



**ESTUDIO DE LOS CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DURANTE LA
MADURACIÓN DEL CACAO**

RESENTADO POR:

Andrés Felipe Cubillos Bojacá

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BOGOTÁ, D.C.- COLOMBIA
2017**



**ESTUDIO DE LOS CAMBIOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DURANTE LA
MADURACIÓN DEL CACAO**

PRESENTADO POR:

Andrés Felipe Cubillos Bojacá

TESIS DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO DE ALIMENTOS

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

MARTHA PATRICIA TARAZONA DÍAZ. PH.D.ING.
Profesor Asociado II, UJTL
MARIA CRISTINA GARCÍA MUÑOZ, PH.D. ING.
Investigadora CORPOICA

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BOGOTÁ, D.C.- COLOMBIA
2017**

Nota de aceptación

Firma de presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. – 26/01/2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, quienes sin su apoyo no habría podido realizar este trabajo, a mis amigos de la Universidad quienes con su entusiasmo y risas lograron que el trabajo culminara con éxito, a mis directoras de tesis Martha Patricia Tarazona Díaz y María Cristina García Muñoz por sus constantes revisiones, correcciones y comentarios en pro de mejorar el trabajo, a mi compañera de trabajo y amiga Karen Eliana Romero Rojas, que a pesar de que terminamos haciendo tesis separadas, compartimos nuestros conocimientos e inquietudes para la realización y presentación de este trabajo y por último a Dios, quien guía mi camino y me convierte en una mejor persona.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y a la Universidad Jorge Tadeo Lozano por el desarrollo del presente estudio. Se agradece también a la profesora Martha Patricia Tarazona Díaz por su dedicación, ánimos y empeño en las revisiones y correcciones del presente trabajo y de igual manera a la doctora María Cristina García Muñoz por su correcciones y comentarios durante todo este proceso, así como su respaldo en este trabajo. Se agradece también al doctor Guillermo Hernando Carvajal Rojas y a todo su equipo por su asistencia técnica y desarrollo estadístico en el presente trabajo, así como las clases particulares impartidas para el mismo tema. Se agradece a los laboratoristas de Corpoica sin los cuales no habría sido posible acabar este trabajo y, por último, se da un profundo agradecimiento a los cacaoteros del municipio de El Carmen de Chucuri – Santander por la cuidadosa y exhaustiva selección de los materiales para su envío.

3.1.3. Peso cacota	19
3.2. Efecto del material y el estado de madurez sobre el número de almendras.....	20
3.3. Efecto del material y el estado de madurez sobre el porcentaje de humedad	22
3.3.1. Porcentaje de humedad en semillas	23
3.3.2. Porcentaje de humedad de almendras	24
3.3.3. Porcentaje de humedad del mucilago	24
3.4. Efecto del material y el estado de madurez sobre la firmeza	25
3.5. Efecto del material y el estado de madurez sobre los atributos físicos	27
3.5.1. Diámetro polar y diámetro ecuatorial	27
3.6. Efecto del material y el estado de madurez sobre los parámetros de color (Croma, ángulo Hue e índice de color)	28
3.7. Efecto del material y el estado de madurez sobre el pH, acidez y °Brix	30
3.7.1. pH.....	30
3.7.2. Porcentaje de acidez.....	31
3.7.3. Contenido de solidos solubles o ° Brix.....	32
4. CONCLUSIONES.....	33
BIBLIOGRAFÍA	34

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Análisis estadístico de los atributos físicos relacionados al peso.</i>	21
<i>Tabla 2. Análisis estadístico de los atributos físicos relacionados al número de semillas.</i>	22
<i>Tabla 3. Análisis estadístico del porcentaje de humedad</i>	23
<i>Tabla 4. Análisis estadístico de firmeza en los estados de madurez.....</i>	26
<i>Tabla 5. Análisis estadístico de Diámetro polar y ecuatorial en los estados de madurez.....</i>	27
<i>Tabla 6. Análisis estadístico de parámetros de color en los estados de madurez .</i>	29
<i>Tabla 7. Análisis estadístico de los atributos fisicoquímicos.....</i>	32

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Partes características del cacao.....</i>	12
<i>Figura 2. Partes principales de la fruta de cacao.....</i>	12
<i>Figura 3. Efecto del material en los 5 estados de madurez sobre los pesos de mazorca, almendras y cacota</i>	17
<i>Figura 4. Número de almendras de cada material en los 5 estados de madurez .</i>	20
<i>Figura 5. Efecto del material en los 5 estados de madurez al porcentaje de humedad</i>	22
<i>Figura 6. Efecto del material en los 5 estados de madurez para firmeza</i>	25
<i>Figura 7. Efecto del material en los 5 estados de madurez a los parámetros fisicoquímicos (brix, pH y acidez)</i>	31

GLOSARIO DE TERMINOS

Árbol de cacao: *Theobroma cacao* es el nombre del árbol del cacao o **cacaotero** (*Theobroma* en griego significa "*alimento de los dioses*"), de cuyo fruto se obtienen los granos con los que se produce el chocolate

Mazorca de Cacao: fruto del árbol de cacao que puede medir 10 cm de grueso, 30 cm de largo tiene forma ovoide y presenta coloraciones verdes claro, amarillo, rojo o moreno rojizo.

Cacota: cascara de la mazorca de cacao de grueso espesor, posee surcos y costillas longitudinales y rugosas y protege a las semillas de factores externos.

Semillas de cacao: Conjunto de granos recubiertos por una capa blanca y viscosa que se desarrollan dentro de la mazorca de cacao.

Almendras de cacao: grano que fermentado desarrolla sabores y aromas característicos al chocolate

Mucílago: Capa algodonosa, húmeda y suave, de sabor agridulce que es utilizada para la fermentación de las almendras de cacao, las cuales adquieren características de sabor y aroma al chocolate.

Material o Clon: Conjunto de plantas reproducidas asexualmente por injertación por acodos o enraizamiento de estacas y ramillas con el fin de fijar y preservar las características deseables de una planta particular.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo existe una alta producción de cacao siendo África el principal continente que participa en la producción de cacao con un 66.6%, seguido de Asia con un 18.5%, América con 13.7 % y finaliza con Oceanía con 1.2% en un periodo 2004 a 2014 (Faostat, 2017). Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) Colombia se encuentra entre los 10 principales países productores con 160,276 hectáreas de cultivo y de las cuales producen 47,732 Toneladas de cacao en grano para el 2014 (Faostat, 2017). Por otro lado, Fedecacao (Federación Nacional de Cacaoteros) para el 2016 reporta en Colombia un aumento de las áreas cultivadas (173,016 ha) y de su producción de cacao en grano (56,785 Ton) siendo el departamento de Santander su mayor contribuyente con 53,200 ha cultivadas y 22,117 toneladas (Fedecacao, 2017)

El árbol de cacao es considerado un cultivo perenne (es decir que su periodo de vida es 2 años o más) y rinde varias cosechas al año, presenta una altura media de 6 m con hojas lustrosas de 30 cm de longitud, en los troncos y ramas más viejas aparecen pequeñas flores rosas, de las cuales solo unas treinta (30) llegan a formar las mazorcas de cacao. Estas semillas presentan un color púrpura o blancuzco y son de sabor amargo. La cáscara o testa de las semillas, representa un 10 – 14 % del peso seco de la semilla de cacao mientras que el cotiledón representa el 86 – 90 % restante, siendo este el que confiere los sabores y aromas característicos del chocolate (Méndez et al, 2012). La producción y desarrollo del cacao está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales de la zona donde se cultiva, debido a que su periodo vegetativo (época de floración, brotamiento y cosecha) está regulado por el clima. Algunos de los factores climáticos que más impactan el desarrollo del cacao son las condiciones edafoclimáticas, entre ellas tenemos a la temperatura (25°C), la lluvia (bimodal, 1600 a 2500 mm de agua durante el año), el viento (1 a 2 m/seg), la luz (debido a que esta planta se desarrolla bajo sombra en plantaciones jóvenes y en cultivos establecidos requieren de un 50% o superior de intensidad lumínica) y el suelo (30 cm de profundidad así como horizontes y capas inferiores) debe ser rico en materia orgánica, con buen drenaje y topografía regular, estar localizado en suelos de arcilla pesada erosionada hasta arenas volcánicas recién formadas y limos con pH variable entre 4 y 7 (Méndez et al, 2012, Gonzales, 2017).

A pesar de que el cacao es originario de América latina, se ha presentado disminución en su producción debido a la presencia de enfermedades, especialmente fúngicas las cuales causan un 30% de pérdidas en promedio (Suárez et al. 2010). Actualmente las enfermedades que más preocupan a la población cacaotera son la Moniliasis (causada por el hongo *Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (causada por el hongo *Moniliophthora perniciosa*). La Moniliasis es la enfermedad que causa una mayor preocupación sobre todo para África del este, debido a que el 70 % de la producción mundial viene de esta región, la cual es transmitida por lluvia y viento a la superficie de las mazorcas, causando daños internos en las primeras etapas de desarrollo, aproximadamente 40 a 80 días después se originan manchas oscuras y un recubrimiento blanco en las mazorcas (Suarez et al. 2010). Por otro lado, otro caso preocupante es la escoba de bruja ya que esta enfermedad se encuentra en los 10 países productores de Latinoamérica y dependiendo de la zona

afectada se generan diversos síntomas (ramas con desarrollo vigoroso y excesivo, desarrollo de brotes vegetativos en forma de escoba, frutos en forma de chirimoya, zanahoria o fresa) (Suarez et al. 2010). Otro problema que afecta indirectamente al cacao es el Ébola ya que esta enfermedad se transmite de animales a personas y de personas a personas, causando fiebres altas, debilidad corporal incluso hasta la muerte (Marrufo et al, 2015). África sufrió uno de los más grandes brotes de Ébola disminuyendo drásticamente la cantidad de mano de obra necesaria para recoger los granos de cacao, elevando el precio del mismo (TeleSUR, 2014), y Colombia aprovecha esta oportunidad para impulsar la siembra de cacao y aumentar su propia economía, beneficiando a los cacaocultores del país. El Plan Colombia tiene como plan de acción la erradicación de los cultivos ilícitos (FAO, 2000), debido a que estos han causado graves problemas a los diferentes recursos terrestres del país, destruyendo los ecosistemas, la biodiversidad y el capital social y humano, generando unos suelos con diferentes estados de degradación, pérdida de materia orgánica y perturbación en el banco de semillas, que impiden el cultivo de otros productos para comercializar y ralentizan el tiempo de curación de la tierra (Ruiz et al, 2003) y entre algunos de los modelos alternativos planteados por el Plan Colombia, se tiene el cultivo de cacao como sustituidor de coca (FAO, 2000).



