dried cocoa beans showed no significant results compared to the fermentation carried in wooden box.

References

- Afoakwa, E., Kongor, J., Takrama, J., y Budu, A. (2013). Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 20(3), 1215–1222.
- Afoakwa, E., Paterson, A., Fowler, M., y Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840–857.
- Afoakwa, E., Quao, J., Budu, A. S., Takrama, J., y Saalia, F. K. (2011). Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) beans, 62(11), 755–764.
- Aprotosoai, A. C., Luca, S. V., y Miron, A. (2015). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products- An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15, 73–91.
- Bariah, K. (2014). Impact of Fermentation Duration on the Quality of Malaysian Cocoa Beans Using Shallow Box, 74–80.
- CARIFORUM-EU. (2015). The Cocoa Industry in CARIFORUM Background Brief for the 3rd CARIFORUM-EU Business Forum. Montego Bay.
- Copetti, V., Iamanaka, B. T., Mororó, R. C., Pereira, J. L., Frisvad, J. C., y Taniwaki, M. H. (2012). The effect of cocoa fermentation and weak organic acids on growth and ochratoxin A production by *Aspergillus* species. *International Journal of Food Microbiology*, 155(3), 158–164.
- Crafack, M., Keul, H., Eskildsen, C. E., Petersen, M. A., Særens, S., Blennow, A., ... Nielsen, D. S. (2014). Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International*, 63, 306–316.
- Di Mattia, C., Martuscelli, M., Sacchetti, G., Scheirlinck, I., Beheydt, B., Mastrocola, D., y Pittia, P. (2013). Effect of Fermentation and Drying on Procyanidins, Antiradical Activity and Reducing Properties of Cocoa Beans. *Food and Bioprocess Technology*, 6(12), 3420–3432.
- Guehi, S., Dabonne, S., Ban-Koffi, L., Kedjebo, D. K., y Zahouli, G. I. B. (2010). Effect of turning beans and fermentation method on the acidity and physical quality of raw cocoa beans. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(3), 163–171.
- Guehi, S., Zahouli, I. B., Ban-Koffi, L., Fae, M. A., y Nemlin, J. G. (2010). Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1564–1571.

-
- Ho, T., Zhao, J., y Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 72–87.
- ICCO. (2015). Deliberation of the 2015 ad hoc panel on the review of annex “C” of the international cocoa agreement. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015 (Vol. 1)*
- Lagunes, S., Loiseau, G., Luis, J., Barel, M., y Guiraud, J. (2007). Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic, 114, 124–130.
- Lefeber, T., Gobert, W., Vrancken, G., Camu, N., y De Vuyst, L. (2011). Dynamics and species diversity of communities of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria during spontaneous cocoa bean fermentation in vessels. *Food Microbiology*, 28(3), 457–64.
- Lefeber, T., Papalexandratou, Z., Gobert, W., Camu, N., y De Vuyst, L. (2012). On-farm implementation of a starter culture for improved cocoa bean fermentation and its influence on the flavour of chocolates produced thereof. *Food Microbiology*, 30(2), 379–92.
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, M. J. R., y Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L., “The Food of the Gods”: Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761.
- Nazaruddin, R., Seng, L. K., Hassan, O., y Said, M. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma cacao*) during fermentation. *Industrial Crops and Products*, 24(1), 87–94.
- Nielsen, D. S., Teniola, O. D., Ban-Koffi, L., Owusu, M., Andersson, T. S., y Holzapfel, W. H. (2007). The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations analysed using culture-dependent and culture-independent methods. *International Journal of Food Microbiology*, 114(2), 168–186.
- Nogales, J. (2006). Cambios Físicos Y Químicos Durante Fermentado En Dos Diseños de cajones de madera. *Agronomia Tropical*, 56(1), 5–20.
- Othman, A., Ismail, A., Abdul Ghani, N., y Adenan, I. (2007). Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, 100(4), 1523–1530.
- Rodriguez, J., Escalon, H., Orozco, I., Lugo, E., y Jaramillo, M. (2011). Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis. *Food Research International*, 44(1), 250-258.
- Saltini, R., Akkerman, R., y Frosch, S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29(1), 167–187.

- Schwan, R., y Fleet, G. (2015). *Cocoa and Coffee Fermentations* (first). London.
- Schwan, R., y Wheals, A. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205–221.
- Senanayake, M., y Buckle, K. A. (1995). Effect of Variety and Location on Optimum Fermentation Requirements of Cocoa Beans : An Aid to Fermentation on a Cottage Scale, 461–465.
- Senanayake, M., Jansz, E. R., y Buckle, K. a. (1997). Effect of Different Mixing Intervals on the Fermentation of Cocoa Beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(1), 42–48.
- Serra Bonvehi, J., y Ventura Coll, F. (1997). Evaluation of bitterness and astringency of polyphenolic compounds in cocoa powder. *Food Chemistry*, 60(3), 365–370.
- Serra Bonvehí, J., y Ventura Coll, F. (2002). Factors affecting the formation of alkylpyrazines during roasting treatment in natural and alkalinized cocoa powder. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(13), 3743–3750.
- Sukha, D. A. (2003). Primary processing of high quality Trinidad and Tobago cocoa beans – targets, problems , options, 27–31.

