





REVISTA No. 43
AÑO 2021

EDITOR

Carlos Rolz Asturias
Investigador Emérito
Benefactor, Grupo Educativo del Valle

CONSEJO EDITORIAL

Eduardo Álvarez
Director, Departamento de Física

Linda Asturias de Barrios
Decana, Facultad de Ciencias Sociales

Edwin Castellanos
Director, Observatorio Económico Sostenible

Celia Cordón de Rosales
Directora, Centro de Estudios en Salud

Jacqueline García de De León
Directora General de Estudios

Adrián Gil
Decano, Facultad de Ciencias y Humanidades

Xiomara E. Juárez
Representante Decano Colegio Universitario
y Asuntos Estudiantiles

Fernando Paiz Mendoza
Decano, Facultad de Ingeniería

Mónica Stein
Vice-rectora de Investigación y Vinculación

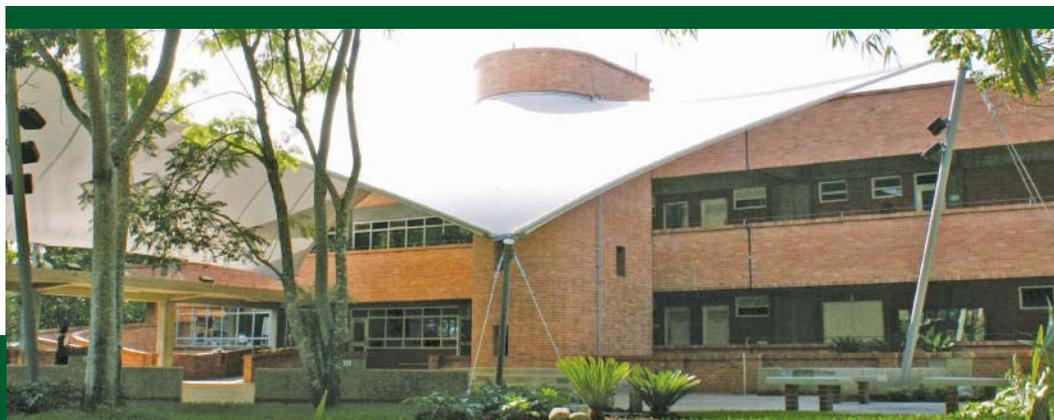
Carolina Roca
Representante Decana Facultad de Educación

TODA CORRESPONDENCIA DEBERÁ SER DIRIGIDA A:

M.Sc. Carlos E. Rolz, Editor
Oficina II₁-312
Universidad del Valle de Guatemala
Apartado Postal No. 82, Guatemala 01901
Teléfono directo: 2368 8310
editor.revista@uvg.edu.gt

ISSN 1607-5706 (impreso)
ISSN 2311-7648 (electrónico)

DISEÑO E IMPRESIÓN:
Compudiseño
compudiseño1@gmail.com



MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO

Universidad del Valle de Guatemala

Rector

Roberto Moreno Godoy

Vice-rectora Académica

María Luisa Durando de Boehm

Vice-rectora de Investigación y Vinculación

Mónica Stein*

Vice-rector Administrativo

Luis Fernando Andrade*

Directora de Estudios

Jacqueline García de De León

Secretaria del Consejo Directivo

Victoria Eugenia Rosales

Vocales Asesores

Fernando Paiz
Salvador Biguría
Yolanda Toledo de Leal
Ramiro Castillo
Federico Bolaños
Linda Asturias de Barrios
Juan Carlos Marroquín

Invitados permanentes del Consejo Directivo

Jorge Eskenasy
Cristian Rodríguez
Sofía Papahiu
Mónica Stein*
Luis Fernando Andrade*

EDITORIAL

CIENCIA MODERNA Y CIENCIA MILENARIA: LA INVESTIGACIÓN DE LA CADENA AGROALIMENTARIA DEL CACAO

Mónica Stein, Ph.D.

Vicerrectora de Investigación y Vinculación /
Universidad del Valle de Guatemala

La historia, producción y uso del cacao ilustran la convergencia de distintas ciencias y distintas civilizaciones. La biología y la agronomía tienden un puente entre la domesticación y cultivo del cacao hace tres mil años a las prácticas contemporáneas.

La antropología y arqueología nos ilustran la importancia socioeconómica de la planta y su relevancia para nuestras culturas antiguas y actuales. Las ciencias de los alimentos son la fuente de innovaciones post cosecha y de procesamiento que reafirmaron y aumentaron la demanda por y la distribución del chocolate. El cacao es un tesoro científico desde muchas aristas. Esta edición de la Revista de la Universidad del Valle de Guatemala, dedicada a la investigación sobre el Cacao, contribuye de manera concreta y relevante a este acervo de conocimiento, resaltando la importancia e impacto de tener capacidad de investigación local para retos propios de nuestros países y culturas.

Este editorial relata algunos puntos relevantes sobre la historia del cacao, basándose en el trabajo de los reconocidos antropólogos Sophie y Michael Coe¹.

El cacao es una planta con atributos poco comunes. Requiere sombra, humedad y material orgánico abundante alrededor, ya que es polinizado por moscas diminutas que se reproducen en ese material. Sus frutos crecen directamente del tronco, confundiendo a los primeros ilustradores europeos quienes movían los frutos hacia los extremos de las ramas, porque estaban seguros que el crecer del tronco era un error en los reportes de quienes describían la planta. La bioquímica del cacao es

compleja y comprende más de cien distintos compuestos, incluyendo la teobromina y cafeína entre los principales. La investigación sobre la biología y la agronomía del cacao es parte importante de esta edición de la revista.

Los orígenes del uso del cacao se dan en las civilizaciones mesoamericanas, siendo la primera evidencia de la domesticación del cacao una evidencia lingüística y no arqueológica. La palabra Cacao deriva del término kakawa de origen Mixezoque (Olmeca) o Maya, estimándose que surgió hace unos tres mil años. La evidencia arqueológica del uso e importancia del cacao aparece en la Costa Pacífica, las distintas etapas de la cultura Maya, y en las culturas Tolteca y Azteca. Esta evidencia incluye vasijas ceremoniales, residuos en cerámica, jeroglíficos, nombres de realeza y la narrativa del Popol Vuh. Su uso era comercial, social, y ceremonial. Hoy en día, el chocolate sigue siendo importante en la cultura mesoamericana y cultivado por comunidades quienes se desea sean usuarias de los resultados de investigación presentados en esta revista.

El cacao llegó al escenario mundial gracias a la ciencia de los alimentos. Su incorporación a la cultura europea se dio inicialmente como bebida, tal y como era preparado el chocolate en Mesoamérica. Esta versión inicial del chocolate se asemejaba más al café y té que también se habían importado recientemente a Europa y que se bebían tanto por su sabor como sus supuestas propiedades medicinales. La adición de canela, vainilla, anís, pimienta y otras especias se hizo

común, así como la adición de azúcar. Eventualmente, el chocolate fue añadido a comida, panadería, y postres. Esto creó una demanda constante por cacao, aunque pequeña, puesto que seguía siendo una delicadeza para la élite. Sin embargo, en 1828 la tecnología de alimentos revolucionó la manera en que se preparaba el chocolate. Usando una prensa hidráulica, se logró pulverizar y alcalinizar el cacao, facilitando su procesamiento, uso y distribución. La innovación del conchado, proceso que suaviza la pasta de chocolate, terminó de cimentar al chocolate como un favorito a nivel mundial, incrementando significativamente la demanda por cacao, brindando una textura más lisa y fina, que desde entonces tiene mucha aceptación.

Esta demanda es un factor importante que impulsa la mejora e innovación en la cadena agroalimentaria del cacao a través de la investigación aplicada y transferencia tecnológica.

Hoy en día, luego de una época de masificación del cultivo de cacao en África y Suramérica, el cacao mesoamericano vuelve a cobrar importancia económica a nivel mundial. El advenimiento de la trazabilidad del producto, el comercio justo, y otras tendencias de mercado nos permiten capitalizar sobre nuestra historia milenaria y dar a nuestro cacao ventajas competitivas únicas, si logramos producirlo en mayores cantidades y mejores calidades. Las investigaciones presentadas aquí buscan impulsar esa mejora a lo largo de la cadena, desde sus distintos eslabones.

¹ Coe, Sophie D. y Coe, Michael D. (2004). The True History of Chocolate. Thames & Hudson

PRESENTACIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie de distribución tropical, que es cultural y económicamente importante para Guatemala. La especie es originaria de la cuenca del Amazonas en Sudamérica, su rango de distribución se amplió hasta Mesoamérica en donde surgió como especie cultivada. En Guatemala, que es parte de la distribución nativa y centro de origen del cacao, existen registros arqueológicos del uso de sus semillas como moneda de cambio y como bebida ceremonial utilizada por los mayas, característica a la cual se atribuye su nombre científico, que significa “bebida de los dioses”.

En Guatemala existen más de 88,000 hectáreas con las condiciones apropiadas para el cultivo de cacao, sin embargo, se reportan menos de 5,000 hectáreas utilizadas para este fin. La producción está distribuida en dos regiones: Norte, en la cual Alta Verapaz se posiciona como el principal productor con más de 4,000 familias vinculadas al cultivo de cacao; y la región Suroccidente en donde destacan los departamentos de Suchitepéquez y San Marcos. A pesar del aumento en la producción de cacao que se registró a partir del año 2007, Guatemala continúa importando cacao para cubrir la demanda nacional. Debido al incremento en la demanda de las semillas para la producción de chocolate y productos de la industria farmacéutica, ha habido esfuerzos de parte de instituciones y organizaciones nacionales e internacionales enfocadas a fomentar el cultivo de cacao, mejorar la producción y calidad de las plantaciones existentes.