Figura 1. Partes características del cacao (Fuente: Autor)

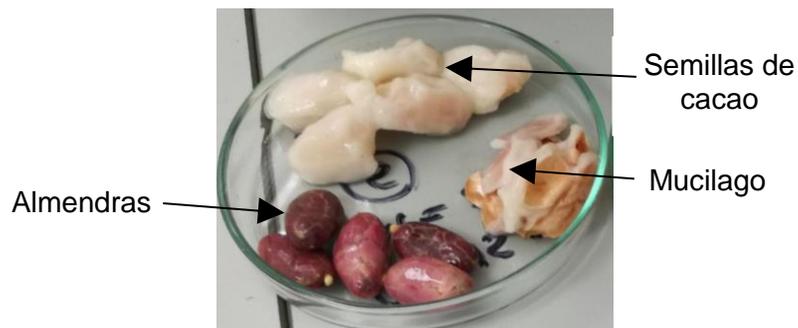


Figura 2. Partes principales de la fruta de cacao (Fuente: Autor).

La maduración de las mazorcas de cacao es determinada a partir de los cambios de coloración externa que presenta la mazorca (de verde a amarillo y de rojo a naranjas amarillos), pero este cambio puede ser muy ligero e imperceptible, por lo que los recolectores cosechan manualmente las mazorcas basándose en criterios físicos para determinar la maduración del fruto (sonido hueco que emite el fruto al ser golpeada). Algunos de los parámetros que influyen en la selección de un determinado tipo de cacao, es el tamaño del grano, el porcentaje de cáscara, contenido de grasa, dureza de la manteca y la humedad, por lo cual es importante evaluar dichos parámetros de calidad, debido a los atributos organolépticos que contienen, permitiendo controlar y eliminar sabores extraños ocasionados por mohos, el humo, la acidez y la astringencia que son el resultado de los factores condicionantes de la calidad de las almendras durante la postcosecha. Sin embargo, la rapidez en su maduración se puede ver afectada por dos factores, la susceptibilidad para las enfermedades y la posible germinación del grano. El color de la cacaota de cacao puede ser utilizado como una guía general para la maduración del cacao (Zambrano, et al. 2010, Franzen *et al.* 2007). Algunos autores citan que las características organolépticas del cacao colombiano y su calidad son reconocidas a nivel mundial, sin embargo, la fermentación es una operación unitaria que no se tiene controlada, ya que el manejo lo hacen por tradición (Sánchez *et al.* 2008), y por las prácticas de beneficio que se realiza en zonas cacaoteras (Cardona *et al.* 2016). Se deben realizar podas, fertilizaciones y retiro de mazorcas enfermas con la periodicidad establecida por quienes supervisan el cultivo (Cardona et al. 2016).

Dado que el patrón de desarrollo del cacao está vinculado al clima y a los recursos terrestres que posea la región del cultivo, esto afecta la formación y maduración de las mazorcas de cacao que dependen de la variedad, permitiendo la identificación de especies susceptibles o resistentes a infecciones y plagas que puedan dañar la plantación, además de las características específicas de la misma, como es el número de almendras que contenga, su peso, crecimiento y desarrollo. La maduración en el cacao es el factor más importante, ya que determina el tiempo de cosecha de la mazorca y otorgando al fruto cambios físicos y químicos como humedad, contenido de azúcar, acidez, entre otros factores que pueden alterar los diferentes procesos para la industrialización de este producto. Los cambios y la velocidad de maduración también son afectados por su material genético (Clones) y las condiciones edafoclimáticas del cultivo, por lo cual resulta complejo establecer parámetros de madurez que permitan determinar el momento óptimo para su cosecha. Aunque el color es uno de los parámetros más ampliamente usado no es totalmente confiable, dado que el color puede ser el mismo en varias mazorcas con diferentes estados de maduración, lo que dificulta una selección apropiada de cacao para recolectar. Por lo tanto, el siguiente trabajo de investigación está enmarcado en estudiar las propiedades fisicoquímicas del cacao del departamento de Santander e identificar y determinar un estado de maduración apto para la recolección, además de encontrar una forma de identificar el estado de maduración de las mazorcas de cacao que facilite y permita a los cacaoteros identificar dicho parámetro.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Reactivos*

Hidróxido de sodio 0,1 N.

2.2. *Material vegetal*

Los materiales de cacao CCN51, EET8 e ICS60 fueron recolectados en el Municipio de El Carmen de Chucurí, en el departamento de Santander, cada una con características propias del material. Se analizó un total de 88 mazorcas de las cuales 27 mazorcas fueron del material CCN51, 33 mazorcas del material EET8 y 27 mazorcas del material ICS60. Para el presente estudio se considera que las almendras son los granos de cacao a los cuales se les retira el mucilago y las semillas son el conjunto de grano y mucilago.

2.3. *Estado de madurez*

Cada material fue recolectado en 5 diferentes estados de madurez (EM), determinados por cacaoteros con años de experiencia en cultivos y fermentación de cacao que analizaron y determinaron la madurez de cada variedad. Esta madurez estuvo determinada por el cambio de coloración de la mazorca, por su tamaño y por prácticas de recolección manuales (sonido hueco que emite al ser golpeada). Para cada variedad se analizaron entre 4 a 9 mazorcas por cada estado de madurez. El estado de madurez (EM) no se encuentra definido en la literatura y tampoco en las normas técnicas colombianas NTC 1252 (Icontec, 2012) y NTC 5811 (Icontec, 2010).

2.4. *Toma de muestra y procesamiento*

Las mazorcas una vez recolectadas y clasificadas según su estado de madurez, fueron transportadas en una caja de poliestireno a temperaturas entre 0 y 4° C por medio terrestres (aprox. 8 h) hasta las instalaciones de Corpoica donde permanecieron en refrigeración mientras se realizaban los análisis respectivos a cada muestra.

2.5. *Análisis de atributos fisicoquímico*

2.5.1. *Parámetros físicos*

2.5.1.1. *Firmeza.*

La firmeza de las mazorcas se determinó utilizando un texturómetro Chatillon Digital (DFIS – 50) con el cual se aplicó una fuerza con un émbolo cilíndrico de 3.5 mm de diámetro, el cual descendió a 60 mm/min, expresando la fuerza en Kg_f en seis diferentes puntos de la mazorca (cuarto superior, cuarto inferior, ecuador, tanto en los valles como en las crestas).

2.5.1.2. *Diámetro ecuatorial y diámetro polar, peso de mazorca, cacota y semillas de cacao*

Se determinó el diámetro ecuatorial y diámetro polar en cada muestra obtenida por medio de un Calibrador Vernier (Pie de rey), expresando el resultado en mm. Posteriormente se pesó y se cortó la mazorca para extraer las semillas, se pesó la mazorca y las semillas en una balanza (Balanza digital Sartorius, Madrid – España), se determinó el peso de la cacota por medio de la diferencia entre los pesos de la mazorca y las semillas.

2.5.1.3. *Color*

Los parámetros de color se determinaron utilizando un equipo Colorímetro digital (Minolta Tlalnepantla, México D.F.) para determinar en el espacio CIELAB las coordenadas de color L^* (luminosidad), a^* (Balance entre rojo y verde) y b^* (Balance entre amarillo y azul), tomando tres puntos, cada uno ubicados en el área ecuatorial, cuarto superior y cuarto inferior de la mazorca. Con estos puntos se determinó el croma (saturación, intensidad o pureza del color), el ángulo Hue (diferencia de un color a otro) y el índice de color (indicador de la relación de los colores).

2.5.1.4. *Determinación de Humedad*

La humedad fue determinada tomando 10 semillas de cada material obtenido en sus diferentes estados de madurez y dividiéndolas en dos grupos de 5 semillas cada uno. A las primeras 5 se separó el mucílago de las almendras y las otras 5 se dejaron intactas. Se pesaron las semillas intactas, las almendras y el mucílago en una caja de Petri, y se llevarán a una estufa de secado (Autonics modelo TZ4L, USA) por un tiempo de 24 horas siguiendo el método AOAC 931.04 que describe dicho método para los granos de cacao (AOAC,

2016). Transcurrido este tiempo se tomó el peso por separado de las semillas intactas, el mucílago y las almendras en una Balanza digital (Mettler PE 300, USA) determinando el porcentaje de humedad por diferencia de pesos.