Capítulo 4. Efecto de la frecuencia de volteo y el tiempo de fermentación sobre las propiedades de calidad y actividad antioxidante de los granos de cacao (*Theobroma cacao*)

Lina Cardona Velásquez, Eduardo Rodríguez Sandoval, Edith Cadena Chamorro

Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Medellín, Antioquia, Colombia.

Resumen

El cacao es un producto rico en compuestos antioxidantes, los cuales juegan un papel importante en las características finales del producto. Su concentración se ve influenciada por el proceso fermentativo al que se someten los granos durante la poscosecha, interviniendo en el olor, el color y el sabor del grano. Este trabajo se realizó analizando cómo el tiempo que dura la fermentación y la frecuencia con que se realiza el volteo tiene influencia en las propiedades físicas y antioxidantes del cacao. Se efectuaron fermentaciones con una frecuencia de volteo de 0, 12, 24 y 36 h y una duración de 5 y 7 días en las que se evaluaron la acidez titulable, el pH, el índice de fermentación mediante una prueba de corte y por último la concentración de polifenoles totales y la actividad antioxidante a través del porcentaje de inhibición de los iones DPPH y ABTS⁺. Para una frecuencia de volteo de 12 y 24 h se observó que los niveles de pH son mayores y de acidez titulable son menores. El tratamiento con un mayor índice de fermentación es cuando se hace por 7 días y los volteos cada 12 h, alcanzando valores de $93,83 \pm 1,2$ mientras que el tratamiento con menor índice fue de $72,17 \pm 0,5$, que corresponde a la fermentación que se llevó a cabo durante 5 días y sin volteos. El tratamiento con mayor concentración de polifenoles se obtuvo cuando no se realizó ningún volteo, mientras que al aumentar la frecuencia la concentración fue menor. El mayor porcentaje de inhibición se presentó cuando la frecuencia de volteo se realiza cada 36 horas y la fermentación se lleva a cabo por 5 días con un 79,86 % para el DPPH y el caso del ABTS⁺ es de 69,23 %. Como conclusión los resultados mostraron que cuando la masa se voltea cada 12 o 24 h, se obtienen granos de mejores atributos físicos, sin embargo a esas frecuencias de volteo, la concentración de los polifenoles totales disminuye lo mismo que la actividad antioxidante.

Palabras clave: cacao, fermentación, actividad antioxidante.

Introducción

Los polifenoles han ganado gran atención debido a su capacidad antioxidante y a sus implicaciones en la salud humana, tal como en la prevención de enfermedades cardiovasculares, en el tratamiento y prevención del cáncer, como agente microbiano y otras patologías (Ariefdjohan y Savaiano, 2005; Keen, Holt, Oteiza, Fraga, y Schmitz, 2005). Se ha considerado que alimentos como el vino, las frutas, el té verde y algunas verduras son las principales fuentes de compuestos polifenólicos, sin embargo, en los últimos años diversos autores han demostrado que el cacao y sus productos son alimentos ricos en estos compuestos, lo que ha incentivado la investigación en los procesos poscosecha y en la industrialización del cacao con el fin de establecer mecanismos que generen un equilibrio entre valor nutricional y la calidad sensorial en el producto final. (Bordiga *et. al.*, 2015; Jinap, Jamilah, y Nazamid, 2004; Perea y Cadena, 2009)

Los polifenoles en el cacao representan aproximadamente de 14% a 20% del peso seco (Cadena y Herrera, 2008), siendo los más abundantes los de tipo flavonoides, especialmente 3 grupos básicos con un núcleo común tipo flavan-3-ol; las antocianinas (4%), catequinas (37%) y las proantocianidinas (58%) (Wollgast y Anklam, 2000) . La fracción de antocianinas consiste mayormente en cianidina-3-arabinosa y cianidina-3-D-galactosa. De las catequinas la principal es la (-)-epicatequina que representa cerca del 30% del contenido de polifenoles del grano, y otras minoritarias son (+)-catequina, (+)-galocatequina y (-)-epigalocatequina y entre las proantocianidinas. Las más abundantes son aquellas unidades diméricas, triméricas y oligoméricas de epicatequina y flavan-3,4-diol (Jinap *et. al.*, 2004). Estos compuestos juegan un rol en la calidad de los granos y en los alimentos derivados del cacao, ya que intervienen en el olor, el color, la acidez, astringencia y el sabor amargo; actuando principalmente en la etapa de fermentación y secado de la poscosecha (Hansen *et. al.*, 1998). Durante la fermentación, mediante la combinación de actividades enzimáticas endógenas y exógenas mediadas por microorganismos, junto con la difusión de metabolitos dentro y fuera del cotiledón, los polifenoles se polimerizan y reaccionan con otros compuestos para formar complejos, lo que disminuye la solubilidad de los polifenoles y reduce el sabor amargo y la astringencia, además da lugar al color marrón propio de los

granos bien fermentados; además, este es un proceso continúa hasta terminar el secado (Di Mattia *et. al.*, 2013).