Como parte de los esfuerzos internacionales, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) otorgó a Guatemala fondos para proyectos de investigación de varias agrocadenas, incluido cacao, por medio del Programa Government to Government en el año 2014. Los fondos fueron ejecutados mediante el Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria -CRIA, a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA .

Como un esfuerzo nacional, se elaboró el Plan Estratégico de la Agrocadena Nacional de Cacao 2016-2020, en la cual se identifican los diferentes actores y eslabones de la cadena de valor de cacao, las amenazas al cultivo y oportunidades de mejora. Con la información descrita en ese documento y con base en la literatura generada por el

MAGA, el Ministerio de Economía -MINECO- y estudios realizados a nivel local e internacional, la Universidad del Valle de Guatemala, por medio del Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA), elaboró una propuesta de investigación para participar en la convocatoria CRIA. La propuesta fue aprobada para ejecutar el “Programa integral para el incremento de la calidad, productividad y sostenibilidad del sistema cacao en el norte de Guatemala”, constituido por seis estudios enfocados en mitigar los cuellos de botella reportados para los diferentes eslabones de la cadena de valor de cacao en las regiones de Lachuá, Cahabón y Polochic del departamento de Alta Verapaz.

En el eslabón de insumos se buscó generar información base sobre los árboles élite que se encontraban en las plantaciones de los productores, mediante la caracterización botánica y molecular de los mismos, ya que la falta de material genético certificado disponible en viveros es una de las debilidades identificadas para la producción de cacao de calidad en el país. Para ello, las asociaciones de productores acompañaron la selección de los materiales promisorios con las mejores características de productividad, baja incidencia de enfermedades y buenas características organolépticas. De los materiales caracterizados se realizó una selección para ser conservada en un jardín clonal, que constituya un banco de germoplasma como fuente de material vegetal para establecimiento de nuevas plantaciones y mejora de las ya existentes. Además se realizó el monitoreo de plantas sintomáticas para el diagnóstico de fitopatógenos, ya que la incidencia de plagas y enfermedades es una de las principales amenazas al cultivo. En este estudio también se caracterizaron microorganismos benéficos aislados del suelo de las plantaciones, que demostraron ser eficientes para controlar los hongos patógenos con mayor incidencia en las plantaciones, por lo cual tienen potencial para ser empleados como parte del manejo integrado de plagas del cultivo.

En el eslabón de producción se realizó un monitoreo de las características físicas y químicas del suelo de las plantaciones, así como el estado nutricional de los árboles de cacao. A partir de estos resultados se generaron recomendaciones y desarrollaron programas de nutrición enfocados en incrementar la producción por área cultivada mediante el uso de fertilizantes orgánicos, como alternativa al uso de fertilizantes químicos que no pueden ser empleados en parcelas con certificación orgánica.

En el eslabón de transformación primaria y secundaria, se realizó el monitoreo de los procesos post-cosecha como se estaban llevando a cabo en los centros de acopio de las asociaciones de productores de las áreas de estudio. Se registraron las condiciones ambientales, parámetros físicos del grano de cacao durante la fermentación y secado y características fisicoquímicas al finalizar dichos procesos. Además se realizaron varios ensayos que permitieron determinar cómo la cantidad de cacao adicionado a las cajas de fermentación alteraba las características y calidad del grano. Referente a la optimización de los procesos post-cosecha, también se diseñó, construyó e instaló un prototipo de secador en las diferentes asociaciones y se comparó con los secadores convencionales que ya se encontraban funcionando en las asociaciones. Entre los parámetros se evaluó además de las características físicas y químicas del grano, el perfil sensorial del cacao obtenido mediante los dos tipos de secador, para evaluar la influencia en el sabor y calidad del producto final.

En el eslabón de comercialización, se realizó el estudio del contenido de cadmio en el suelo de las plantaciones y en el grano de cacao. Esto debido a la regulación establecida por la Unión Europea sobre un contenido límite de cadmio permitido en el cacao de exportación.

Agradecemos el apoyo del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-, a las asociaciones de Fundalachuá (KATBALPOM, ASODRIP, ASOLSEÑOR, ADEMYACH, ADIOESMAC Y APODIP), APIDIP Y APRODERK, a los productores que acompañaron este estudio, a Cacao

Verapaz y Fundasistemas por permitir que fuera posible desarrollar este programa de investigación.

A pesar de los problemas afrontados durante la pandemia, el trabajo en conjunto con el IICA, los investigadores y técnicos del CEAA así como de los actores de la agrocadena vinculados al proyecto, permitieron concluir con éxito los objetivos propuestos.

Con este proyecto se generó información base de varias líneas de investigación vinculadas a los diversos eslabones de la cadena de valor del cacao. Sin embargo, es fundamental dar continuidad a estos estudios y unir esfuerzos con otras instituciones académicas, productores, transformadores y otros actores de la agrocadena, para continuar fortaleciendo la investigación aplicada, que esté enfocada a mejorar la calidad y productividad del cacao.

En esta revista se presentan artículos con información sobre cacao, generada mediante las investigaciones realizadas en el CEAA, así como los resultados de otros proyectos ejecutados con fondos del programa CRIA implementados por otras organizaciones, los cuales fueron enfocados a los eslabones de transformación primaria y comercialización. Otros resultados relevantes serán publicados más adelante en la Revista UVG para continuar contribuyendo con la generación de resultados que puedan ser aplicados para contribuir con la mejora del cultivo de cacao en la agrocadena nacional.

Ana Lucía Dubón Morales

CONTENIDO

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Ana Lucía Dubón, Mariafermenda Alarcón y Claudia Maritza De León

8

Incidencia de hongos fitopatógenos y benéficos en plantaciones de cacao de Alta Verapaz, Guatemala.

Ana Lucía Dubón, María Renée Álvarez, Mariafermenda Alarcón y Nina Alejandra Figueroa

19

Caracterización botánica y genética de árboles élite de cacao (*Theobroma cacao* L. - Malvaceae) cultivados en Alta Verapaz, Guatemala

Ana Lucía Dubón y Margarita Palmieri

31

Nota técnica: Establecimiento de jardines clonales como estrategia de conservación de los materiales élite de cacao de Alta Verapaz.

Rolando Cifuentes e Isabel Alonzo

36

Características físicas y químicas de los suelos bajo producción de cacao en la región norte de Guatemala.

Marlon Fernando Ac Pangan y Edgar Armando Ruiz Cruz

56

Perfiles de fermentación para el mejoramiento de la calidad del cacao (*Theobroma cacao* L.) de la ecorregión de Lachúa, Cobán, Alta Verapaz.

Josué Bocel, Isabel Alonzo, Donovan Gómez, Patricia Palacios, Ana Silvia Colmenares, Edwin De León Rangel y Rolando Cifuentes

73

Evaluación del proceso fermentación de cacao en la región norte de Guatemala.

Josué Bocel, Patricia Palacios, Donovan Gómez, Isabel Alonzo y Rolando Cifuentes

94

Efecto de la altura de la masa de cacao en baba sobre el tiempo de fermentación, temperatura, pH y grados Brix.

Josué Bocel, Donovan Gómez, Ana Silvia Colmenares, Isabel Alonzo, Edwin De León Rangel, Edwinth Rodríguez y Rolando Cifuentes

106

Evaluación del proceso de secado de cacao en la región norte de Guatemala.





Josué Bocel, Donovan Gómez, Ana Silvia Colmenares, Isabel Alonzo, Edwin De León Rangel, Edwinth Rodríguez y Rolando Cifuentes

Evaluación de un prototipo de secador solar de cacao en la región norte de Guatemala.

122



Ana Silvia Colmenares de Ruiz, Josué Bocel y Rolando Cifuentes

Efecto de un secador solar alternativo sobre la calidad y sabor del cacao en la región Norte de Guatemala.

139

Marlon Fernando Ac Pangan y Edgar Armando Ruiz Cruz

Caracterización socioeconómica de la producción y la comercialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la ecorregión de Lachuá, Alta Verapaz.

155



Rolando Cifuentes e Isabel Alonzo

Nota técnica: Acumulación de cadmio en cacao: una barrera a superar para la exportación del grano y sus derivados.

170

INFORMACION GENERAL

Procedimiento editorial y guía de instrucciones para los autores.