2.5.2. *Parámetros Químicos*

2.5.2.1. *pH, acidez total y contenido de sólidos solubles.*

Se separó las almendras del mucílago y con este subproducto se filtró hasta obtener entre 10 a 20 mL de extracto (en el caso en el que el mucílago sea escaso, se pesa y diluye hasta obtener una solución clara). El pH se determinó analizando la muestra de 10 a 20 mL de extracto de mucílago utilizando un potenciómetro digital (Mettler Toledo AG pH / Ion S220, Schwerzenbach, Switzerland) siguiendo la metodología descrita para granos de cacao y sus productos en el método AOAC 970.21 (AOAC, 2016). La acidez se determinó tomando una muestra diluida 1:5 de extracto de mucílago y agua destilada y titulando con NaOH 0,1 N, utilizando un potenciómetro para la verificación de pH con un valor de 8,2 correspondiente al método AOAC 942.15 el cual está descrito para los granos de cacao y sus productos (AOAC, 2016) expresada por medio del ácido predominante (ácido cítrico) con una muestra diluida 1:5 de extracto de mucílago y agua destilada. Los sólidos solubles totales (°Bx) se determinaron utilizando un refractómetro manual (Hand Refractometer Euromex, Arnhem - Holland), donde se tomó una alícuota del extracto y se depositó en el prisma.

2.6. *Análisis de resultados*

Para determinar el efecto del material, el estado de madurez y su relación en cada parámetro evaluado, se llevó a cabo un análisis de varianza unidireccional (ANOVA; Statgraphic Plus, 5.1, Manugistic Inc, Rockville, MD, EE. UU.) tomando la distribución F con error tipo III significativo cuando la probabilidad sea menor a 0.05 ($P < 0.05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efecto del material y el estado de madurez sobre el peso de la mazorca, semillas y cacota

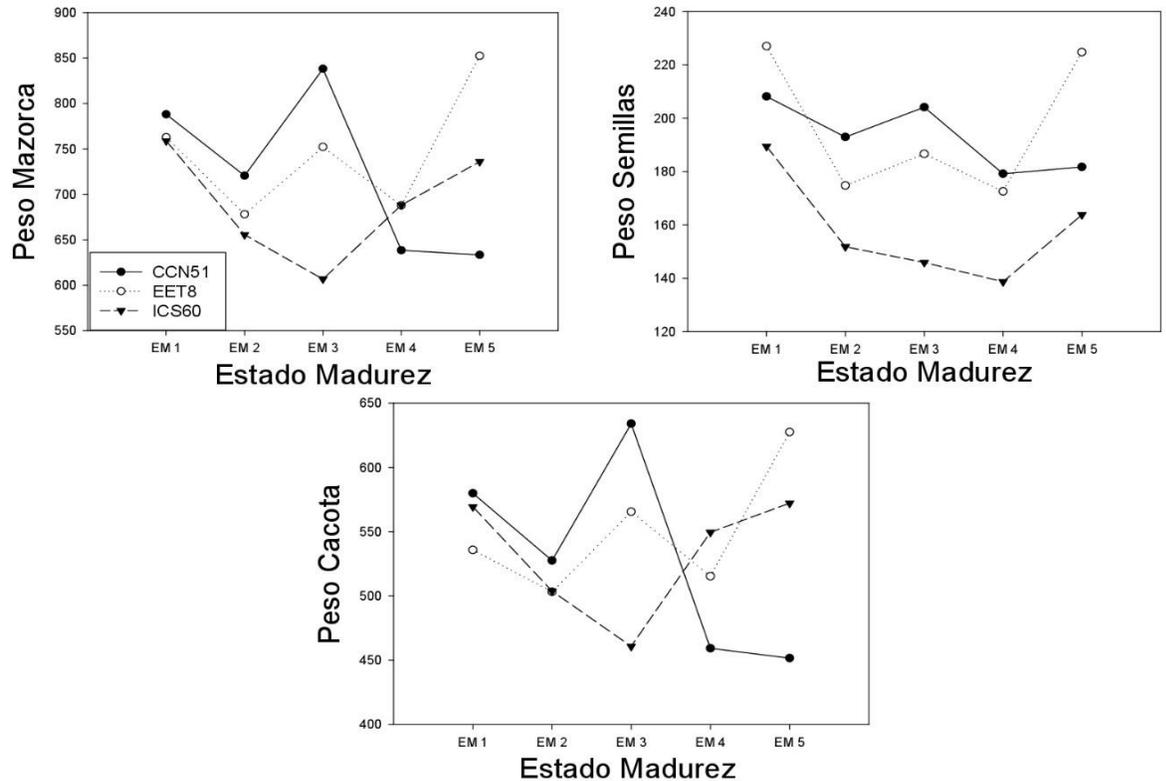


Figura 3. Efecto del material en los 5 estados de madurez sobre los pesos de mazorca, semillas y cacota.

3.1.1. Peso mazorcas

El resultado del peso de la mazorca se presentó en un rango promedio entre 600 a 880 g para los tres materiales, siendo variable en cada EM representados gráficamente en la figura 3. Según el análisis estadístico realizado (Tabla 1), no se presentó diferencia significativa por el material, estado de madurez ni por la relación entre ambas variables, lo cual se entiende que para el peso de la mazorca los efectos analizados no son una influencia en este parámetro, por lo que se considera que lo que puede afectar al crecimiento de las mazorcas son los factores externos como el clima y el suelo, sin embargo, no se descarta que las características genéticas del propio material también afecta el crecimiento de la mazorca. En un estudio reportado por Martínez (2016) para la

variabilidad del cacao nacional bolivariano (CNB) se encontró que el peso promedio de las mazorcas fue de 272.6 g, obteniendo un peso máximo de 383.3 g y el más bajo de 227 g, siendo estos valores menores con respecto a las variedades analizadas en el presente trabajo, también el estudio de Oliva *et al.* (2014) en 15 clones de cacao (ICS-95, Híbrido, Ronald, CCN51, Criollo, ICS1, P7 [PAO7], IMC67, ICS6, P12 [PAO12], ICS-39, CCS1, CCS-2, CCS3 y CCS4), presentaron un menor peso de mazorca (486 g) con respecto a los obtenidos en el presente trabajo. Los análisis estadísticos realizados ponen a consideración que las características genéticas del material y las condiciones edafoclimáticas son factores influyentes en el crecimiento y desarrollo de los frutos de cacao, teniendo en cuenta que se desarrolla tanto las semillas como la cacota y que puede ser un parámetro de calidad y determinación de tiempo de recolección de estos. Este parámetro no es óptimo al momento de definir un estado de maduración ya que la mayor parte de la mazorca está conformada por el 70 – 80% el cual corresponde a la cacota, mientras que las semillas tienen de 20 – 30% restante de la mazorca de cacao, por lo cual este parámetro evaluado puede asociarse más al rendimiento del producto que a su calidad.

3.1.2. *Peso semillas*

Los resultados del peso de las semillas se obtienen en rango promedio de 138 a 227 g entre cada clon y EM los cuales son representados en la figura 3. Las almendras del clon ICS60 reportó los valores más pequeños de almendra mientras que en los análisis estadísticos (Tabla 1), se presentó diferencia significativa solo en el material. El estado de madurez y su relación con el material no presentaron diferencia significativa, lo cual determina que cada material genera una cantidad y peso de semillas diferentes, siendo esto un factor determinante para optimizar la producción de cacao, debido a que, a un mayor peso de semillas, mayor productividad se puede alcanzar del producto, además de que las características del suelo y las condiciones edafoclimáticas podrían afectar el desarrollo de dicho producto. A parte se realizó un porcentaje de semillas el cual determinó que de un 20 al 30 % de la mazorca es representado por las semillas de cacao. Los datos obtenidos son superiores a los reportados en cacao nacional bolivariano, entre un rango de 65-95g (Martínez, 2016) pero menores a los reportados en 15 clones de cacao (ICS-95, HIBRIDO, RONALD, CCN-51, CRIOLLO, ICS-1, P-7 (PAO7), IMC-67, ICS-6, P-12 (PAO12), ICS-39, CCS1, CCS-2, CCS-3 y CCS-4), con un promedio de 561 g (Oliva *et al.* 2014). Los análisis estadísticos realizados ponen en consideración que a través del proceso de maduración las semillas de cacao se van desarrollando, ganando peso, cambiando el color y forma; lo cual puede considerarse como parámetros de calidad en la producción de chocolate. Un estado de maduración primario no favorece la calidad del producto final, independiente de las características genéticas propias de cada material, las cuales generan determinado número de semillas independiente en cada fruto del árbol de cacao. Como se observa en la gráfica, los mayores pesos en semillas están entre los materiales EET8 y CCN51, por ende, estos materiales serían considerados los más óptimos para la fermentación de la almendra y posteriormente la producción de chocolate, siendo de gran beneficio para los cacaoteros, dado que su economía aumentaría conforme el peso de las semillas, pero se debe tener cuidado con el estado de madurez que presente, ya que este es el que afecta la calidad de grano.

3.1.3. *Peso cacota*

Los pesos de la cacota fueron determinados por la diferencia de peso entre la mazorca y las almendras, presentando rangos de 451 a 634 g en los clones y EM analizados, observados en la figura 3 y según el análisis estadístico (Tabla 1), no existe diferencia significativa en ninguna de las variables evaluadas. Se realizó un promedio del porcentaje de cacota en los materiales analizados obteniendo un promedio representativo del 70 – 80% de la mazorca. Los datos son superiores a los reportados por Graziani et al. (2002), donde reporta el peso de la cáscara de cacao criollo, forastero amazónico y trinitario en la parcela La Isleta de 375.18, 334,72 y 431.82 g, en la parcela La Vega de Santa Cruz de 479.76, 388.46 y 398.07 g respectivamente y de la parcela En el paraíso de 34.58, 376.39 y 429.02 respectivamente, todas de la localidad de Cumboto del estado Aragua.