La fermentación del cacao es una práctica que tiene variaciones dentro de cada lugar donde se cultiva, viéndose afectada la homogeneidad y la calidad del grano en el mercado. Los fermentadores que más se utilizan son los cajones de madera, tinas plásticas, sacos de yute y de plástico (Schwan y Fleet, 2015). Pero además otra variación importante en el método de fermentación es la duración del proceso y la frecuencia de volteo de la masa; ya que los cambios químicos que se dan durante el proceso ocurren en dos fases: una fase hidrolítica anaerobia seguida por una fase de condensación oxidativa (Lopez y Dimick, 1995). En esta última fase el oxígeno se difunde al interior del grano activando la enzima polifenol oxidasa, sometiendo a oxidación los polifenoles, principalmente la (-)-epicatequina (Afoakwa, Kongor, Takrama, y Budu, 2013).

Diferentes autores han estudiado cómo los distintos métodos de fermentación tienen influencia sobre las características físicas, químicas y sensoriales del grano de cacao, sin embargo los resultados varían según la variedad genética y el país en donde se lleve a cabo (Eskes *et. al.*, 2006; S. T. Guehi *et. al.*, 2010; Payne *et. al.*, 2010; Recalde, 2007; Senanayake *et. al.*, 1997). Por esto se hace necesaria la investigación en las variables poscosecha, durante la fermentación evaluando las condiciones de procesamiento del cacao que permitan un equilibrio entre el contenido de antioxidantes que le otorguen propiedades para la salud, sin que afecte el sabor y la aceptabilidad del producto final. Sobre la base de estas premisas, el objetivo planteado para este estudio fue determinar el efecto de la frecuencia de volteo y la duración de la fermentación, sobre los parámetros físicos de calidad y la actividad antioxidante del cacao.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Las mazorcas de cacao utilizadas fueron de la variedad CCN51, las cuales se cosecharon en el mes de septiembre del 2015, en San José del Nus, corregimiento de San Roque en el departamento de Antioquia, Colombia. La cosecha se realizó en estado de maduración de forma aleatoria, excluyendo aquellas que estaban infectadas o dañadas. El proceso de beneficio (fermentación y secado) se llevó a cabo dos días después de la cosecha en la ciudad de Medellín, Antioquia.

Fermentación y secado

Se utilizaron micro-fermentadores de madera de 25 x 25 cm, cubiertos con hojas de plátano y una masa de fermentación de 3 kg (figura 4-1). Se efectuaron fermentaciones de 5 y 7 días con una fase anaerobia de 48 h, en la fase aerobia se aplicaron frecuencias de volteo correspondientes a 0, 12, 24 y 36 h; los volteos se realizaron con una cuchara de madera durante 1 minuto cada una de las muestras. Finalizada la fermentación, las muestras fueron expuestas al sol, tendidas sobre un plástico en una capa de 2 cm por alrededor de 6 a 8 h diarias con frecuencias de volteo variables hasta alcanzar una humedad menor a 7%.

Figura 4-1 sistema de microfermentadores



Fuente: elaboración propia.

Análisis físico-químicos

Acidez titulable y pH.

5 g de muestra fueron homogenizados en 100 mL de agua caliente destilada y posteriormente filtrados a través de papel filtro No. 4. El pH fue medido directamente sobre la muestra filtrada y una alícuota de 25 mL fue titulada hasta alcanzar un pH de 8.1 con NaOH 0,1N (Nazaruddin *et. al.*, 2006).

Prueba de corte o índice de fermentación.

Se realizaron algunas modificaciones a lo establecido en la NTC 1252 (2003). 30 granos de cacao fueron seleccionados al azar; las almendras se cortaron longitudinalmente para exponer la mayor superficie posible de los cotiledones (figura 4-2). Los granos fueron examinados y clasificados por el índice de fermentación en diferentes grupos de acuerdo a las características internas de los cotiledones (bien fermentados, insuficientemente fermentados, pizarrosos, mohosos, dañados).

Figura 4-2 prueba de corte - índice de fermentación



Fuente: elaboración propia.

Actividad antioxidante

Preparación de los extracto.

Las muestras molidas se desengrasaron en tubos falcon. Se tomó 1 g de la muestra y 10 mL de n-hexano; se expuso a baño ultrasónico durante 5 min a 30°C y se centrifugó a 3000 rpm por 15 min y posteriormente se descartó el sobrenadante (Perea-Villamil, Cadena Cala, y Herrera-Ardila, 2009). La extracción se hizo según lo desarrollado por Othman *et. al.*, (2007) con algunas modificaciones; 1 g de la muestra desengrasada y 25 mL de etanol acuoso al 70% fue puesta en un baño con agitación durante 2 h a 50°C, posteriormente se filtró el sobrenadante. Los extractos se almacenaron en frascos ámbar a 4°C en un tiempo no superior a 5 días.