179



INCIDENCIA DE HONGOS FITOPATÓGENOS Y BENÉFICOS EN PLANTACIONES DE CACAO DE ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

Ana Lucía Dubón
aldubon@uvg.edu.gt,

Mariafernanda Alarcón
malarcon@uvg.edu.gt,

Maritza De León
cmleon@uvg.edu.gt

**Programa de Protección Vegetal -
CEAA**

RESUMEN

El cacao es un cultivo cultural y económicamente importante para Guatemala, sin embargo, su producción se ve afectada por factores como la incidencia de plagas y enfermedades, así como la falta de material genético caracterizado que sea resistente a patógenos. Por esta razón, este estudio tuvo como objetivo monitorear la incidencia de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos en las plantaciones de cacao ubicadas en las sub-regiones de Lachuá, Cahabón y Polochic en el departamento de Alta Verapaz, así como aislar microorganismos benéficos nativos a partir de muestras de suelo de las parcelas experimentales. Las cepas aisladas fueron identificadas por microscopía y por secuenciación de las regiones ITS y EF del ADN. Se identificó un total de 17 hongos fitopatógenos y un Oomycetes de 103 árboles con presencia de signos y síntomas de enfermedad, incluyendo agentes causales de enfermedades importantes como la moniliasis del cacao (li=7%) y mazorca negra (li=3%), que generan pérdidas significativas en las plantaciones de Latinoamérica. Las especies con mayor incidencia fueron *Colletotrichum gloeosporioides* (li = 68%) y *Curvularia lunata* (li=20%), causantes de antracnosis y mancha foliar, respectivamente, que no están asociadas a la muerte del hospedero pero disminuyen su productividad. Se identificaron hongos que afectan directamente a los frutos, siendo el más abundante *Fusarium sp.* (li=59%). Algunos de ellos pueden afectar directamente la semilla durante la etapa de producción del árbol o en etapas post-cosecha. También se caracterizaron hongos benéficos de los géneros *Trichoderma*, *Metarhizium* y *Paecilomyces*, que podrían tener potencial para ser usados como control biológico de los hongos fitopatógenos y sus vectores. Los microorganismos patógenos y benéficos caracterizados se almacenaron en un cepario para continuar realizando estudios orientados a generar estrategias para el manejo integrado de plagas del cultivo, como desarrollo de productos biológicos, ensayos de patogenicidad de cepas y caracterización de genotipos de cacao resistentes mediante ensayos de inoculación.

PALABRAS CLAVE: Cacao, microorganismos, Oomycetes, signos, síntomas.

ABSTRACT

INCIDENCE OF PHYTOPATHOGENIC AND BENEFICIAL FUNGI IN COCOA PLANTATIONS IN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

Cocoa crop is culturally and economically important for Guatemala. Nevertheless, its production is affected by factors such as pest and disease incidence and the lack of characterized resistant genotypes. Hence, the aims of the study were to monitor the incidence of disease caused by phytopathogenic fungi in cocoa plantations located in the regions of Lachuá, Cahabón and Polochic from Alta Verapaz department, as well as to isolate native beneficial microorganisms from soil samples collected on the experimental sites. The

isolated strains were identified by microscopy and DNA sequencing from ITS and EF regions. A total of 17 phytopathogenic fungi and an Oomycetes were isolated from 103 cocoa individuals with signs and symptoms of plant disease. These included causal agents from important diseases such as frosty pod rot (li=7%) and black pod (li=3%), which cause major losses in Latin-American cocoa plantations. The most incident species were *Colletotrichum gloeosporioides* (li=68%) and *Curvularia lunata* (li=20%), causal agents from anthracnose and leaf spot disease of cocoa, respectively. Even though those fungi do not cause the death of their host, they decrease its productivity. Several identified fungi were fruit pathogens, being *Fusarium* sp. the most frequent (li=59%). Some of them can directly affect the seeds during the production or post-harvest stages. Beneficial fungi from the genera *Trichoderma*, *Metarhizium* y *Paecilomyces* were identified. These are potential microorganisms to be used for biological control from phytopathogenic fungi and their vectors. The characterized pathogenic and beneficial microorganisms were isolated and maintained on a collection to continue research aimed to propose strategies for integrated pest management such as biological products development, pathogenicity assays, and the characterization of disease resistant cocoa genotypes by inoculation assays.

KEY WORDS: Cocoa, microorganisms, Oomycetes, signs, symptoms.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie arbórea tropical, perteneciente a la familia Malvaceae, nativa de México, Centroamérica, y el norte de Sudamérica (Colombia, Ecuador, Venezuela, Brasil, Guyana, Surinam y Guyana Francesa). Esta especie es cultivada en 50 países tropicales, siendo los principales productores Camerún, Brasil, Costa de Marfil, Indonesia, Ecuador y Nigeria. En Centroamérica es cultivado en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica (Franzen y Borgerhoff, 2007).

Esta especie es de gran importancia comercial debido a la demanda mundial de sus semillas por ser la materia prima para la producción de chocolate y para la obtención de grasas en la industria cosmetológica. Además, cultural e históricamente es importante en los países latinoamericanos dado que las antiguas civilizaciones como los Olmecas, Aztecas y Mayas la utilizaban para la preparación de bebidas especiales o como moneda (Standley y Steyermark, 1946; Powis et al., 2008).

De acuerdo al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en Guatemala hay 4,410 hectáreas de producción de cacao, distribuidas entre las regiones productoras Norte y Suroccidente. Se estima que esta área corresponde al 2.76% del territorio nacional que presenta las condiciones apropiadas para el crecimiento del cacao (159,419.08 hectáreas). En Alta Verapaz se genera el 31% de la producción de cacao a nivel nacional, posicionándolo

como el principal departamento productor (MINECO, 2018; ENAC, 2016).

Entre los años 2007 y 2014 se registró un incremento tanto de producción como de consumo de cacao, sin embargo la cantidad generada no fue suficiente para cubrir la demanda nacional (MINECO, 2018). Tomando en cuenta este factor además del potencial para exportación gracias a la calidad de los materiales de cacao guatemalteco (MAGA, 2016), las instituciones y organizaciones nacionales e internacionales han realizado esfuerzos para aumentar la productividad de las plantaciones de cacao. Entre estos es importante la elaboración del Plan Estratégico Nacional de la Agrocadena de Cacao (PEDAC), en el cual se identificaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la agrocadena. En este documento se describen los cuellos de botella que afectan a los diferentes eslabones de la cadena de valor de cacao. Entre ellos, cabe destacar la incidencia de plagas y enfermedades, así como la falta de viveros certificados que produzcan y distribuyan materiales libres de patógenos (ENAC, 2016; MINECO, 2018).

Los problemas fitosanitarios son unos de los factores principales que afectan en la productividad y calidad del cacao. Específicamente, los hongos fitopatógenos son considerados los principales causantes de grandes pérdidas económicas, debido a que pueden causar problemas en toda la cadena de valor del cacao (Correa, Castro y Coy, 2014).

Este estudio tuvo como objetivo identificar la incidencia de enfermedades causadas por hongos mediante el monitoreo de las plantaciones en el departamento con mayor producción de cacao en Guatemala, así como aislar microorganismos nativos con potencial para ser usados como control biológico de los patógenos. Se espera que la información generada

contribuya para el establecimiento de metodologías adecuadas orientadas al manejo integrado de plagas. Con esto se estaría haciendo frente a una de las deficiencias que impiden un crecimiento en la productividad y rentabilidad del cacao a nivel nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de muestras

El estudio se realizó en las sub-regiones de Lachuá, Cahabón y Polochic en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala. En Cahabón se incluyó el área de Lanquín y Cahabón, en Polochic se incluyó Panzós y Santa Catarina la Tinta. El monitoreo de enfermedades se realizó en plantaciones de productores de las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOLSEÑOR en Lachuá; ADEMAYACH, APRODERK y APIDIP en Cahabón; y APODIP en Polochic (Figura 1). Durante el

período de noviembre del 2018 a octubre del 2020 se realizó la colecta de muestras foliares, de ramas, raíces y frutos de 103 árboles con presencia de signos y/o síntomas de enfermedad. Además, se colectaron muestras de suelo de dichas plantaciones para el aislamiento de microorganismos benéficos. Estas se transportaron en frío hacia el Laboratorio de Protección Vegetal (LPV) del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) para realizar el análisis fitopatológico y el aislamiento de hongos benéficos.