No hay suficiente información disponible de estudios que reporten el peso de la cáscara de cacao. Sin embargo, este subproducto que es desechado por diversas industrias cacaoteras ha sido utilizado para la elaboración de diversos productos con el fin de ser usado en la industria alimentaria como ambiental, pasando por extracción de pectinas (Barazarte et al. 2008,), siendo considerada una fuente promisoría de fibra dietaria (Abarca et al. 2010), analizando su actividad antibacteriana frente a cepas ATCC y autóctonas (Cuéllar et al. 2012), o para la obtención de espumas de poliuretano para uso hortícola (Padrón et al. 2004). Debido al análisis estadístico realizado, se tiene en consideración las características genéticas que influyen en el desarrollo de la cacota, además de que las condiciones edafoclimáticas y los requerimientos del suelo influyen en el desarrollo de estos productos, las cuales actúan como barrera para las diferentes enfermedades y para las semillas, permitiendo el desarrollo del fruto, y su variación de color, apariencia, y textura, las cuales son determinantes para la calidad del cacao. Los cacaoteros terminan considerando un desperdicio a la cacota ya que en la industria alimentaria no es utilizado, por ende, se puede utilizar dicho subproducto para generar otros ingresos a partir de los diferentes usos que presente y obtener un rendimiento total de la mazorca.

Tabla 1. Análisis estadístico de los atributos físicos relacionados al peso.

Peso Mazorca				Peso Semillas				Peso Cacota			
Promedio por Material (g)		promedio por EM (g)		Promedio por Material (g)		promedio por EM (g)		Promedio por Material (g)		promedio por EM (g)	
EET8	746.67 ^a	EM1	769.94 ^a	EET8	197.18 ^a	EM1	208.24 ^a	EET8	549.49 ^a	EM1	561.69 ^a
		EM5	740.61 ^a			EM5	190.14 ^a			EM3	553.47 ^a
CCN51	723.75 ^a	EM3	732.38 ^a	CCN51	193.26 ^{ab}	EM3	178.91 ^a	ICS60	531.13 ^a	EM5	550.46 ^a
		EM2	684.73 ^a			EM2	173.20 ^a			EM2	511.52 ^a
ICS60	689.09 ^a	EM4	671.53 ^a	ICS60	157.96 ^b	EM4	163.49 ^a	CCN51	530.50 ^a	EM4	508.04 ^a
Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F	
Material		NS		Material		4.09		Material		NS	
Estado Madurez		NS		Estado Madurez		NS		Estado Madurez		NS	
Material X Estado Madurez		NS		Material X Estado Madurez		NS		Material X Estado Madurez		NS	

NS = No significativo. El valor F obtenido estadísticamente representa significancia en la variable analizada ($P < 0.05$) Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

3.2. Efecto del material y el estado de madurez sobre el número de almendras

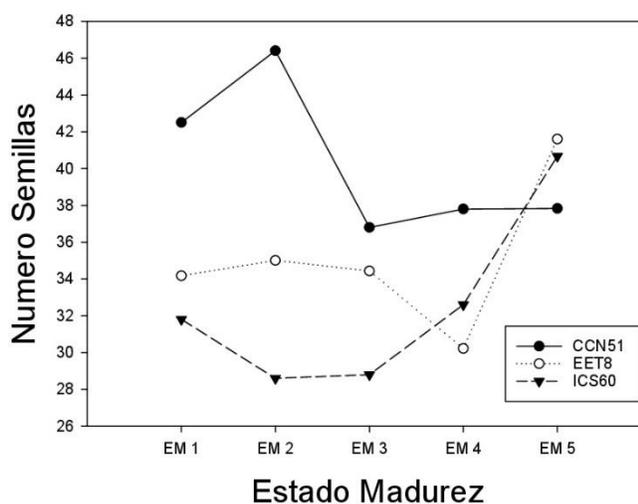


Figura 4. Número de almendras de cada material en los 5 estados de madurez.

El número de almendras se determinó manualmente obteniendo rangos promedio de 29 a 46 semillas en cada material y EM, los cuales son representados en la figura 4. Según el análisis estadístico, no se presentó diferencia significativa para las variables estudiadas (Tabla 2) lo que puede determinar que los factores externos (suelo y condiciones edafoclimáticas), además de las características genéticas propias de cada material influyen en la generación de semillas de cacao y de las cuales se desarrollan a través del proceso de maduración en el tiempo. Se puede observar que cada material presenta una variación

entre el número de semillas que genera en el proceso de maduración del cacao, pero a través del EM estas no aumentan en número, pero si en peso dependiendo de la época de cosecha. Los datos son similares a los reportados por Martínez (2016) quien citó un rango de semillas entre 38-43 unidades en Cacao Nacional boliviano. Rangel *et al.* (2011) reportó que el contenido de humedad, el tamaño y el peso seco de las semillas varía a medida que aumenta el estado de madurez, y presentando también diferencia entre las variedades analizadas, confirmando que dependiendo del material seleccionado se obtiene un determinado número de semillas, además que sus características tanto físicas como químicas varían al avanzar el estado de madurez. La investigación realizada por Chang *et al.* (2014) a 15 muestras de cacao las cuales doce fueron experimentales y tres comerciales (DIRCYT-C102, DIRCYT-C103, DIRCYT-C107, DIRCYT-C114, DIRCYT-C120, DIRCYT-C129, DIRCYT-C225, DIRCYT-C228, DIRCYT-C238, DIRCYT-C251, DIRCYT-C257, DIRCYT-C255, EET103, CCN51 E IMC67) en donde los mayores valores fueron entre el clon DIRCYT-C255 que obtuvo 46.4, seguido por el material CCN-51 con 45.00. El promedio general del número de almendras fue 40.4 y demostrando que el cacao CCN51 presentó los mejores atributos evaluados. Graziani *et al.* (2002) citaron que el número de semillas depende de la fecundación individual de los ovarios, estando el máximo controlado por el número de óvulos por ovario, es un carácter muy constante por lo que lo que más afecta a la generación del número de semillas es tanto la fecundación de la flor como la variedad genética que se trata. Se considera que para tener un parámetro directo de calidad es necesario que las semillas sean de un tamaño promedio en gran cantidad, pues este parámetro influye tanto en la productividad como en las actividades posteriores al tratamiento del grano. Los análisis estadísticos presentados relacionan en valores promedio por material y EM, obteniendo los mayores valores en CCN51 y EM5, considerando que las características genéticas influyen en la cantidad de almendras por mazorca existente, pero se tiene en consideración que las condiciones edafoclimáticas, además de los requerimientos que presentan los suelos también afectan el desarrollo de estos frutos. En el transcurso de la maduración, los granos se van desarrollando, modificando su estructura física y composición química, afectando así la calidad final del chocolate. El material CCN51 presentó un mayor número de semillas y, por ende, es considerado uno de los más cultivados por los productores dada la alta productividad que esto representa, pero al parecer no se encuentra entre los clones sobresalientes por sus características de aroma y sabor.

Tabla 2. Análisis estadístico de los atributos físicos relacionados al número de semillas.

Numero Almendras			
Promedio por Material (Und)		promedio por EM (Und)	
CCN51	40.267 ^a	EM5	40.033 ^a
		EM2	36.667 ^a
EET8	35.083 ^{ab}	EM1	36.155 ^a
		EM4	33.541 ^a
ICS60	32.493 ^b	EM3	33.343 ^a
Efecto analizado		Valor F	
Material		2.67	
Estado Madurez		NS	
Material X Estado Madurez		NS	

NS = No significativo. El valor F obtenido estadísticamente representa significancia en la variable analizada ($P < 0.05$) Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

3.3. Efecto del material y el estado de madurez sobre el porcentaje de humedad

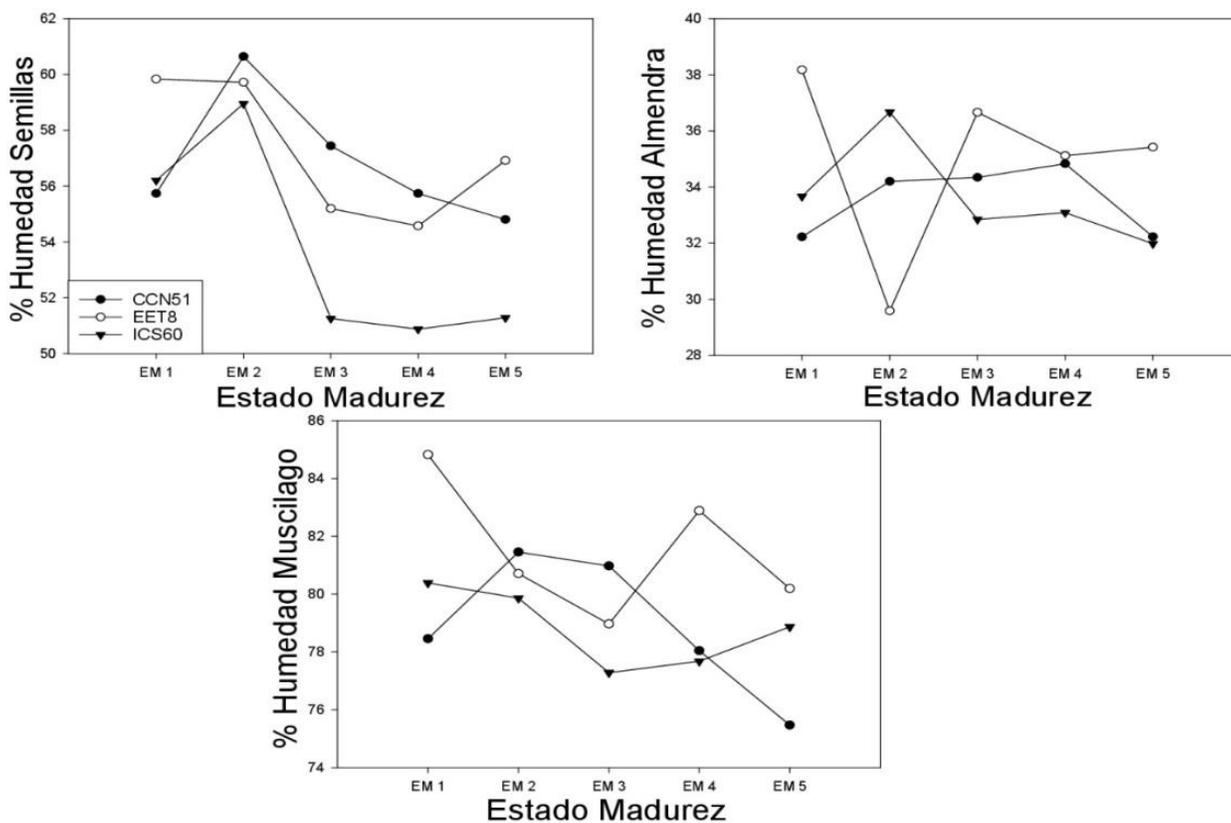


Figura 5. Efecto del material en los 5 estados de madurez al porcentaje de humedad.