Polifenoles totales.

Se realizó por el método colorimétrico *Folin-Ciocalteu* a 760 nm. En un tubo de ensayo se adicionaron 20 µL del extracto, 480 µL de agua destilada y 1250 µL de Na₂CO₃ en solución acuosa al 20% p/v; se agitó en vortex a 2000 rpm durante 3 min y se dejaron en reposo por 5 min; luego se adicionaron 250 µL del reactivo Folin- Ciocalteu diluido 1:1 en agua destilada y se conservó en la oscuridad durante 60 min para la lectura. Se usaron soluciones de ácido gálico entre 0 y 140 mg/L para construir la curva de calibración en el espectrofotómetro. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico/g de cacao fermentado y seco.

Actividad antioxidante sobre el radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhidrazyl).

Se determinó a 517 nm siguiendo la metodología utilizada por Othman *et. al.*, (2007), con algunas modificaciones. A una alícuota 15 µL del extracto se le adicionaron 1985 µL de DPPH al 0,25 mM, se agitó en vórtex a 2000 rpm por 30 s y se guardó en oscuridad a temperatura ambiente durante 30 min para su posterior lectura. El porcentaje de inhibición se calculó de acuerdo a Chávez y Ordoñez, (2013).

Actividad antioxidante sobre el radical libre ABTS⁺ (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazoline-6-ácido sulfónico)).

Se siguió el método de Perea *et. al.*, (2009) a 734 nm. El radical ABTS⁺ se formó con persulfato de potasio 2,45 mM; la mezcla se agitó y se dejó reaccionar en ausencia de luz durante 16 h. Posteriormente, a una alícuota de 2000 µL de la solución se ABTS⁺ se adicionó 20 µL del extracto de cacao, se agitó en vortex a 2000 rpm por 1 min y se conservó a temperatura ambiente y en oscuridad durante 7 min. El porcentaje de inhibición se calculó de acuerdo a Chávez y Ordoñez, (2013).

Análisis estadístico

El diseño experimental empleado fue un factorial completamente aleatorizado con factores: frecuencia de volteo (0, 12, 24 y 36 h) y tiempo de fermentación (5 y 7 días), para un total de 8 tratamientos. Los datos obtenidos fueron analizados mediante ANOVA utilizando el software STATGRAPHICS Centurión XVI.I, con un nivel de confianza de 95%. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímicos

El pH y la acidez titulable de los granos de cacao son características que están dadas por las condiciones de operación en el proceso fermentativo, pero también dependen de la variedad genética, el lugar de origen y el consorcio de microorganismos que participen en el proceso (Motamayor *et. al.*, 2008). Durante la fermentación, la transformación del mucílago implica la generación de ácidos orgánicos (volátiles y no volátiles), los cuales se difunden al interior de los granos y subsecuentemente inducen a una serie de reacciones bioquímicas que son importantes para una buena fermentación. Sin embargo, una alta producción de éstos ácidos conlleva a la producción de granos con sabor ácido, lo cual interfiere en la buena calidad del cacao (Schwan y Fleet, 2014). Por esto se establece como parámetro de calidad un pH entre 5,0 y 5,5 para los granos fermentados y secos (Fedecacao, 2005).

En el análisis de las propiedades fisicoquímicas, el tiempo de duración de la fermentación y la frecuencia con la que se volteó la masa presentan un efecto significativo sobre el pH ($p < 0,05$) (Tabla 4-1 y 4-2). Para una frecuencia de volteo de 12 y 24 h se observó que los niveles de pH son mayores y de acidez titulable son menores; lo cual concuerda con lo descrito por Senanayake, Jansz, y Buckle (1997) y Lima, Almeida, Nout, y Zwietering (2011), quienes sustentaron que las condiciones de aireación en la masa de fermentación influyen en el desarrollo de bacterias ácido acéticas; éstas son las responsables de la oxidación de etanol a ácido acético y luego en dióxido de carbono y agua. Ardhana y Fleet, (2003) establecieron que el sabor ácido del grano también está influenciado por la concentración de ácido láctico, y cuando no hay aireación suficiente, como el caso de la fermentación con frecuencia de volteo cada 0 y 36 h, se presume una mayor concentración de ácido láctico. También se observa que los niveles de pH son mayores cuando la fermentación se hizo durante 7 días, encontrándose una diferencia entre los tiempos de fermentación

Tabla 4-1 pH, acidez e índice de fermentación de los granos de cacao fermentado y seco

Frecuencia de volteo (h)	pH		Acidez titulable*		Índice de fermentación	
	5 días	7 días	5 días	7 días	5 días	7 días
0	4,14 ± 0,02	4,72 ± 0,01	1,97 ± 0,03	1,86 ± 0,03	72,17 ± 0,5	77,67 ± 1,0
12	4,79 ± 0,01	4,84 ± 0,02	1,50 ± 0,05	1,48 ± 0,02	89,50 ± 1,2	93,83 ± 1,2
24	4,85 ± 0,07	5,15 ± 0,04	1,66 ± 0,05	1,67 ± 0,05	86,00 ± 1,3	89,67 ± 1,4
36	4,53 ± 0,04	4,71 ± 0,02	1,86 ± 0,03	2,08 ± 0,06	78,50 ± 1,2	86,33 ± 0,3