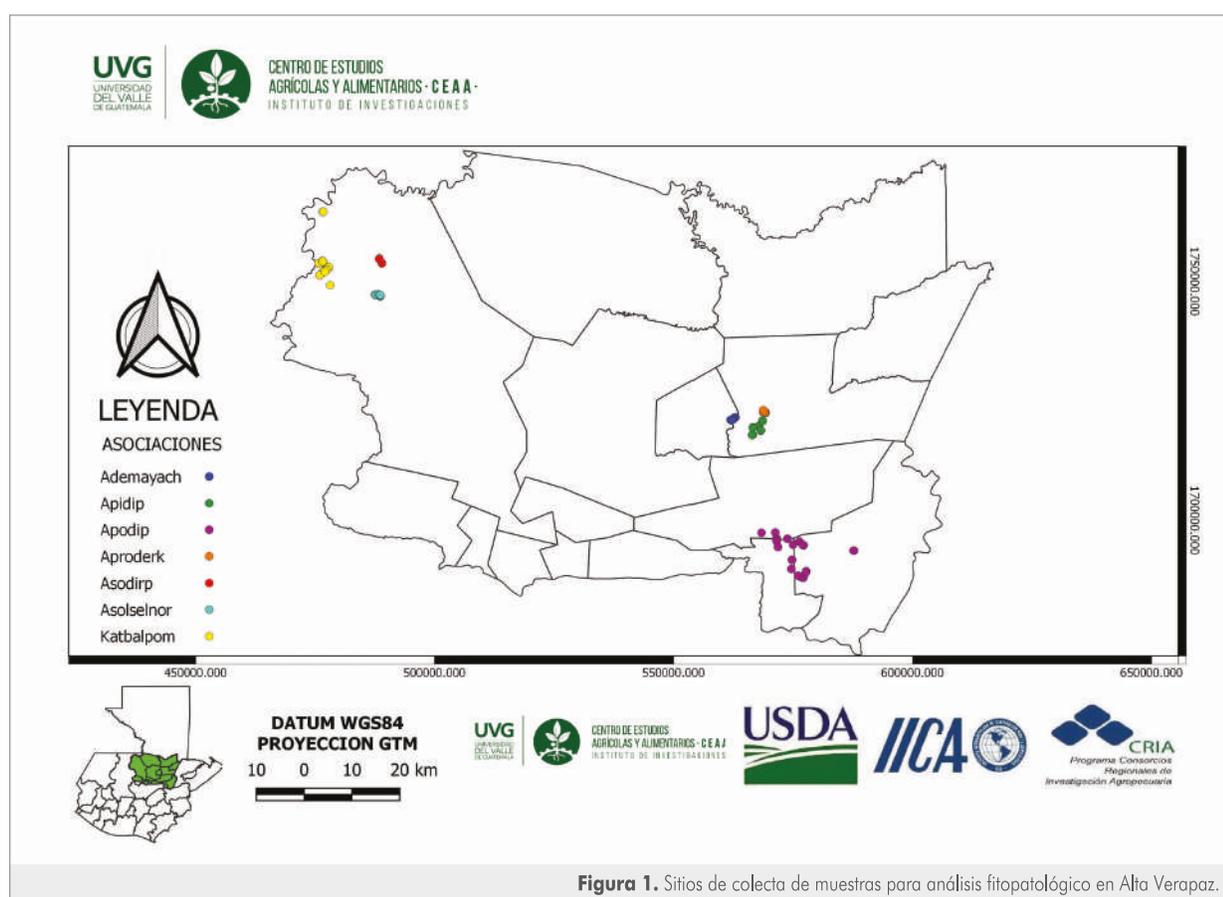


Figura 1. Sitios de colecta de muestras para análisis fitopatológico en Alta Verapaz.

Aislamiento e identificación morfológica

Las muestras fueron evaluadas y fotografiadas para registrar los signos y síntomas observados. Se tomaron secciones de tejido sintomático, que se desinfectaron con hipoclorito de sodio 10%, etanol 70% y agua estéril. Posteriormente se sembraron en medio agar papa dextrosa (PDA) para el crecimiento de hongos y en medio agar V8® con antibióticos y Carbendazim® para el crecimiento de Oomycetes. Adicional a este proceso, se colocaron secciones de 1 cm² de tejido en cámara húmeda para estimular la esporulación de los hongos. Las muestras cultivadas en PDA se incubaron a 28°C por 4-8 días y las cultivadas en agar V8® se incubaron a 28°C por 8-14 días. La identificación preliminar de los hongos se realizó con base en la morfología de la colonia y se realizaron montajes con azul de lactofenol de los cultivos y cámaras húmedas para la observación de las estructuras fúngicas por microscopía. La identificación de los hongos se llevó a cabo utilizando las claves de Barnett y Hunter (2006) y de Watanabe (2002).

Adicionalmente, se calculó la incidencia de cada hongo utilizando la ecuación:

$$I_i = (\sum ni/N_i) \times 100$$

en donde I_i = incidencia de cada hongo, ni = número de muestras con presencia de cada especie de hongo y N_i = número total de muestras analizadas (García-León, *et al.* 2013).

Para el aislamiento de microorganismos benéficos se realizó una dilución 1:10 de las muestras de suelo, se incubó con Triton X-100 0.05% por 2 h a temperatura ambiente con agitación de 100 rpm. Se realizaron diluciones seriadas, se sembraron en medio PDA y se incubaron a 28°C por 4-8 días. Los cultivos se observaron diariamente y los hongos benéficos se identificaron mediante microscopía en montajes con azul de lactofenol utilizando la clave de Watanabe (2002).

Identificación de cepas por análisis molecular

Las especies de hongos fitopatógenos con mayor incidencia o que correspondían a agentes causales de enfermedades importantes del cultivo de cacao, así como las especies de

hongos benéficos, fueron aisladas y purificadas para ser analizadas en el laboratorio de Biología Molecular del LPV. La identificación se realizó con base en análisis genético de las regiones de ADN nuclear EF e ITS (Manoharachary *et al.*, 2010).

Se utilizó el protocolo de CTAB modificado (Murray y Thompson, 1980) para extraer el ADN fúngico a partir de 100-300 mg de masa micelial de cultivos con una semana de incubación a 28°C. Se utilizó buffer de extracción CTAB (2% CTAB, 1% polivinilpirrolidona [PVP], 100mM Tris-HCl, pH 8.0, 1.4M NaCl, 20mM EDTA y 0.2% 2-mercaptoetanol) precalentado a 65°C y maceración mecánica seguida de incubación a 65°C. La purificación se realizó con cloroformo: alcohol isoamílico (24:1), se homogenizó en vórtex, se centrifugó a 13,000 rpm por 10 minutos y se recuperó el sobrenadante. Para la precipitación del ADN se adicionó 1 volumen de isopropanol frío y 1/10 de volumen de acetato de amonio 7.5M con incubación a -20°C por un mínimo de 20 minutos. El precipitado se obtuvo por centrifugación a 13,000 rpm por 10 min y se lavó con etanol 70% frío. El mismo se resuspendió en 50 µl de buffer TE (10mM Tris-HCl, 1mM EDTA) y se almacenó a -20°C.

El ADN extraído se cuantificó por espectrofotometría UV/VIS y se verificó su integridad en gel de agarosa 1%. Las muestras con una concentración igual o mayor a 200 ng/µl fueron utilizadas para el análisis con marcadores moleculares. Se amplificaron las regiones ITS y EF por medio de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). Se comprobó la amplificación de los marcadores por medio de electroforesis en gel de agarosa 1% en buffer TAE 50X (40mM Tris-HCl, 2mM EDTA, 20mM ácido acético glacial) corrido a 85V por 40 min y teñido con GelRed (0.1%). El gel se visualizó en un transiluminador UVP GelDoc-It y el producto de PCR se secuenció por medio del método de Sanger.

Las secuencias obtenidas fueron analizadas mediante la herramienta BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) de la base de datos del NCBI (*National Center of Biotechnology Information*) para corroborar la identidad del microorganismo. Con el resultado de microscopía y verificación genética, cada cepa fue aislada y almacenada en un cepario a 4°C y -20°C, para ser preservada y continuar realizando investigación orientada al manejo integrado de plagas.

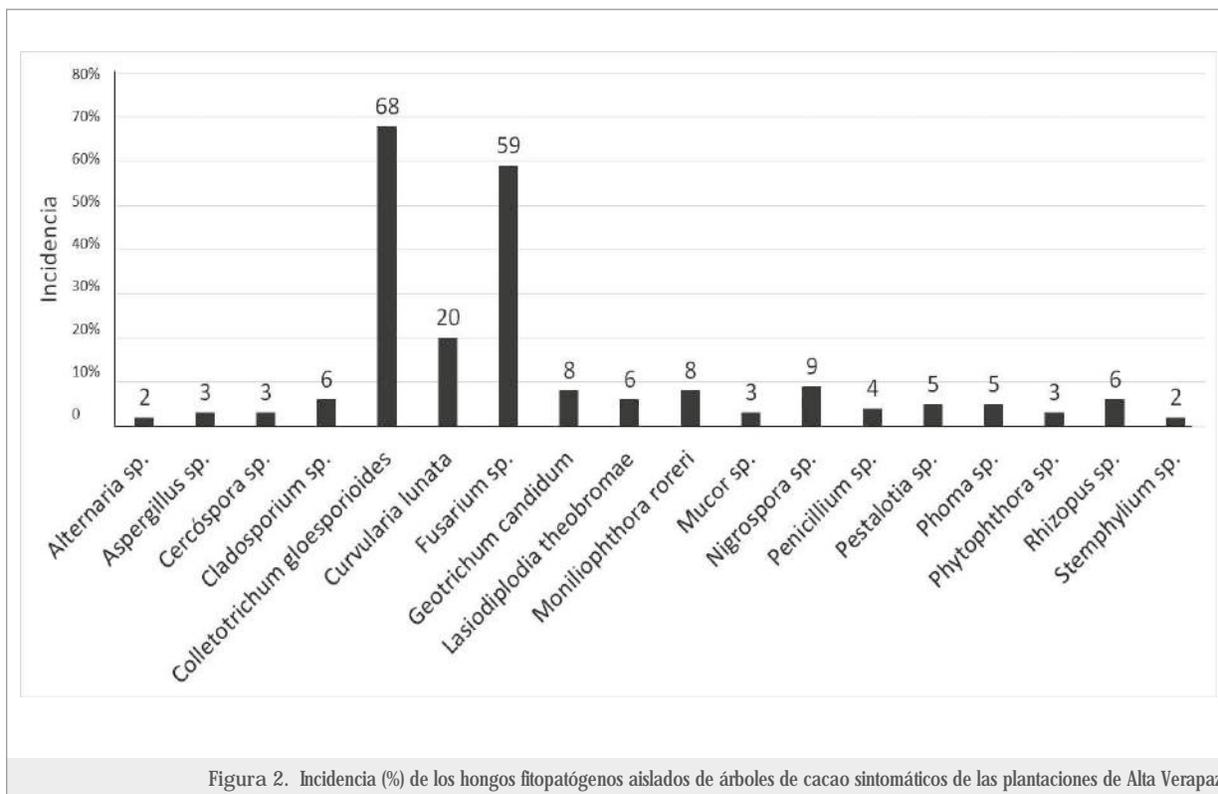
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron 17 géneros de hongos y uno de Oomycetes fitopatógenos, aislados a partir de 103 muestras de árboles de cacao que presentaban signos y/o síntomas de enfermedad en algún órgano de la planta (hojas, tejido leñoso, fruto y/o

semillas) (Cuadro 1). Cabe resaltar que la mayoría de los árboles presentaban más de un fitopatógeno. Los hongos que se detectaron con mayor frecuencia fueron *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata*, y *Fusarium sp.*, que se

Cuadro 1. Incidencia y síntomas de los fitopatógenos aislados de las muestras de cacao en Alta Verapaz, Guatemala.