3.3.1. Porcentaje de humedad en semillas

El porcentaje de humedad de las semillas de cacao se presentó en rangos promedios de 50 a 61 % en cada material y en los EM estudiados, como se observa en la Figura 6. Se observa como la humedad aumenta en el EM2 y luego todas descienden con la maduración. Según el análisis estadístico presentado en la Tabla 3, solo existe diferencia significativa con respecto al estado de madurez, por lo que se considera que en las primeras partes del proceso de maduración la humedad en las semillas debe aumentar ya que van evolucionando las características fisicoquímicas como organolépticas de las semillas y por esto la humedad debe aumentar, pero, al continuar la maduración se pierde esta humedad, por lo tanto un parámetro de calidad es presentado en el EM2 que es en donde los valores más altos de humedad en granos es obtenido, y en donde se podrían obtener granos secos de alta calidad, se observó al hacer este trabajo que algunas semillas eran bastante húmedas y su mucílago era de color blanco, pero en otras el color del mucílago ya era amarillo o la humedad era muy baja, lo que podría entenderse como principios de sobre maduración o inmadurez de las semillas. Según Peláez *et al.* (2016) la humedad en granos de cacao para la variedad CCN51 al inicio del proceso fermentativo manual o semi-mecanizado fueron de 51.89% y 51.91%, estando entre los promedios obtenidos en la metodología empleada. Según la gráfica, en los primeros EM la humedad es alta, pero debe considerarse que el desarrollo tanto del mucílago como de la almendra la humedad se va reduciendo, generando cambios tanto en el mucílago como al interior de la almendra que pueden afectar el posterior desarrollo de la fermentación y con esto la calidad del producto final. Para los cacaoteros no es fácil determinar este parámetro aun cuando es considerado un parámetro de calidad para la fermentación del cacao, además que al tener un estado inicial de maduración con los mayores valores de humedad puede presentar diferencias en su composición que pueden afectar el proceso de beneficio y la calidad final del cacao, demostrando que determinar dicho EM no es fácil para los cacaoteros.

Tabla 3. Análisis estadístico del porcentaje de humedad

Humedad Semillas				Humedad Almendras				Humedad Mucilago			
Promedio por Material (%)		promedio por EM (%)		Promedio por Material (%)		promedio por EM (%)		Promedio por Material (%)		promedio por EM (%)	
EET8	57.250 ^a	EM2	60.055 ^a	EET8	34.995 ^a	EM1	34.690 ^a	EET8	80.845 ^a	EM1	81.220 ^a
		EM1	57.260 ^{ab}			EM3	34.634 ^a			EM2	80.698 ^a
CCN51	56.873 ^a	EM3	54.863 ^{ab}	ICS60	33.767 ^a	EM4	34.302 ^a	ICS60	78.956 ^a	EM3	79.217 ^a
		EM5	54.330 ^b			EM2	33.726 ^a			EM4	78.396 ^a
ICS60	53.036 ^a	EM4	53.757 ^b	CCN51	33.568 ^a	EM5	33.197 ^a	CCN51	78.878 ^a	EM5	78.268 ^a
Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F	
Material		NS		Material		NS		Material		NS	
Estado Madurez		3.33		Estado Madurez		NS		Estado Madurez		NS	
Material X Estado Madurez		NS		Material X Estado Madurez		NS		Material X Estado Madurez		NS	

NS = No significativo. El valor obtenido estadísticamente representa significancia en la variable analizada ($p < 0.05$)
Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

3.3.2. *Porcentaje de humedad de almendras*

Con el porcentaje de humedad de las almendras se obtuvo rangos promedio de 29 a 37 % entre los materiales y EM estudiados, como se observa en la Figura 6. Según el análisis estadístico visualizado en la Tabla 3 ni el material ni el estado de madurez ejercen algún efecto sobre la humedad de las almendras, por lo que se considera que uno de los factores que puede causar una pérdida de humedad en las almendras es la evolución del fruto a través del tiempo, así como el desarrollo de las características genéticas y organolépticas del producto. Un estudio realizado por Amaiz *et al.* (2013) analizó valores de humedad de los granos de cacao en diferentes etapas de beneficio encontrando un contenido promedio de humedad del 32,5 % en granos frescos atribuidas a reacciones inherentes a la biomasa y al hinchamiento del grano siendo comparables a los datos reportados en este estudio. Se presenta un decrecimiento drástico de la humedad para el material ICS60, esto puede deberse a que el fruto no ha comenzado su proceso de maduración por lo que este podría ser un EM1 o anterior a los estudiados en este trabajo. Los análisis estadísticos, así como las gráficas muestran que en los primeros estados de maduración las almendras contienen una importante cantidad de humedad y que a través del tiempo de maduración esta humedad se pierde conforme se desarrollan las características organolépticas aumentando su calidad y beneficio para los cacaocultores.

3.3.3. *Porcentaje de humedad del mucílago*

Con el porcentaje de humedad del mucílago se obtuvo rangos promedios de 75 a 85 % en cada material y EM estudiado, como se observa en la Figura 6. Según el análisis estadístico realizado, no se presentó diferencia significativa (Tabla 3) en la humedad del mucílago ni por el material ni por el estado de madurez del cacao, por lo que se consideró que la humedad disminuye ya sea por sobremaduración o falta de madurez del fruto. Otro análisis realizado por Vallejo *et al.* (2016) muestra que la humedad del mucílago para el CCN51 presenta una humedad de 80.5, siendo acorde a los resultados obtenidos en este trabajo. Se observa que la humedad en el mucílago disminuye con cada estado de madurez, lo que confirma que, a través del tiempo, la humedad se pierde a través de las reacciones fisicoquímicas que ocurren con la almendra; sin embargo no se puede establecer un contenido óptimo de humedad, pues si está muy seco no se da un buen desarrollo de la fermentación y se privilegia otro tipo de microorganismos perjudiciales para el cacao; pero si la humedad está alta, al igual que el contenido de azúcares la fermentación puede conducir a cacaos muy ácidos, perjudicando la calidad del cacao. Los productores tienen más experiencia manejando cacaos como los del segundo caso, el cual lo abren, desalmendran y lo dejan escurrir para que reduzca parte de su humedad y de sus azúcares, sin sacrificar el contenido de los demás compuestos. Los análisis estadísticos realizados muestran que en promedio el mayor contenido de humedad del mucílago lo reportó el ICS60 en el EM1, pero en este estado posiblemente no la almendra no ha desarrollado completamente las características y composición adecuada para lograr un buen desarrollo durante la fermentación. La humedad que presenta el mucílago está estrechamente relacionada con los cambios fisicoquímicos que ocurren junto con la almendra, siendo un importante parámetro para el buen desarrollo de la fermentación sin embargo no resulta

práctico para los cacaocultores utilizarlo como criterio de cosecha porque constituye una prueba destructiva. Posiblemente el contenido de humedad del mucílago si pueda relacionarse con el sonido que generan las almendras cuando la mazorca es sacudida, criterio que es utilizado por los cacaocultores. Sin embargo, para hacer esta metodología más objetiva es necesario buscar patrones de referencia que permitan cuantificarla relacionarla y relacionarla por ejemplo con el contenido de humedad del mucílago.

3.4. Efecto del material y el estado de madurez sobre la firmeza

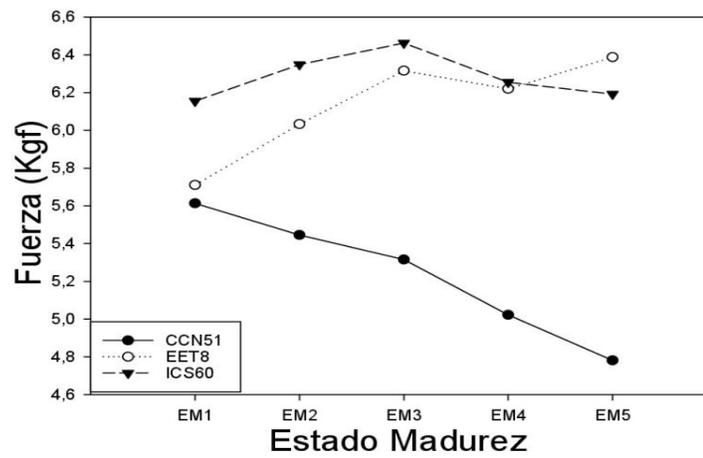


Figura 6. Efecto del material en los 5 estados de madurez para firmeza

En el análisis de firmeza se obtuvieron valores de fuerza en rangos promedios de 4.7 a 6.4 Kg_f en los diferentes materiales y EM evaluados, como se muestra en la figura 7. Se observa un caso particular para el material CCN51, ya que la fuerza de este disminuye a cada EM, pero en los otros materiales aumenta hasta el EM3 y luego disminuye, esto debe identificar que los materiales EET8 e ICS60 al seguir su proceso de maduración su cacota se vuelve más gruesa y dura haciendo que romper dicha coraza requiera de un aumento de fuerza, por otro lado para el CCN51 la fuerza empleada disminuye por lo que se considera que la cáscara se debilita al aumentar la maduración