* Acidez titulable expresada en meq NaOH/g

Tabla 4-2 Resumen para el análisis de varianza para pH, acidez titulable e índice de fermentación

	pH		Acidez titulable		Índice de fermentación	
	Razón F	Valor P	Razón F	Valor P	Razón F	Valor P
A:Tiempo de fermentación	28,92	0,00	0,04	0,84	23,11	0,00
B:Frecuencia de volteo	10,36	0,01	2,41	0,14	14,15	0,00
AB	3,80	0,00	0,01	0,93	0,41	0,53

En el índice de fermentación (prueba de corte) se establece una relación entre el color, y la profundidad de las estrías en el centro de las almendras. Ésta es una medida cualitativa y subjetiva, la cual permite clasificar el cacao según los parámetros descritos en la Norma Técnica Colombiana 1252, (2003) como cacao premio, corriente y pasilla. Para que el cacao sea clasificado como premio o corriente éste índice no debe estar por debajo de 65, lo que indica que los tratamientos cumplen con la norma (tabla 4-1); sin embargo, el tratamiento que presentó un mayor índice de fermentación fue cuando se hizo por 7 días y los volteos cada 12 h, alcanzando valores de $93,83 \pm 1,2$ mientras que el tratamiento con menor índice fue de $72,17 \pm 0,5$, que corresponde a la fermentación que se llevó a cabo durante 5 días y sin volteos. Este resultado sigue la misma tendencia que mostró Guehi *et. al.*, (2010), donde a los 5 días, obtuvieron un índice de fermentación de 55,16 en ausencia de aireación y de 86,33 con volteos cada 24 h. Con estos resultados se constata que una correcta aireación de la masa permite agregar un valor considerable a la calidad física de los granos de cacao.

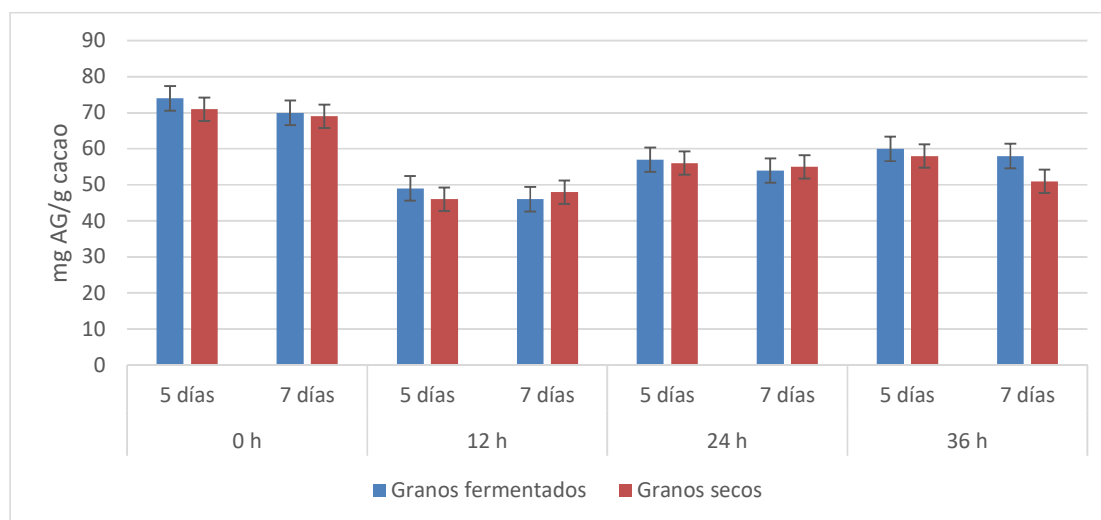
El índice de fermentación puede ser una medida en tiempo real, para establecer la eficiencia del proceso fermentación (Romero *et. al.*, 2013) y hallar las mejores condiciones para obtener las características deseables de un cacao bien fermentado.

Actividad Antioxidante

Durante la fermentación se presenta una reducción significativa de los polifenoles solubles en un rango de 10 al 20%. Dicha pérdida ocurre a través de la eliminación de líquidos drenados producto de la fermentación o por la acción de la enzima polifenol oxidasa que se encarga de oxidar los polifenoles simples y solubles a polifenoles condensados insolubles de alto peso molecular conocidos como taninos (Pereal *et. al.*, 2009; Wollgast y Anklam, 2000). Las reacciones de condensación de los polifenoles se evidencia en la reducción del contenido de (-) epicatequina entre el primero y segundo día de fermentación (Hansen *et. al.*, 1998). Además otros compuestos como las antocianinas son hidrolizados a antocianidinas, los cuales se polimerizan con las catequinas simples para formar taninos complejos (Cadena y Herrera, 2008).