Fitopatógenos	Signos y síntomas	Incidencia (%)	Localidad		
			Lachuá	Cahabón	Polochic
ASCOMYCETES					
<i>Colletotrichum gloesporioides</i>	Antracnosis, puntos necróticos con borde clorótico en hojas y frutos.	68	Salacuim Bempec Castaño Rocjá Pomtilá Faisán I	Santa Rosa Chivité Pinares	Xucup, Panzós Tierra Seca, Panzós Jolomihix 2A, Panzós Salac II, La Tinta
<i>Curvularia lunata</i>	Manchas foliares, puntos y manchas necróticas en fruto.	20	Bempec Castaño Rocjá Pomtilá Faisán I	-	Tierra Seca, Panzós Xucup, Panzós Jolomihix 2A, Panzós
<i>Monilophthora roleri</i>	Frutos necróticos y/o momificados. Superficie de frutos cubierta de esporas. Pudrición en semillas.	7	Cobán Salacuim Rocjá Pomtilá	Pinares	-
<i>Fusarium sp.</i>	Marchitez, daño radicular, necrosis en tejidos leñosos, pudrición del fruto.	59	Cobán Salacuim Rocjá Pomtilá Faisán I	Santa Rosa Chivité San Juan Chivité Pinares	Xucup, Panzós Tierra Seca, Panzós
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Marchitez, necrosis en tejido leñoso, tallo seco, frutos secos y momificados.	6	Cobán Salacuim Rocjá Pomtilá Faisán I	Pinares	Jolomihix 2, Panzós
<i>Nigrospora</i>	Manchas y puntos necróticos foliares, lesiones secas en hojas.	9	Cobán Salacuim Faisán I	Pinares	Tierra Seca, Panzós
<i>Alternaria sp.</i>	Manchas necróticas foliares	2	Cobán	-	-
<i>Phoma sp.</i>	Lesiones necróticas y presencia de picnidios, en hojas y frutos	5	Salacuim	-	Xucup, Panzós Salac I, La Tinta Salac II, La Tinta Jolomihix 2A, Panzós
<i>Stemphylium sp.</i>	Lesiones necróticas en hojas y frutos	2	-	Pinares San Juan Chivité	-
<i>Pestalotia sp.</i>	Necrosis en hojas, frutos y semillas	5	Cobán Salacuim Rocjá Pomtilá	-	Xucup, Panzós
<i>Cercospora sp.</i>	Necrosis foliar	3	Cobán	San Juan Chivité	-
<i>Geotrichum candidum</i>	Necrosis en fruto y semillas	8	Salacuim	Santa Rosa Chivité Pinares	Salac I, La Tinta
<i>Cladosporium sp.</i>	Puntos necróticos en hojas, manchas necróticas en frutos.	6	Salacuim Rocjá Pomtilá Faisán	Pinares	-
<i>Aspergillus sp.</i>	Manchas necróticas en hojas y frutos, siempre asociado a otros hongos.	3	Rocjá Pomtilá	Pinares	-
<i>Penicillium sp.</i>	Frutos necróticos	4	Salacuim Rocjá Pomtilá	Pinares	-
ZYGOMYCETES					
<i>Mucor sp.</i>	Manchas necróticas foliares y frutos con lesiones necróticas.	3	Salacuim	Pinares	-
<i>Rhizopus sp.</i>	Fruto necrótico, micelio y esporas en semillas.	6	Salacuim Rocjá Pomtilá	-	Xucup, Panzós Salac I, La Tinta
OOMYCETES					
<i>Phytophthora sp.</i>	Marchitez en ramas, fruto necrótico con micelio blanco, pudrición de semillas.	3	Salacuim	-	Tierra Seca, Panzós Xucup, Panzós



aislaron en el 68%, 20% y 59% de las muestras, respectivamente (Figura 2). A pesar de que no han sido reportados como amenazas significativas para el cultivo de cacao, afectan la productividad de los árboles por causar síntomas como daño foliar, antracnosis de los frutos y pudrición.

Los síntomas más comunes observados en muestras foliares fueron puntos necróticos, necrosis iniciando desde el ápice, la base o bordes laterales de las hojas, manchas necróticas intercaladas entre las nervaduras y lesiones secas con presencia de picnidios (Figura 3). Entre otros hongos fitopatógenos que se aislaron a partir de muestras con daño foliar se incluye *Nigrospora* sp. que presentó una incidencia del 9% y se asoció a muestras con puntos necróticos; *Pestalotia* sp., *Stemphylium* sp. y *Phoma* sp. presentes en el 5% de las muestras, así como *Alternaria* sp. y *Cercospora* sp. con una incidencia del 2% que están asociados a manchas necróticas foliares. A pesar de no ser considerados como una amenaza significativa para las plantaciones de cacao, estos microorganismos pueden llegar a afectar la tasa fotosintética y por lo tanto la productividad, disminuyendo la cantidad y calidad de frutos producidos.

En los frutos afectados se encontraron signos y síntomas como micelio cubriendo parcial o totalmente la superficie,

antracnosis y deformación, puntos y manchas necróticas, momificación y pudrición que en ocasiones llegaba a las semillas (Figura 4). Estos síntomas se encontraron asociados a fitopatógenos con alta incidencia, como *Fusarium* sp. y *C. gloesporioides*, con alto impacto como *M. roreri* y *Phytophthora* sp., así como *Phoma* sp. y *Pestalotia* sp. causante de daño foliar como se mencionó anteriormente. Sin embargo, también se aislaron otros hongos como *Cladosporium* sp., *Mucor* sp., *Rhizopus* sp., *Aspergillus* sp. y *Penicillium*. Estos son microorganismos saprófitos que se encuentran normalmente en el ambiente (agua y suelo), aunque también se han reportado como patógenos de otras especies cultivadas o se han encontrado en la etapa post-cosecha del cacao causando daños a los frutos (Delgado-Ospina, 2021). Estos hongos se encontraron en menos del 10% de las muestras, pero a pesar de su baja incidencia, es importante controlarlos para evitar daños en la etapa post-cosecha. Además de producir micotoxinas, la presencia de hongos fitopatógenos en los procesos de fermentación y secado puede producir cambios en los precursores de sabor y en la acidez del cacao, afectando de esta manera la calidad e inocuidad del producto final (Delgado-Ospina, 2021). Por esta razón, es necesario optimizar el manejo de las plantaciones y la etapa de almacenamiento de los frutos colectados, bajo condiciones que no favorezcan el crecimiento de estos patógenos.

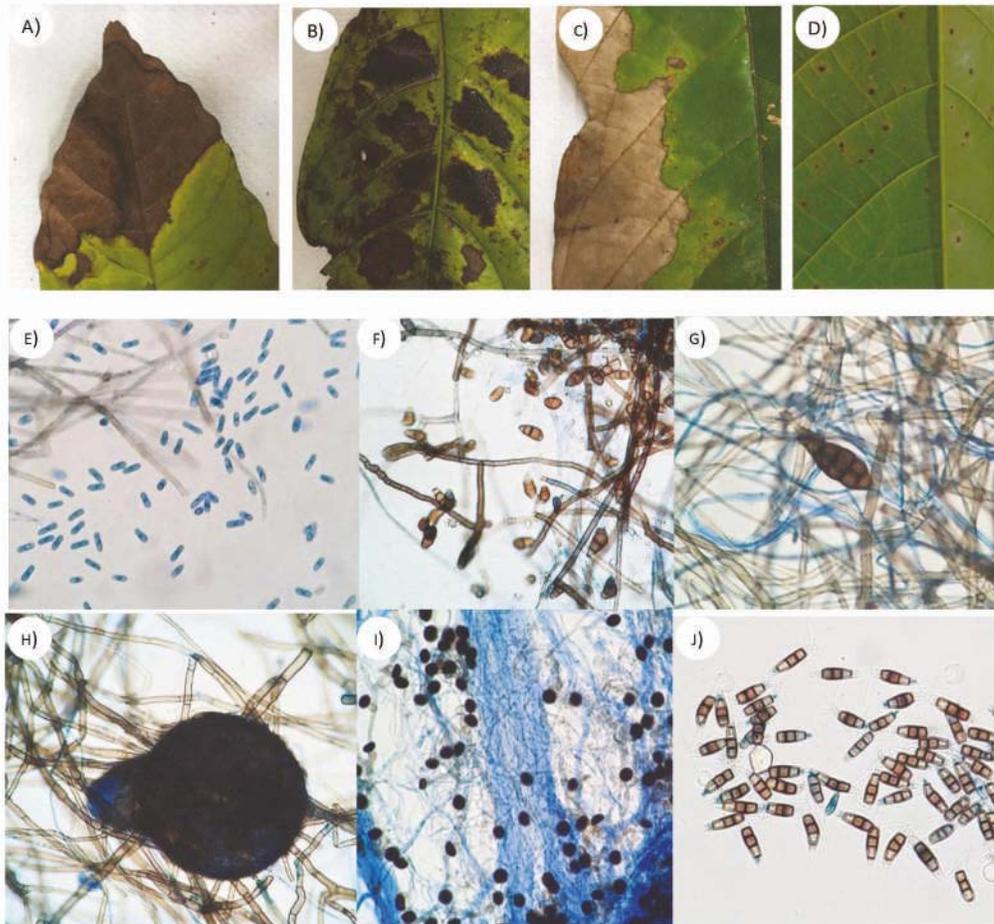


Figura 3. Daño foliar en cacao y hongos asociados: A) necrosis en ápice de la hoja, B) manchas necróticas, C) lesión seca en borde foliar. D) puntos necróticos, E) conidios cilíndricos de *C. gloeosporioides* F) micelio y esporas de *C. lunata*, G) micelio, conidióforo y espóra de *Alternaria* sp., H) cleistotecio de *Nigrospora* sp., I) micelio y esporas de *Nigrospora* sp., J) esporas de *Pestalotia* sp.