Según el análisis estadístico realizado y presentado en la tabla 4 solo se presenta diferencia significativa en el efecto material, por lo que se propone que la variedad genética es lo que determina la dureza de la cacota y su cambio con la maduración. No hay información en la literatura sobre análisis de firmeza realizados directamente en la mazorca de cacao. Algunos estudios de firmeza realizados a diferentes frutas confirman que, a un mayor EM, la firmeza del fruto va disminuyendo (Ciro *et al.* 2007, Torres *et al.* 2015) lo que puede aplicarse en las mazorcas de cacao. Esto puede deberse a la degradación de carbohidratos poliméricos (pectina y celulosa especialmente) las cuales debilitan las paredes celulares lo que causa el ablandamiento. En las primeras etapas de maduración la textura y consistencia son óptimas, pero al paso del tiempo, las degradaciones de ciertas sustancias alteran la textura y consistencia del fruto. (Pinzón *et al.* 2007). Los análisis estadísticos

realizados muestran que el material el EET8 presenta los mayores valores de firmeza; mientras que los promedios de firmeza de los diferentes materiales en EM5 reportaron mayores valores de firmeza, contrario a lo que se esperaba, pues de acuerdo con Pinzón (2007), la firmeza debería disminuir con la maduración. Sin embargo, como se ha mencionado previamente estas características se pueden ver afectadas por labores culturales y condiciones edafoclimáticas entre otros factores. Según la gráfica, los materiales EET8 e ICS60 podrían recolectarse en un EM4, estado en que la cacota ya está más débil indicando que ya ha comenzado su proceso de maduración en el cual las paredes celulares comienzan a degradarse; pero es necesario tener en cuenta las demás características especialmente la composición de las almendras en cuanto a azúcares, teobromina y cafeína para poder establecer una correlación entre la firmeza y estas características que permitan al productor tener un criterio más confiable para determinar el momento óptimo de cosecha.

Tabla 4. Análisis estadístico de firmeza en los estados de madurez.

Fuerza			
Promedio por Material (Kg _i)		promedio por EM (Kg _i)	
EET8	6,289 ^a	EM5	6.242 ^a
		EM2	6.057 ^a
ICS60	6,067 ^{ab}	EM1	6.056 ^a
		EM3	5.874 ^a
CCN51	5,646 ^b	EM4	5.775 ^a
Efecto analizado		Valor F	
Material		4,4	
Estado Madurez		NS	
Material X Estado Madurez		NS	

NS = No significativo. El valor F obtenido estadísticamente representa significancia en la variable analizada ($p < 0.05$). Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

3.5. Efecto del material y el estado de madurez sobre los atributos físicos

3.5.1 Diámetro Polar y Diámetro Ecuatorial

Tabla 5. Análisis estadístico de Diámetro polar y ecuatorial en los estados de madurez.

Diámetro Polar				Diámetro Ecuatorial			
Promedio por Material (mm)		promedio por EM (mm)		Promedio por Material (mm)		promedio por EM (mm)	
CCN51	211.609 ^a	EM5	204.840 ^a	EET8	96.443 ^a	EM5	96.077 ^a
		EM3	202.416 ^a			EM1	93.625 ^a
ICS60	205.533 ^a	EM4	201.914 ^a	CCN51	91.823 ^{ab}	EM3	93.292 ^a
		EM2	198.964 ^a			EM4	92.647 ^a
EET8	186.472 ^b	EM2	197.889 ^a	ICS60	90,769 ^b	EM5	89.416 ^a
Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F	
Material		8,07		Material		4,14	
Estado Madurez		NS		Estado Madurez		NS	
Material X Estado Madurez		NS		Material X Estado Madurez		NS	

NS = No significativo. El valor F obtenido estadísticamente representa significancia en la variable analizada ($P < 0.05$). Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

En el análisis del diámetro polar se obtuvo en rangos promedio entre 176 a 224 mm y para el diámetro ecuatorial entre 86 a 103 mm para los EM y materiales analizados. Según el análisis estadístico realizado (Tabla 5), se presentó diferencia significativa con respecto al material mientras que el estado de madurez y su relación con él material no fue significativo. Se observó que incluso entre los mismos materiales en diferentes EM variaba la forma del fruto, algunos eran largos y ovalados y otros eran pequeños y redondos por lo que sugiere que los factores externos como clima y nutrientes del suelo además de las características genéticas de cada material pueden afectar el tamaño de la mazorca. Por lo tanto, el tamaño no es un parámetro de calidad debido a que si el fruto es grande no necesariamente indica que tiene gran contenido de semillas o de gran tamaño. Un estudio analizado al cacao nacional bolivariano (CNB) presenta valores bajos de largo de la mazorca entre 115 – 166 mm y su diámetro es de 70 – 81 mm (Martínez, 2016). Según lo reportado en la literatura, los frutos varían de tamaño y forma, generalmente presentando una forma de baya de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro (Flórez *et al.* 2000) por lo que los valores obtenidos están dentro del rango aceptable teórico. Otro estudio realizado en Nicaragua determinó que el diámetro y la longitud media de los frutos analizados fue 92 mm y de 177 mm (en un rango de 126 – 242 mm) respectivamente (Ayestas *et al.* 2013), estando en el rango de las variedades analizadas en el presente trabajo. Los análisis estadísticos revelan que, para el diámetro polar y el diámetro ecuatorial se desarrollan por las características genéticas de cada material y el tiempo de maduración, parámetros que influyen en el desarrollo de la mazorca, su elongación y ensanchamiento durante todo este proceso y por los cuales se puede considerar un criterio de calidad ya que esta metodología no daña al producto en cuestión, pero, dada la amplia variabilidad que presentan las mazorcas tanto en el material

como en el mismo EM, es necesario evaluar otro parámetros que sean característicos de los frutos y que permitan a los cacaocultores definir la evolución del fruto.

3.5.2 Parámetros de color (Croma, ángulo Hue e índice de color)

El Croma es el valor que representa la saturación, intensidad o pureza de un color el cual puede ser calculada con la expresión (1). El presente trabajo encontró rangos promedio de 19 a 51 para los diferentes EM y materiales. El Hue es el ángulo que determina el tono del color, el cual puede ser calculado con la expresión (2), el presente trabajo determinó rangos promedio de 38 a 105 entre los materiales y EM analizados. Según la investigación realizada por Vignoni *et al.* (2006), el color se puede evaluar determinando el índice de color (IC*).

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$^{\circ}h = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) * \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (2)$$

$$IC^* = \frac{(a^*) * (1000)}{(L^*) * (b^*)} \quad (3)$$

El índice de color calculado con la expresión (3) en el presente trabajo obtuvo rangos promedio de -5 a 47 para los materiales y EM analizados. Utilizando el sistema CIELAB, se observa que CCN51 toma coloraciones desde el rosado claro hasta un rojo oscuro, EET8 presenta coloraciones rojas y anaranjadas e ICS60 presenta coloraciones desde el verde hasta el amarillo. Vignoni *et al.* (2006) afirma que: el IC (Índice de Color) puede utilizarse como variable de control organoléptica de los alimentos y propone los siguientes rangos de IC (entre valores positivos y negativos) y los colores relacionados a esos valores:

- I. IC = **-40 a -20**, se relaciona a colores desde el azul – violeta hasta el verde profundo.
- II. IC = **-20 a -2**, se relaciona a colores desde el verde profundo hasta el verde amarillos.
- III. IC = **-2 a 2** se relaciona al color amarillo verdoso.
- IV. IC = **2 a 20** se relaciona a colores desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- V. IC = **20 a 40** se relaciona a colores desde el naranja intenso al rojo profundo.

Lo cual según la afirmación de Vignoni, los valores obtenidos están dentro de los colores descritos utilizando el sistema CIELAB.

Tabla 6. Análisis estadístico de parámetros de color en los estados de madurez

Croma				Hue				Índice de color			
Promedio por Material		Promedio por EM		Promedio por Material		Promedio por EM		Promedio por Material		Promedio por EM	
ICS60	37.354 ^a	EM5	45.946 ^a	ICS60	93.067 ^a	EM2	65.758 ^a	CCN51	39.963 ^a	EM1	27.383 ^a
		EM4	41.452 ^b			EM3	63.312 ^{ab}			EM3	20.691 ^a
EET8	32.645 ^b	EM3	31.360 ^c	EET8	51.357 ^b	EM1	62.819 ^{ab}	EET8	26.609 ^b	EM2	20.652 ^a
		EM2	27.107 ^d			EM4	60.305 ^{ab}			EM5	19.803 ^a
CCN51	30.471 ^b	EM1	21.585 ^e	CCN51	41.263 ^c	EM5	57.287 ^b	ICS60	-1.650 ^c	EM4	19.670 ^a
Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F	
Material		17,41		Material		226,77		Material		106,89	
Estado Madurez		81,17		Estado Madurez		2,66		Estado Madurez		NS	
Material X Estado Madurez		2,11		Material X Estado Madurez		5,82		Material X Estado Madurez		3,3	

NS = No significativo. El valor F obtenido estadísticamente representa significancia en la variable analizada ($P < 0.05$). Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes.