En la figura 4-3 se observa que existe una relación entre la frecuencia de volteo y la concentración de polifenoles totales. El tratamiento con mayor concentración de polifenoles fue donde no se realizó ningún volteo, mientras que al aumentar la frecuencia de volteo - cada 12 h- la concentración fue menor. Esta tendencia concuerda con lo descrito por Senanayake *et. al.*, (1997); quienes en general asumen que la mayoría de los cambios de los polifenoles de los granos de cacao durante la fermentación se dan por el sistema de la polifenol oxidasa, el cual requiere de oxigenación. Afoakwa *et. al.*, (2008) expresan que durante la fase aeróbica de la fermentación ocurren reacciones mediadas por el oxígeno, tales como la oxidación de complejos polifenol-proteínas formados anaeróbicamente y que estos procesos reducen la astringencia y el sabor amargo de los granos.

Después del secado todos los tratamientos disminuyeron la concentración de polifenoles totales. Esto se explica porque durante el secado continúan las principales reacciones de oxidación de polifenoles, dando lugar al desarrollo de nuevos precursores del sabor junto con la característica de color marrón de los granos (Zapata Bustamante, Tamayo Tenorio, y Alberto Rojano, 2013).

Figura 4-3 Concentración de polifenoles totales

La tendencia que se observa en la figura 4-3 es inversa a los resultados del índice de fermentación de la tabla 4-1, por lo que se puede relacionar el color púrpura de los cotiledones, que indican un grano mal fermentado con una alta concentración de polifenoles. Esto es debido a la conversión de la (-) epicatequina y antocianidinas libres en quinonas por acción de la polifenol oxidasa; los polifenoles y quinonas forman complejos con otros polifenoles, proteínas y péptidos. Reacción que da lugar a la coloración marrón, típica de los granos de cacao bien fermentados (Afoakwa, 2010).

Los polifenoles son los compuestos que le atribuyen al cacao el sabor amargo y astringencia, sin embargo, también le da características de un alimento saludable y hoy en día existe una creciente conciencia en los consumidores acerca de los beneficios para la salud relacionados con el consumo de alimentos ricos en antioxidantes. Por lo tanto un contenido equilibrado de estos compuestos, junto con las propiedades sensoriales son determinantes para la calidad del producto final (Di Mattia *et. al.*, 2013).

Además de los polifenoles totales, existen diversos mecanismos para determinar la capacidad antioxidante de un compuesto; el DPPH y el ABTS⁺ son algunos de ellos. En el caso del uso de radical DPPH, éste está relacionado con las reacciones de peroxidación lipídica. Este ensayo se basa en la medida de la habilidad reductora de los antioxidantes sobre el radical. El ensayo con ABTS⁺ mide la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica. La mayoría de antioxidantes naturales son multifuncionales por lo que no pueden ser evaluados con un solo método (Cadena y Herrera, 2008). En la tabla 4-3 se observan los porcentajes de inhibición para estos dos radicales. Es de destacar que el mayor porcentaje de inhibición se presenta cuando la frecuencia de volteo se realiza cada 36 horas y la fermentación se lleva a cabo por 5 días con un 79,86 % para el DPPH y el caso del ABTS⁺ es de 69,23 %. Esta tendencia es similar a la observada en la concentración de polifenoles, por lo que se establece una relación directa entre el contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante de los granos de cacao.

Tabla 4-3. Porcentaje de inhibición de los radicales DPPH y ABTS⁺

Frecuencia de volteo (h)	DPPH				ABTS ⁺			
	5 días		7 días		5 días		7 días	
	GF	GS	GF	GS	GF	GS	GF	GS
0	78,69 ± 1,2	75,90 ± 1,7	68,34 ± 3,1	66,79 ± 1,4	69,23 ± 3,1	62,12 ± 3,6	61,23 ± 3,4	63,11 ± 1,5
12	64,41 ± 2,2	62,47 ± 3,1	64,51 ± 2,5	68,45 ± 2,3	53,83 ± 1,2	50,23 ± 2,2	52,91 ± 3,2	49,41 ± 4,2
24	76,30 ± 1,9	73,88 ± 2,7	69,60 ± 3,2	67,56 ± 3,0	45,61 ± 1,1	42,92 ± 2,5	43,86 ± 2,2	45,20 ± 4,1
36	79,86 ± 2,9	78,56 ± 1,8	71,44 ± 2,1	69,85 ± 2,1	63,12 ± 3,4	60,30 ± 4,1	58,91 ± 3,7	47,92 ± 3,2

GF: granos fermentados

GS: granos secos

Tabla 4-4. Resumen para el análisis de varianza para polifenoles totales, DPPH y ABTS⁺

	Polifenoles totales		DPPH		ABTS ⁺	
	Razón F	Valor P	Razón F	Valor P	Razón F	Valor P
A:frecuencia de volteo	54,43	0	0	0,9748	0,27	0,6094
B:días de fermentacion	2,95	0,1029	7,27	0,0148	0,2	0,6596
AB	76,75	0	8,63	0,0088	43,09	0

Conclusiones

Las prácticas que se llevan a cabo durante la fermentación determinan las características de los granos de cacao, tanto física como química. En este estudio se mostró la influencia de la frecuencia de volteo para obtener una buena fermentación. Los resultados mostraron que cuando la masa se voltea cada 12 o 24 h, se obtienen granos de mejores atributos físicos, sin embargo a esas frecuencias de volteo, la concentración de los polifenoles totales disminuye lo mismo que la actividad antioxidante.