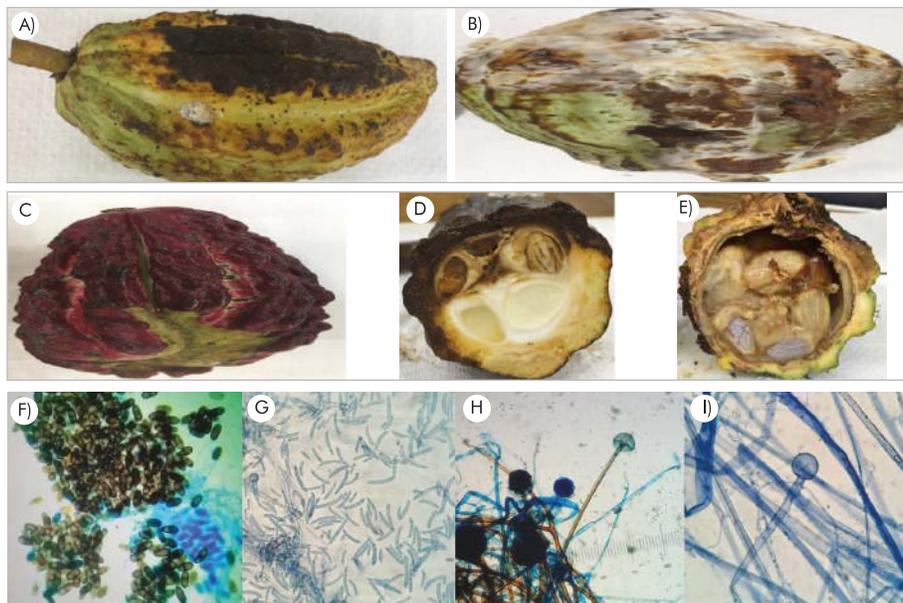
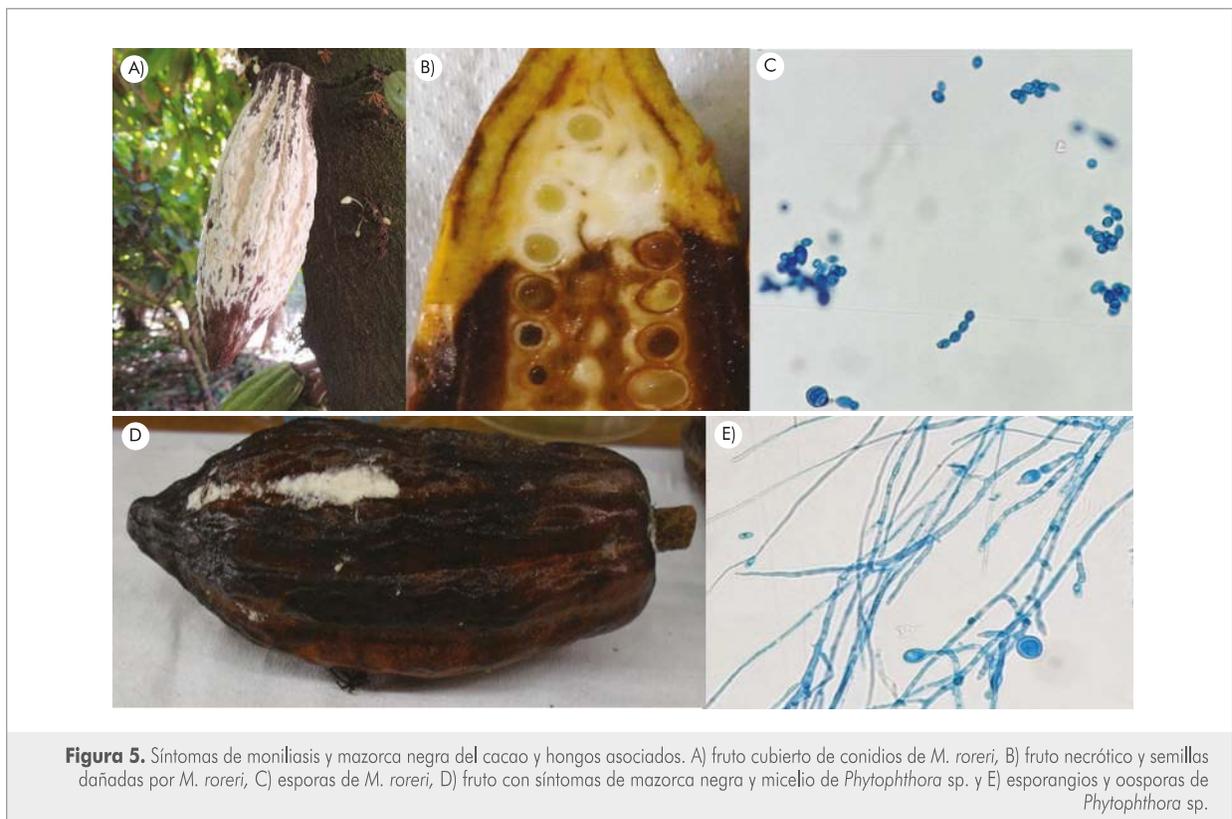


Figura 4. Daño a frutos y semillas de cacao y hongos asociados: A) Antracnosis y puntos necróticos, B) necrosis y presencia de micelio, C) deformación en el ápice. D-E) pudrición de fruto y semillas F) esporas de *Lasiodiplodia theobromae* G) esporas de *Fusarium* sp. H) esporangios de *Rhizopus* sp., I) esporangios de *Mucor* sp.



De los fitopatógenos detectados, *Moniliophthora roreri* (Figura 5) y *Phytophthora* sp., agentes causales de moniliasis y mazorca negra respectivamente, se han reportado como los principales causantes de grandes pérdidas de la producción de cacao a nivel nacional (Phillips-Mora y Cerda, 2011; Reyes, 2012). Esto debido a que afectan directamente al fruto y las semillas, y sus síntomas son visibles hasta 15-30 días después de iniciado el proceso infeccioso, haciendo difícil su diagnóstico en etapas tempranas de la infección. En el año 2011, la moniliasis se identificó como la enfermedad del cacao más dañina de la región centroamericana, causando la pérdida de hasta el 80% de la producción total de cacao ocasionando que muchos de los cacaotales fueran abandonados (Phillips-Mora y Cerda-Bustillos, 2011; Pérez-Vicente, 2018). El Oomycete *Phytophthora* sp. afecta principalmente el fruto de cacao y puede causar también pérdida de los granos. Además, es capaz de infectar otras partes de la planta, como por ejemplo las raíces, comprometiendo el transporte de agua y nutrientes. Esto resulta en plantas débiles y poco productivas con frutos y semillas de mala calidad (Ploetz, 2007).

A pesar de no ser los patógenos que se diagnosticaron con mayor frecuencia en las muestras, *M. roreri* (li=7%) y

Phytophthora sp. (li=3%) son importantes pues son capaces de sobrevivir en condiciones climáticas adversas y afectan directamente el fruto y las semillas, que son el principal producto del cultivo (Delgado-Ospina, 2021). A pesar de que *M. roreri* se aisló de árboles sintomáticos de Lachuá y Cahabón y *Phytophthora* sp. de árboles de Lachuá y Polochic, no debe descartarse la posibilidad de que se encuentren en las otras sub-regiones al ampliar el muestreo y que de existir las condiciones óptimas para su crecimiento, éstas podrían dispersarse rápidamente y causar graves daños a los cultivos de cacao de la región.

Entre los principales hallazgos de este estudio se encuentra el reporte de la especie *Lasiodiplodia theobromae* (Figura 4), causante de muerte súbita, muerte regresiva o muerte descendente y pudrición del fruto en cacao (González, 2007). Este hongo presenta una distribución cosmopolita y tiene un amplio rango de hospederos, incluyendo monocotiledóneas, dicotiledóneas y gimnospermas. (Shahbaz *et al.*, 2009; Picos-Muñoz *et al.*, 2015). En Guatemala se ha reportado en otros cultivos, pero no se considera como una amenaza para el cacao de acuerdo a la literatura. Sin embargo, en este estudio fue aislado a partir de muestras colectadas en las tres sub-regiones de estudio. Los árboles afectados presentaban

marchitez, necrosis y crecimiento micelial en tejidos leñosos, frutos necróticos, con pudrición o momificados y semillas dañadas. Algunos de los hospederos murieron durante el desarrollo del estudio y se observaron focos de infección durante el monitoreo y las colectas en campo.