Según el análisis estadístico realizado (Tabla 6), se presenta diferencia significativa con respecto al material, al estado de madurez y la interacción entre el material x estado de madurez. El estado de madurez para el índice de color no es significativo. Utilizando un diagrama CIELAB en el cual se toma el croma y el ángulo Hue para determinar el color que presentan los materiales, se observó que los valores obtenidos concuerdan con los colores observados en los frutos (rojos anaranjados y amarillos verdosos), además de que los valores para índice de color obtenidos están dentro de los rangos y colores que propone Vignoni *et al.* (2006). El índice de color obtenido caracteriza muy bien el color de la mazorca, pero al no encontrar diferencias significativas en el IC debido al estado de madurez no se puede seleccionar como un criterio para determinar la madurez y por ende criterio para asegurar que presenta las mejores características para desarrollar una buena fermentación y asegurar una mejor calidad del cacao. Con respecto al Croma y el Hue si se encontraron diferencias significativas y aunque estas tecnologías o herramientas son recientes y no son de bajo costo para los productores, la idea es poder construir una carta de color o mejor aún una aplicación de manera que el productor pueda tomar la foto y con la aplicación determinar el color y estado de madurez que presenta la mazorca y así determinar si está para cosechar. Pero aún falta mayor trabajo para llegar a esto, pues este era un primer acercamiento para determinar la viabilidad y confiabilidad de estas herramientas. Graziani *et al.* (2002) habla sobre el color de los frutos el cual fue analizado por comparación visual usando la Tabla de color Methuen Handbook of Color de Korneup y Wonscher, pasando del rojo púrpura, rojo oscuro y anaranjado rojizo hasta un verde claro con tonalidades amarillas. Los análisis estadísticos revelan que el estado de madurez no afecta el cambio de color o no marcó diferencias significativas en el IC de la mazorca, por lo cual no pueden considerarse como parámetro de madurez. Por lo tanto, se recomienda evaluar la

interacción del IC con otros factores o variables físicas como diámetros polares y ecuatoriales, peso y tamaño de la mazorca; o con parámetros como pH, acidez y SST.

3.3. Efecto del material y el estado de madurez sobre el pH, acidez y SST

3.3.1 pH

En la medición del pH del mucílago del cacao se obtuvo rangos promedio de 3.2 a 3.9 para los materiales y EM del presente trabajo como se observa en la Figura 5. El pH presenta una variación similar en materiales EET8 e ICS60 los cuales aumentan conforme pasa el EM, mientras que el material EET8 presenta un pequeño aumento al EM2 y una disminución para los demás EM. El aumento de pH representa una ventaja al momento de la producción de cacao y va relacionado con la disminución de la acidez permitiendo que el proceso de fermentación sea óptimo para la producción de chocolate. Según el análisis estadístico observado en la Tabla 7, se presentó diferencia significativa con respecto a cada material, al estado de madurez y a la relación que existe entre estas dos variables, por lo que se puede observar que el pH varía con el tiempo, la maduración y es dependiente de la variedad genética empleada. Los resultados son menores a los reportados por Peláez *et al.* (2016) en los cuales el pH para la pulpa de cacao que pasa por un proceso fermentativo manual o mecanizado obtiene valores de 4.21 antes de iniciar con dicho proceso para CCN51, pero no se especifica grado de madurez (Peláez *et al.* 2016). Otro estudio realizado por SuJung *et al.* (2016) presenta un pH para los granos de cacao frescos en un rango de 5.03 – 5.49 siendo estos valores mayores a los obtenidos, pero estando dentro del orden de magnitud de las muestras analizadas. Otro estudio realizado con CCN51 presenta un pH alrededor de 3.87 en promedio (Vallejo *et al.* 2016). Amaiz *et al.* (2013) reporta que el pH en el cacao fresco fue de 6.48. Comparando los valores de pH encontrados (3,4-3,9) con los reportados por otros estudios (4,9-5,0) se encuentra que el pH presentado por las muestras evaluadas en general es más bajo que el encontrado para estos mismos materiales en estados de madurez avanzados, sin embargo, el estudio mostró que el pH es un buen criterio para determinar estado de madurez del cacao. El paso por seguir es como los cacaocultores pueden determinarlo sin hacer una prueba destructiva o si se puede relacionar con otro tipo de pruebas de fácil aplicación y no destructiva.

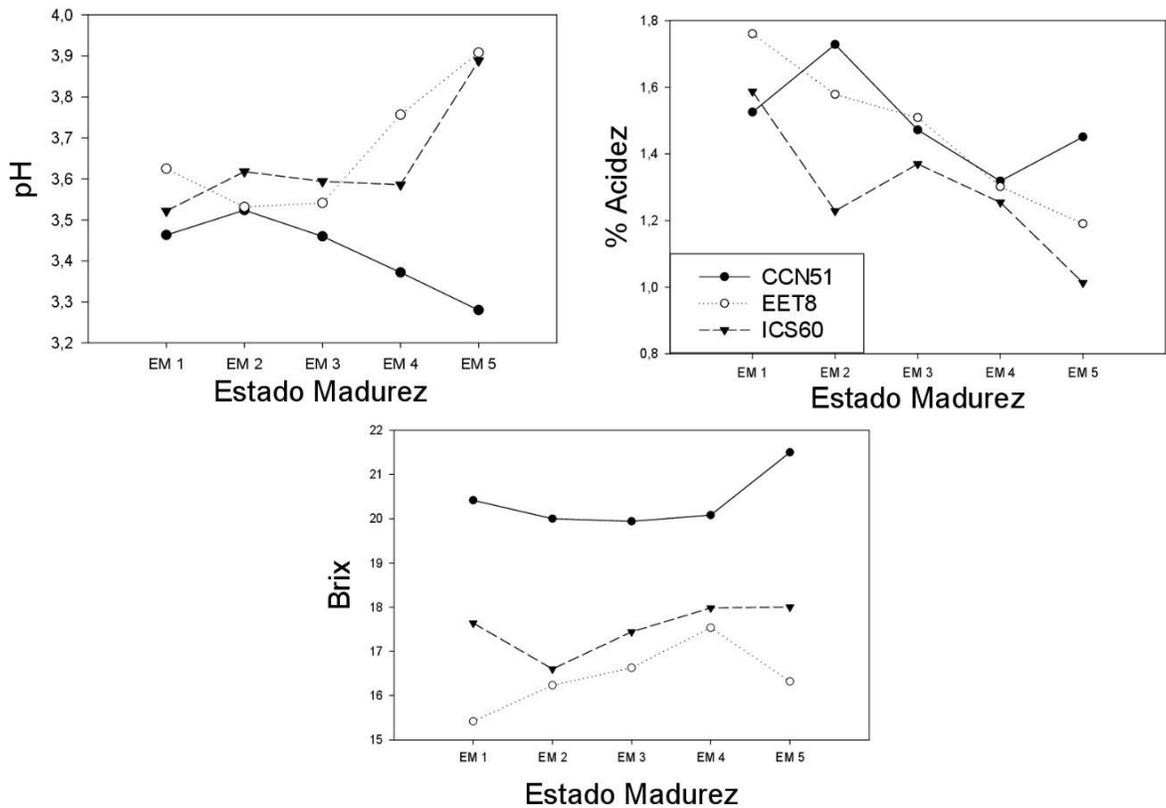


Figura 7. Efecto del material en los 5 estados de madurez a los parámetros fisicoquímicos (brix, pH y acidez).

3.3.2 Porcentaje de Acidez

El porcentaje de acidez obtenido arrojó valores promedio entre 1.0 a 1.6 para los materiales y EM analizados. Como se observa en la Figura 5, la acidez disminuye con la maduración lo que favorece la calidad del cacao. Según el análisis estadístico realizado (Tabla 7), se presenta diferencia significativa con respecto a cada material y al estado de madurez de cada material, pero no de su interacción. Esto confirma como la acidez se ve afectada por la maduración y la variedad genética del cacao, y constituye un parámetro de calidad para la fermentación del cacao. Los datos son superiores a los reportados por Peláez et al. (2016) quien encontró valores de 0.96 para CCN51; y por Vallejo *et al*, (2016) quienes reportaron valores de acidez de 0.91, para el mismo material.

Tabla 7. Análisis estadístico de los atributos fisicoquímicos

Brix				pH				Acidez			
Promedio por Material		Promedio por EM		Promedio por Material		Promedio por EM		Promedio por Material		Promedio por EM	
CCN51	20.387 ^a	EM5	18.607 ^a	EET8	3.672 ^a	EM5	3,692 ^a	CCN51	1.498 ^a	EM1	1,624 ^a
		EM4	18.531 ^a			EM4	3,572 ^{ab}			EM2	1,512 ^{ab}
ICS60	17.532 ^b	EM3	18.003 ^a	ICS60	3.641 ^a	EM2	3,558 ^b	EET8	1.468 ^a	EM3	1,450 ^{ab}
		EM1	17.824 ^a			EM1	3,537 ^b			EM4	1,291 ^{bc}
EET8	16.426 ^b	EM2	17.611 ^a	CCN51	3.420 ^b	EM3	3,532 ^b	ICS60	1.291 ^b	EM5	1,218 ^c
Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F		Efecto analizado		Valor F	
Material		36.24		Material		31.26		Material		6.33	
Estado Madurez		NS		Estado Madurez		4.30		Estado Madurez		8.64	
Material X Estado Madurez		NS		Material X Estado Madurez		7.21		Material X Estado Madurez		NS	

NS = No significativo. El valor obtenido estadísticamente representa significancia en la variable analizada ($p < 0.05$)
Promedios con la misma letra no son significativamente diferente

3.3.3 Contenido de sólidos solubles o Brix

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) alcanzó rangos promedio entre 15 a 22 en cada material y EM analizado, presentados en la figura 5. Según el análisis estadístico realizado y presentado en la Tabla 7, se presenta diferencia significativa con respecto al material mientras que al estado de madurez y su relación con el material no es significativo. Los SST están relacionados con el pH y la acidez, al presentarse una disminución de la acidez, los SST aumentan, generando granos de calidad para el proceso de fermentación. Los datos son similares a los reportados por *Vallejo et al.* (2016) quien para el mucílago del CCN51, encontró 16 ° Brix. Otro estudio realizado en tres zonas del estado de Aragua (*Álvarez et al.* 2002), presenta SST del mucílago de 17 genotipos con promedios de 19,89 – 22,26 (Chua), de 14,48 – 17,52 (Cuyagua) y 7,83 – 15,68 (Cumboto) siendo estos valores comparables a los obtenidos en este trabajo.