Referencias

- Afoakwa, E., Kongor, J., Takrama, J., y Budu, A. (2013). Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal*, 20(3), 1215–1222.
- Afoakwa, E. O. (2010). Sensory Character and Flavour Perception of Chocolates. *Chocolate Science and Technology*, 73–90.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., y Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840–857.
- Ardhana, M. M., y Fleet, G. H. (2003). The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International Journal of Food Microbiology*, 86(1-2), 87–99.
- Ariefdjohan, M. W., y Savaiano, D. a. (2005). Chocolate and cardiovascular health: is it too good to be true? *Nutrition Reviews*, 63(12 Pt 1), 427–30.
- Bordiga, M., Locatelli, M., Travaglia, F., Cozzon, J. D., Mazza, G., y Arlorio, M. (2015). Evaluation of the effect of processing on cocoa polyphenols: Antiradical activity, anthocyanins and procyanidins profiling from raw beans to chocolate. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 840–848.
- Cadena, T., y Herrera, Y. (2008). Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su capacidad antioxidante. Retrieved from Camu, N., De Winter, T., Addo, S. K., Takrama, J. S., Bernaert, H., y De Vuyst, L. (2008). Fermentation of cocoa beans: Influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavour of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(13), 2288–2297.
- Chávez, R., y Ordoñez, E. (2013). Polifenoles totales, antocianinas y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) durante el procesamiento de licor y polvo de cacao. *Revista ECI Perú*, 10, 42–49.
- Di Mattia, C., Martuscelli, M., Sacchetti, G., Scheirlinck, I., Beheydt, B., Mastrocola, D., y Pittia, P. (2013). Effect of Fermentation and Drying on Procyanidins, Antiradical Activity and Reducing Properties of Cocoa Beans. *Food and Bioprocess Technology*, 6(12), 3420–3432.
- Eskes, B., Ahnert, D., Assemat, S., y Seguine, E. (2006). Evidence for the effect of the cocoa bean flavour environment during fermentation on the final flavour profile of cocoa liquor and chocolate. *Ingenic.cas.psu.edu*, (1994), 1–7. Retrieved from

-
- Guehi, T., Dabonne, S., Ban-Koffi, L., Kedjebo, D. K., y Zahouli, G. I. B. (2010). Effect of turning beans and fermentation method on the acidity and physical quality of raw cocoa beans. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(3), 163–171.
- Hansen, C. E., Del Olmo, M., y Burri, C. (1998). Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77(2), 273–281.
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana para el Cacao en Grano. Bogotá. 2003. (NTC 1254)
- Jinap, S., Jamilah, B., y Nazamid, S. (2004). Effect of polyphenol concentration on pyrazine formation during cocoa liquor roasting. *Food Chemistry*, 85(1), 73–80.
- Keen, C. L., Holt, R. R., Oteiza, P. I., Fraga, C. G., y Schmitz, H. H. (2005). Cocoa antioxidants and cardiovascular health. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1 Suppl), 298–303.
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, M. J. R., y Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L., “The Food of the Gods”: Quality Determinants of Commercial Cocoa Beans, with Particular Reference to the Impact of Fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761. <http://doi.org/10.1080/10408391003799913>
- Lopez, A. S., y Dimick, P. S. (1995). Cocoa fermentation. *Biotechnology Second, Completely Revised Edition*, 562–577.
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., y Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE*, 3(10).
- Nazaruddin, R., Seng, L. K., Hassan, O., y Said, M. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma cacao*) during fermentation. *Industrial Crops and Products*, 24(1), 87–94.
- Othman, A., Ismail, A., Abdul Ghani, N., y Adenan, I. (2007). Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, 100(4), 1523–1530.
- Payne, M., Hurst, J., Miller, K., Rank, C., y Stuart, D. (2010). impact of fermentation , drying , roasting , and dutch processing on epicatechin and catechin content of cacao beans and cocoa ingredients, *J Agric Food Chem.*10518–10527.
- Perea-Villamil, J., Cadena-Cala, T., y Herrera-Ardila, J. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento. *Salud UIS*, 41, 128–134.
- Recalde, A. (2007). Evaluación del efecto del presecado y tiempo de fermentación, en los contenidos de polifenoles totales, alcaloides y ácidos volátiles en dos genotipos de cacao. Universidad Central del Ecuador.

- Romero, T., Salgado, M. A., García, P., García, M. A., Rodríguez, G., Hidalgo, M., y Robles, V. (2013). Relationship between fermentation index and other biochemical changes evaluated during the fermentation of Mexican cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), 2596–2604.
- Schwan, R., y Fleet, G. (2015). *Cocoa and Coffee Fermentations (first)*. London.
- Senanayake, M., Jansz, E. R., y Buckle, K. a. (1997). Effect of Different Mixing Intervals on the Fermentation of Cocoa Beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74(1), 42–48.
- Wollgast, J., y Anklam, E. (2000). Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: Changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*, 33(6), 423–447.
- Zapata Bustamante, S., Tamayo Tenorio, A., y Alberto Rojano, B. (2013). Efecto de la fermentación sobre la actividad antioxidante de diferentes clones de cacao Colombiano. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(3).

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- El departamento de Arauca muestra una radiografía de las prácticas poscosecha que se llevan a cabo en el resto del país, allí se observa que no existe un consenso entre los agricultores, en cuanto al método de fermentación y secado que se utiliza. También queda manifiesta la dinámica que el mercado nacional antepone en ellos, ya que al no existir diferencia en los precios para el cacao premium o la mezcla de este cacao con cacao corriente desmotiva el uso de buenas prácticas agrícolas durante la poscosecha, lo que afecta la calidad final del grano que se cultiva en la región.
- La implementación de un fermentador plástico no afectó las propiedades físicas y químicas de los granos de cacao; por lo que podría ser una alternativa a los cajones de madera tradicionales.
- El tiempo que dura la fermentación y la frecuencia de volteo, determinan las características físicas y químicas en los granos de cacao que se desarrollan durante la fermentación. Existe una relación directa entre el grado de fermentación del cacao y el contenido de antioxidantes, encontrándose que a menor índice de fermentación hay una mayor concentración de antioxidantes.

Recomendaciones

- Se recomienda para próximos estudios un entrenamiento más riguroso y por un mayor tiempo para descartar posibles errores de tipo subjetivo en la evaluación de las pruebas sensoriales.
- Hacer una complementación a los resultados obtenidos con pruebas sensoriales de paneles expertos.
- Promover entre los agricultores buenas prácticas de poscosecha que se adapten a las necesidades de cada finca.
- Continuar con investigaciones que ayuden a optimizar el proceso de fermentación y también de secado, con miras a obtener cacao de mejores cualidades físicas, químicas y sensoriales.
- Existen diferentes variables, que se deben conjugar para optimizar el proceso y otorgar a los granos de cacao que se cultivan en Colombia, un estándar de calidad que lo hagan competitivo en el mercado.

Anexo 1

Encuesta aplicada como instrumento para medir las variables del proceso de beneficio de cacao en Arauca

caracterización de la cadena productiva del cacao (fases cosecha y poscosecha) en la región de Arauca		
La presente encuesta se realiza a las fincas de cacao ubicados en la región de Arauca con el fin de realizar un diagnóstico de las prácticas de cosecha y pos-cosecha que se llevan a cabo en la región.		
I. IDENTIFICACIÓN DE LA PERSONA ENTREVISTADA		
1. Nombre	2. Teléfono	
	3. Correo	
II. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ACOPIO		
4. Departamento	5. Vereda	
6. Municipio	7. Nombre de la finca	
III. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA		
Con base en los conocimientos que usted posee de la finca responda:		
A. Caracterización de los cultivos		
8. Promedio de área sembrada por finca en hectáreas: _____	9. Promedio de árboles sembrados por hectárea: _____	
10. Principales clones sembrados en la zona:	1. _____	4. _____
	2. _____	5. _____
	3. _____	6. _____
B. Caracterización de las prácticas de cosecha		
11. Frecuencia de la cosecha en días (aprox.) _____	12. Peso en baba por cosecha en kg _____	13. Períodos más productivos del cultivo _____
C. Caracterización prácticas pos-cosecha		

Influencia del proceso de fermentación sobre las características de calidad del grano de cacao

14. El principal método de fermentación que se utiliza es:				
<input type="radio"/> Cajón sencillo	<input type="radio"/> Cajón en escalera	<input type="radio"/> Tambor rotatorio	<input type="radio"/> Otro	<input type="radio"/> Cuál
15. El tiempo promedio de fermentación en días es: _____	16. La frecuencia de volteo en horas durante la fermentación es: _____	17. Tiempo hasta el primer volteo _____		
18. Capacidad de peso por fermentador en kg _____	19. Dimensiones del fermentador y tipo de madera _____	20. Cómo tapan el fermentador _____		
21. ¿Cuál es el método de inspección para saber si el cacao está bien fermentado? _____ _____ _____				
22. Método de secado más utilizado: _____	23. El tiempo promedio de secado en días es: _____			
24. ¿Cuál es el método de inspección para finalizar el proceso de secado? _____ _____ _____				
25. ¿Cuál es la forma de empaque y almacenamiento? _____				
26. ¿Cuál es el transporte más utilizado? _____ _____				
27. ¿Cuál es la forma de comercialización?				
28. ¿Cómo son las instalaciones del beneficio?				
Observaciones, T y Hr				