El estudio mostró que con la maduración las características del mucílago y la almendra van cambiando, favoreciendo la calidad del grano al reducir la acidez, aumentar el contenido de sólidos solubles totales y el pH, lo cual se verá reflejado en las características organolépticas del cacao producido.

4. CONCLUSIONES

Según el análisis estadístico realizado, se presentó un resultado significativo de solo un efecto analizado en cinco características de los materiales los cuales fueron el peso de almendras (4,09 – Material), la humedad en semillas (3,33 – EM), diámetro polar (8,07 – Material), diámetro ecuatorial (4,14 – Material) y Brix (36,24 – Material) por lo tanto se puede concluir que de las tres variedades analizadas son estas características las que diferencian solo el material. La acidez por otro lado obtuvo diferencias significativas para dos efectos (6,33 – Material y 8,64 – EM), por lo que se concluye que esta característica varía entre cada material y en la evolución del mismo. Para los análisis de Cromo, Hue, índice de color, y pH las diferencias significativas se presentaron en los tres efectos analizados (Material, EM y Material X EM) concluyendo que estas son las características diferenciadoras principales entre las tres variedades genéticas y estados de madurez, por lo cual se debería seguir trabajando en ellas para que puedan ser fácilmente utilizadas por los productores.

Dada la diferencia de resultados entre los materiales no se debería generalizar estado de madurez más adecuado de los diferentes materiales para la fermentación, dado que cada material tiene sus propios requisitos y combinación de características que los hacen particulares. Sin embargo, los resultados fisicoquímicos muestran que el EM4 presenta un mejor balance de estas propiedades para el material ICS60 y para el EET8. Para CCN51 pareciera que le favorecen los primeros estados de madurez donde presenta un buen contenido de SST, una acidez más baja y un pH más alto. Observando el contenido de humedad de sus almendras en estos EM iniciales también se observa que su contenido es suficientemente alto como para facilitar los procesos de crecimiento microbiológico, acción de las enzimas y procesos de difusión de compuestos. Sin embargo, sería recomendable hacer un análisis más preciso de la composición de las almendras en estos EM con respecto a flavonoides, ácidos, alcoholes, metilxantinas, entre otros compuestos, que también juegan un papel importante durante la generación de precursores de aroma y sabor.

Se concluye que los criterios físicos, así como el cambio de color no son efectivos para determinar la maduración de cacao por lo que es necesario evaluar o combinarlos con diferentes parámetros como diámetros polares y ecuatoriales, tamaños y pesos de las mazorcas, entre otros, con el fin de encontrar estándares que permitan la identificación de los diferentes estados de madurez del cacao. Además, se recomienda seguir con los estudios para los materiales EET8 e ICS60 debido a que no se reportan investigaciones a estos materiales que permitan generar una discusión para los parámetros evaluados.

BIBLIOGRAFIA

- Abarca, D., Martínez, R., Muñoz, J., Torres, M., & Vargas, G. (2010). Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: Fuentes promisorias de fibra dietaria. *Revista Tecnológica ESPOL. – RTE*, 23(2), 63-69.
- Álvarez, C., Pérez, E., & Lares, M. (2002). Morfología de los frutos y características físico-químicas del mucilago del cacao en tres zonas del estado Aragua. *Revista Agronomía Tropical*, 52(4), 497.
- Amaiz, M., Pérez, E., Álvarez, C., Perozo, J., & El Khori, S. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. [Physicochemical changes and fatty acids profile of cocoa grown in Chuao, throughout post harvest process.] *Revista Agronomía Tropical*, 63(1-2), 37-47.
- AOAC. (2016). *Official methods of analysis of AOAC international (20th ed.)*. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Ayestas, E., Orozco, L., Astorga, C., Munguía, R., & Vega, C. (2013). Caracterización de árboles promisorios de cacao en fincas orgánicas de Waslala, Nicaragua. *Revista Agroforestería En Las Américas*, (49), 18-25.
- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). La cáscara de cacao (*theobroma cacao* L.): Una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos De Nutrición*, 58(1), 64-70.
- Cardona, L., Rodríguez, E., & Cadena, E. (2016). Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca. *Revista Lasallista De Investigación*, 13(1), 94-104.
- Ciro, H., Buitrago, O., & Pérez, S. (2007). Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.) [Preliminary study of mechanical resistance to fracture and firmness force for uchuva (*physalis peruviana* L.) fruits]. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 60(1), 3785-3796.

- Cuéllar O., & Guerrero, G. (2012). Actividad antibacteriana de la cáscara de cacao, *Theobroma cacao* L. [Antibacterial activity of the cacao bean husk, *Theobroma cacao* L.] *Revista MVZ Córdoba*, 17(3), 3176-3186.
- FAO. (2000). La coca, la deforestación y la seguridad alimentaria en la amazonia colombiana. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/x7273s/x7273s06.htm#TopOfPage>
- FAOSTAT. (2017). Base de datos estadísticos de la FAO sobre agricultura, comercio y alimentación. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Fedecacao. (2017). Federación nacional de cacaoteros. producción nacional registrada de cacao en grano por departamentos. Retrieved from <https://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>
- Franzen, M., & Borgerhoff, M. M. (2007). Ecological, economic and social perspectives on cocoa production worldwide. *Biodiversity and Conservation*, 16(13), 3835-3849. doi:10.1007/s10531-007-9183-5
- Graziani, L., Ortiz, L., Angulo, J., & Parra, P. (2002). Características físicas del fruto de cacao tipo criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Revista Agronomía Tropical*, 52(3), 343-362.
- Icontec. (2012). NTC 1252. cacao en grano. Retrieved from http://e-normas.icontec.org.ezproxy.utadeo.edu.co:2048/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp
- Icontec. (2010). NTC 5811. buenas prácticas agrícolas para cacao. recolección y beneficio. requisitos generales. Retrieved from http://e-normas.icontec.org.ezproxy.utadeo.edu.co:2048/icontec_enormas_mobile/visor/HTML5.asp

- Martínez, W. (2016). La variabilidad genética del cacao (*theobroma cacao* L.) nacional boliviano. *Revista De La Carrera De Ingeniería Agronómica – UMSA*, 2(1), 58-77.
- Méndez, E., García, A., & Morales, J. D. J. (2012). ¿Qué sabe usted acerca de...Cacao? *Revista Mexicana De Ciencias Farmacéuticas*, 43(4), 79-81.
- Oliva, C., Benito, J., Acuña, R., Bocanegra, A., & Baltazar, J. (2014). Estimation of repeatability and genetic selection of aromatic cacao trees with genetic material from EE-INIA-san martin and UC lebuaf in Peru. [Estimación de la repetitividad y selección genética de árboles de cacao aromático con material genético de EE-INIA-San Martin y de la UC de Lebuaf en Perú] *Revista Scientia Agropecuaria*, 5(1), 59-64.
- Padrón, G., Arias, E., Romero, J., Benavides, A., Zamora, J., & Peregrina, S. (2004). Efecto de la cáscara de cacao en la obtención de espumas de poliuretano para uso hortícola. propiedades físicas y de biodegradabilidad. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 48(2), 156-164.
- Peláez, P., Guerra, S., & Contreras, D. (2016). Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*theobroma cacao*) beans with manual and semi-mechanized transfer, between fermentation boxes. [Cambios en la características físicas y químicas de granos de cacao (*Theobroma cacao*) fermentados con transferencia manual y semi-mecanizada, entre las cajas de fermentación.] *Revista Scientia Agropecuaria*, 7(2), 111-119. doi:10.17268/sci.agropecu.2016.02.04
- Pinzón, I., Fischer, G., & Corredor, G. (2007). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora eduli Sims.*). [Determination of the maturity stages of purple passion fruit (*Passiflora eduli Sims.*)]
- Ruiz, L. G., Zuluaga I. M. & Arango, A. R. (2003). Propuesta para la sustitución de cultivos ilícitos mediante modelos agroforestales. . Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/article/wfc/xii/0587-b5.htm>
- Sánchez, A., Castellanos, O., & Domínguez, K. (2008). Mejoramiento de la poscosecha del cacao a partir del roadmapping. [Roadmapping for improving cocoa postharvest management.] *Revista Ingeniería e Investigación*, 28(3), 150-158.

- Suárez, Y., & Aranzazu, F. (2010). Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao L*) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Revista Corpoica.13-22.
- SuJung, H., Byung-Yong, K., & Moo-Yeol, B. (2016). Physicochemical properties and antioxidant capacity of raw, roasted and puffed cacao beans. Food Chemistry, 194, 1089-1094. doi:<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.126>
- TeleSUR. (2014). Ébola podría afectar la producción del chocolate a nivel mundial. Video Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=7RmkfKiTzGI>
- Torres, R., Montes, E., Pérez, O., & Andrade, R. (2015). Influencia del color y estados de madurez sobre la textura de frutas tropicales (mango, papaya y plátano). [Influence of Color and Maturity Stages on the Texture of Tropical Fruits (Mango, Papaya and Plantain)]. Revista Información Tecnológica, 26(3), 47-52.
- Vallejo, C., Díaz, R., Morales, W., Soria, R., Vera, J., & Baren, C. (2016). Cocoa mucilage from nacional and trinitario varieties for cocoa jelly production. [Utilización del mucílago de cacao, tipo Nacional y Trinitario, en la obtención de jalea] Revista ESPAMCIENCIA, 7(1), 51-58.
- Vignoni, L., Césari, R., Forte, M., & Mirábile M. (2006). Determinación de índice de color en ajo picado. [Determination of color index in minced garlic.] Revista Información Tecnológica, 17(6), 63-67. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>
- Zambrano, A., Gómez, Á., Ramos, G., Romero, C., Lacruz, C., & Rivas, E. (2010). Caracterización de parámetros físicos de calidad en almendras de cacao criollo, trinitario y forastero durante el proceso de secado. Revista Agronomía Tropical, 60(4), 389-396.