Debido a que este hongo puede ser dispersado fácilmente por el viento e insectos y que ha causado daños importantes en plantaciones de cacao de países productores cercanos a Guatemala como Belice y México (Picos-Muñoz *et al.*, 2015), es importante establecer un método de control para evitar su dispersión. En algunas de las muestras a partir de las cuales se aisló, también se encontraron artrópodos del género *Xyleborus* sp. Estos insectos han sido reportados como causantes de lesiones y galerías en el interior de los tejidos leñosos, favoreciendo el ingreso, invasión y avance del proceso infeccioso por hongos endofíticos en los tejidos del hospedero (Sánchez-Cuevas, *et al.*, 2015). Además son vectores de otros hongos patógenos del cacao como *Ceratocystis cacaofunesta*, agente causal del mal del machete (Engelbrecht *et al.*, 2008). Al ser un vector potencial de *L. theobromae* y un mecanismo de dispersión de esporas de otros hongos fitopatógenos, es necesario desarrollar métodos para controlar las poblaciones de *Xyleborus* sp. como parte del manejo integrado de plagas del cultivo.

Es importante mencionar que también se aislaron hongos que podrían ser benéficos, tales como *Paecilomyces* sp.,

Metharhizium sp., *Trichoderma ghanense* y *T. reesei*. Los últimos dos podrían presentar un gran potencial como agentes de control biológico debido a su naturaleza cosmopolita y de rápido crecimiento (Schuster y Schmoll, 2010). Varias especies del género *Trichoderma* son capaces de producir enzimas hidrolíticas y metabolitos antifúngicos, dándole así ventajas sobre los hongos patógenos sin causar daño a las plantas (Ezziyyani *et al.*, 2004). Este hongo también utiliza otros mecanismos como parasitismo y competencia por espacio y nutrientes; además, puede inducir una respuesta de defensa en las plantas y promover el desarrollo y crecimiento de las mismas (Cuervo-Parra *et al.*, 2011, Tirado-Gallego *et al.*, 2016). Por lo tanto, se recomienda evaluar el potencial de estos hongos como control biológico de los principales hongos patógenos aislados.

Dada la presencia de hongos fitopatógenos en las muestras, incluyendo especies que presentan una amenaza significativa para el cacao, es de vital importancia llevar a cabo un manejo apropiado del cultivo para evitar la propagación de estos hongos. Es recomendable regular la sombra de los árboles de cacao, con el fin de regular la luminosidad, la temperatura, el viento y evitar que se den las condiciones propicias para el crecimiento de los patógenos. Adicionalmente, es necesario realizar podas constantes a manera de permitir un mejor flujo de aire y para mantener una distancia apropiada entre los árboles con el fin de disminuir el contacto y evitar la infección entre ellos.

CONCLUSIONES

- Se identificaron y aislaron 17 géneros de hongos fitopatógenos y un Oomycete a partir de 103 árboles de cacao sintomáticos en las plantaciones monitoreadas en Lachuá, Cahabón y Polochic.
- Los tres hongos que presentaron mayor incidencia en las plantaciones de cacao muestreadas fueron *C. gloesporioides* ($I_i=68\%$), *Fusarium* sp. ($I_i=59\%$) y *Curvularia lunata* ($I_i=20\%$) asociados a antracnosis y daño foliar, pudrición de fruto y mancha foliar, respectivamente.
- Las especies *M. roreri* y *Phytophthora* sp., causantes de importantes pérdidas en las plantaciones a nivel latinoamericano, fueron aisladas a partir de muestras sintomáticas colectadas en las sub-regiones de estudio.
- Se identificaron los hongos benéficos *Paecilomyces* sp., y *Metarhizium* sp., *Trichoderma ghanense* y *Trichoderma reesei* a partir de muestras de suelo de plantaciones de cacao de Lachuá, que podrían ser utilizados como control biológico.

AGRADECIMIENTOS

A los productores y presidentes de las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOLSERNOR, ADEMAYACH, APODIP, APIDIP y APRODERK por darnos acceso para trabajar en sus plantaciones.

A los técnicos de campo Carlos Caal, Dennis Imanol Medina, Luis David Morales, Diana López, Keni Ixim, Alejandro Tec y Yolanda Tzalam por el apoyo durante el monitoreo de las plantaciones y colecta de muestras.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura por el seguimiento de las actividades, el apoyo para la comunicación con los actores de la agrocadena y la divulgación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Barnett, L. H., y Hunter, B. B. (2006). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Fourth Edition. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 218 p
- Correa, J., Castro, S. y Coy, J. (2014). Estado de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia. *Acta Agronomica*, 63 (3): 388-399.
- Cuervo Parra ,J.A., Ramírez Suero, M., Sánchez López, V. y Ramírez Lepe, M. (2011). Antagonistic effect of *Trichoderma harzianum* VSL291 on phytopathogenic fungi isolated from cocoa (*Theobroma cacao* L.) fruits. *Afr J Biotechnol*. 10(52):10657-10663
- Delgado Ospina, J., Molina Hernández J. B., Chaves López, C., Romanazzi, G. y Paparella, A. (2021). The Role of Fungi in the Cocoa Production Chain and the Challenge of Climate Change. *Journal of Fungi*, 7 (202). Consultado el 07 de julio de 2021 de: <https://doi.org/10.3390/jof7030202>
- Estrategia Nacional de la Agrocadena de Cacao -ENAC- en Guatemala. (2016). Plan Estratégico de la Agrocadena de Cacao en Guatemala. 2016-2025. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 94 pp.
- Engelbrecht, C., Harrington, T. y Alfenas, A. (2008). Ceratocystis Wilt of Cacao-A Disease of Increasing Importance. *Phytopathology*. 97. 1648-9. 10.1094/PHYTO-97-12-1648.
- Ezziyyani, M., Pérez, C., Sid Ahmed, A., Requena, M. y Candela, M. (2004). *Trichoderma harzianum* como biofungicida para el biocontrol de *Phytophthora capsici* en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L). *Anales de Biología* 26: 35-45.
- Franzen, M. y Borgerhoff, M. (2007). Ecological, economic and social perspectives on cocoa production worldwide *Biodivers Conserv* 16:3835-3849.
- García León, E., Leyva Mir, S. G., Villaseñor Mir, H. E., Rodríguez García, M. F., y Tovar Pedraza, J. M. (2013). Identificación e incidencia de tres hongos fitopatógenos, de reporte nuevo, en avena (*Avena sativa* L.) en la meseta central de México. *Agrociencia*, 47(8), 815-827.
- González, J. (2007). Identificación de hongos patógenos que afectan el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Finca Bulbuxya, San Miguel Panan, Suchitepéquez. Trabajo de Graduación. Guatemala, Guatemala. 69 pp.
- Manoharachary, C., Kunwar, I.K. y Vishnuvardhan, S. (2010). Nature at work: Ongoing saga of evolution. Chapter 10. Biodiversity, phylogeny and evolution of fungi. *The National Academy of Sciences, India*. 141-159.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. (2016). Diagnóstico de la cadena de cacao. <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/9810.pdf>. [Consultado 3 de mayo, 2020].
- Ministerio de Economía de Guatemala -MINECO-. (2018). Cacao Guatemalteco Busca Posicionarse en el Mercado Internacional. <https://www.mineco.gob.gt/cacao-guatemalteco-busca-posicionarse-en-el-mercado-internacional>. [Consultado 20 de febrero, 2020].
- Murray, M. y Thompson, W. (1980). Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 8(19): 4321-4325.
- Phillips Mora, W. y Cerda Bustillos, R. (2011). Catálogo: Enfermedades del cacao en Centroamérica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE-. Turrialba, Costa Rica. 24 pp.
- Picos Muñoz, P.A., García Estrada, R.S., León Feliz, J., Sañudo Bajasas, A. y Allende Malar, R. (2015). *Lasiodiplodia theobromae* en Cultivos Agrícolas de México: Taxonomía, Hospedantes, Diversidad y Control. *Rev. Mex. Fitopatol*. 33 (1): 54-74

- Ploetz, R.C. (2007). Cacao diseases: Important threats to chocolate production worldwide. *Phytopathology* 97: 1634-1639.
- Powis, T., Hurst, W., Del Carmen Rodríguez, M., Ponciano, O., Blake, M., Cheetham, D., Coe, M. y Hodgson, J. (2008). The Origins of Cacao Use in Mesoamerica. *Mexicon*, 30 (2), 35-38. Consultado el 07 de julio de 2021 de: <http://www.jstor.org/stable/23759545>
- Reyes, G. (2012). Diagnóstico de la situación actual del Cultivo de Cacao T. cacao en la Aldea Barrios I, del municipio de San Antonio Suchitepéquez. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Sánchez Cuevas, M.C., Jaramillo Aguilar, E.E. y Ramírez Morales, I.E. (2015). Enfermedades del Cacao. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. 152pp.
- Schuster, A. y Schmoll, M. (2010). Biology and biotechnology of *Trichoderma*. *Applied microbiology and biotechnology*, 87(3), 787-799. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-2632-1>.
- Shabaz, M., Iqbal, Z., Saleem, A., y Anjum, M.A. (2009). Association of *Lasiodiplodia theobromae* with different decline disorders in mango (*Mangifera indica* L.). *Pakistan Journal Botany*, 41(1), 359-368.
- Standley, P.C. y Steyermark, J.A. (1946). *Flora of Guatemala*. Chicago Natural History Museum. Chicago; United States of America.
- Tirado Gallego, P.A., Lopera Álvarez, A. y Ríos Osorio, L.A. (2016). Estrategias de control de *Moniliophthora roreri* y *Moniliophthora perniciosa* en *Theobroma cacao* L.: revisión sistemática. *Corpoica Cienc. Technol. Agropecuaria* 17 (3): 417-430
- Watanabe, T. (2002). *Pictorial atlas of soil and seed fungi: morphologies of cultured fungi and key to species*. 2 nd ed. CRC Press LLC. 504 pp.

CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA Y GENÉTICA DE ÁRBOLES ÉLITE DE CACAO (*Theobroma cacao* L. - MALVACEAE) CULTIVADAS EN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

Ana Lucía Dubón
aldubon@uvg.edu.gt,

Maria Renée Álvarez²
mralvarez@uvg.edu.gt,

Mariafernanda Alarcón¹
malarcon@uvg.edu.gt,

Nina Alejandra Figueroa¹
nafigueroa@uvg.edu.gt

¹ Programa de Protección Vegetal - CEAA

² Herbario UVAL - CEAB

RESUMEN

El cacao es parte de la cultura de Guatemala desde la época prehispánica, y actualmente contribuye al desarrollo económico de pequeños y medianos agricultores. Sin embargo, su producción se ha visto afectada por la falta de información sobre la genética de los materiales que se utilizan para propagación. El objetivo de este estudio fue realizar la caracterización botánica y molecular de árboles élites de cacao en tres localidades de Alta Verapaz (Lachuá, Cahabón y Polochic). Se caracterizaron 150 árboles élite morfológicamente mediante 42 caracteres botánicos y genéticamente por la técnica de marcadores microsatélites, utilizando clones de colecciones internacionales como controles. Para los caracteres botánicos se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA) que no demostró la formación de grupos definidos, sugiriendo una alta tasa de hibridación. De acuerdo a las observaciones de campo y la variabilidad en el análisis morfológico y morfométrico, se observa alta variabilidad en las poblaciones de cacao estudiadas. El largo de pedicelo, largo del pétalo y el color de las semillas podrían sugerirse como marcadores morfométricos para variedades trinitarias acriolladas o variedades albinas como Catongo. Para la caracterización genética, se encontró una alta variabilidad genética en las poblaciones de acuerdo al número de alelos reportado para cada marcador. De acuerdo con el análisis de agrupamiento jerárquico realizado, no se encontraron materiales criollos o forasteros, sin embargo, fue posible clasificarlos como trinitarios (híbridos), trinitarios acriollados y trinitarios forasteros. De acuerdo a la localidad, se detectaron dos grupos genéticamente similares, uno en Cahabón y otro en Lachuá, el último se agrupó con controles criollos, por lo que podría tratarse de trinitarios acriollados. De acuerdo a ambos análisis (genético y botánico), ninguno de los materiales es 100% cacao criollo o forastero, todos presentaron características intermedias entre estos dos tipos de cacao, sin embargo, pueden clasificarse como trinitarios, trinitarios acriollados y trinitarios forasteros. Esta información presenta una línea base sobre la genética del cacao en Alta Verapaz y permite generar recomendaciones para el manejo de las plantaciones.

PALABRAS CLAVE: *Theobroma cacao* L., caracterización genética y botánica, Alta Verapaz, Guatemala.

ABSTRACT

BOTANICAL AND GENETIC CHARACTERIZATION OF ELITE CACAO TREES (*Theobroma cacao* L. - MALVACEAE) GROWN IN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

Cacao has been part of Guatemalan culture since pre-hispanic times, and currently contributes to the economic development of small and medium scale growers. However, its production has been affected by the lack of information on the genetics of the materials used for propagation. The objective of this study was to perform the botanical and molecular characterization of elite cacao trees in three locations in Alta Verapaz (Lachuá, Cahabón and Polochic). One hundred and fifty elite trees were

characterized morphologically by 42 botanical characters and genetically by the microsatellite marker technique, using clones from international collections as controls. A canonical correspondence analysis (CCA) was performed, for botanical characters which did not show the formation of defined groups, suggesting a high rate of hybridization. According to field observations and the variability in the morphological and morphometric analysis, high variability is observed in the cacao populations studied. Pedicel length, petal length and seed color could be suggested as morphometric markers for “Trinitario acriollado” varieties or albino varieties such as Catongo. For the genetic characterization, a high genetic variability was found in the populations based on the number of alleles reported for each marker. No “Criollo” or “Forastero” materials were found, however, it was possible to classify them as “Trinitarios” (hybrids), “Trinitarios acriollados” and “Trinitarios forasteros”. According to the locality, two genetically similar groups were detected, one in Cahabón and another in Lachuá, the latter was grouped with “Criollos” controls, so they could be “Trinitarios acriollados”. Based on both analyzes (genetic and botanical), none of the materials is 100% “Criollo” or “Forastero”, all presented intermediate characteristics between these two types of cacao, however, they can be classified as “Trinitarios”, “Trinitario acriollado” and “Trinitarios forasteros”. This information presents a baseline on the genetics of cacao in Alta Verapaz and made it possible to generate recommendations for the management of plantations.

KEY WORDS: *Theobroma cacao* L., botanical and genetic characterization, Alta Verapaz, Guatemala.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es aprovechado por los humanos desde hace 5,300 años en la región entre Colombia y Ecuador, de acuerdo con estudios arqueológicos (Zarrillo *et al.* 2018). Hace 3,600 años fue traído a Mesoamérica por comerciantes, y la región se convirtió en un centro de diversificación de cacao. La especie tuvo importancia cultural para la civilización maya que la utilizaba como moneda de cambio, y desde ese entonces se cultiva en Guatemala. El nombre cacao ahora usado universalmente se deriva directamente del náhuatl “cacahuatl” o “cacahoatl”, así como el nombre del chocolate, se deriva de “xocoatl” o “chocoatl” (Cuatrecasas 1964). En la actualidad, el cultivo de cacao en un modelo agroforestal tiene un impacto positivo en el ambiente, promueve la fertilidad del suelo y la conservación de la biodiversidad. Además, apoya el desarrollo de pequeños y medianos agricultores y contribuye a reducir la pobreza debido a que las plantaciones suelen encontrarse en regiones remotas cerca de áreas protegidas (Somarriba *et al.* 2008). Toda la región de Centroamérica tiene una baja productividad de cacao en relación con la producción mundial, pero presenta una alta calidad que le permite satisfacer la demanda local y exportar el producto a Estados Unidos y la Unión Europea (Somarriba *et al.* 2008).

Existe una gran variación de las características morfológicas de la especie, que autores como Morris y Hart, han intentado agrupar en Clases y variedades. Siendo la Clase Criollo y la

Clase Forastero una constante en las clasificaciones. Las tres variedades de cacao mayormente reconocidas son: criollo, forastero y trinitario (Cuatrecasas, 1964). La calidad del cacao depende del aroma, sabor, textura y cantidad de alcaloides como la teobromina, estas características conforman el fenotipo de la especie (Arvelo *et al.* 2017). A su vez, el fenotipo depende de la genética de los árboles de cacao (genotipo) y de factores ambientales como la temperatura, humedad, iluminación y características del suelo (Weising *et al.* 2005). Para determinar los grupos genéticos en los que puede clasificarse el cacao y estudiar la variabilidad genética de las poblaciones, se han utilizado técnicas como el uso de marcadores microsatélites (SSRS), que son segmentos cortos de ADN de 1-6 pb repetidos en tándem y de forma aleatoria en el genoma. A pesar de que se identifican tres grupos principales según características botánicas, se han identificado hasta 10 grupos genéticos del cacao latinoamericano utilizando dichas técnicas (Motamayor *et al.*, 2008). También se han realizado estudios de mapeo genético y secuenciación de regiones ricas en QTLs (*quantitative trait loci*) (Lanaud *et al.*, 2004; Lanaud, *et al.*, 2009; Feltus *et al.*, 2011; Barreto *et al.*, 2018) con el objetivo de identificar genes candidatos que puedan estar asociados a características de resistencia a un patógeno específico, tolerancia a estrés ambiental o a alguna característica morfológica u organoléptica en particular.

Por esa razón, uno de los aspectos necesarios para aumentar la calidad del cacao es evaluar la genética para conservar los materiales y desarrollar programas de mejoramiento a partir de genotipos que presenten características deseables de resistencia, productividad y calidad.

Las variedades encontradas en el área de distribución de la especie presentan diferencias importantes en cuanto a sabor, características morfológicas, productividad y resistencia a plagas. Morfológicamente las principales diferencias se encuentran en la forma, textura y color del fruto y las semillas. El reconocimiento de estas variedades es esencial para realizar

cruces efectivos entre árboles y para optimizar los procesos post cosecha que son específicos para cada una.

Existe una clara congruencia entre los rasgos morfométricos y los rasgos genéticos, aclarando así la utilidad de enfoques complementarios para hacer que el análisis de diversidad sea más explicativo y útil para una mejora genética óptima y la conservación efectiva de su variabilidad genotípica (Lattoo *et al.* 2008).

El objetivo de este estudio fue caracterizar botánica y genéticamente los árboles élite de cacao cultivadas en las regiones de Lachuá, Cahabón y Polochic del departamento de Alta Verapaz, Guatemala.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en las subregiones de Lachuá, Cahabón y Polochic en el departamento de Alta Verapaz. En Cahabón se incluyó el área de Lanquín y Cahabón y en Polochic se incluyó Panzós y Santa Catarina la Tinta (Figura 1). El muestreo

de árboles se realizó en los meses de Noviembre del 2018 a marzo del 2020 en plantaciones de miembros de las siguientes asociaciones de Fundalachuá: KATBALPOM, ASODIRP y ASOLSEÑOR en Lachuá, ADEMAYACH en Cahabón y APODIP en Polochic. Además estuvieron involucradas APRODERK y APIDIP en Cahabón.

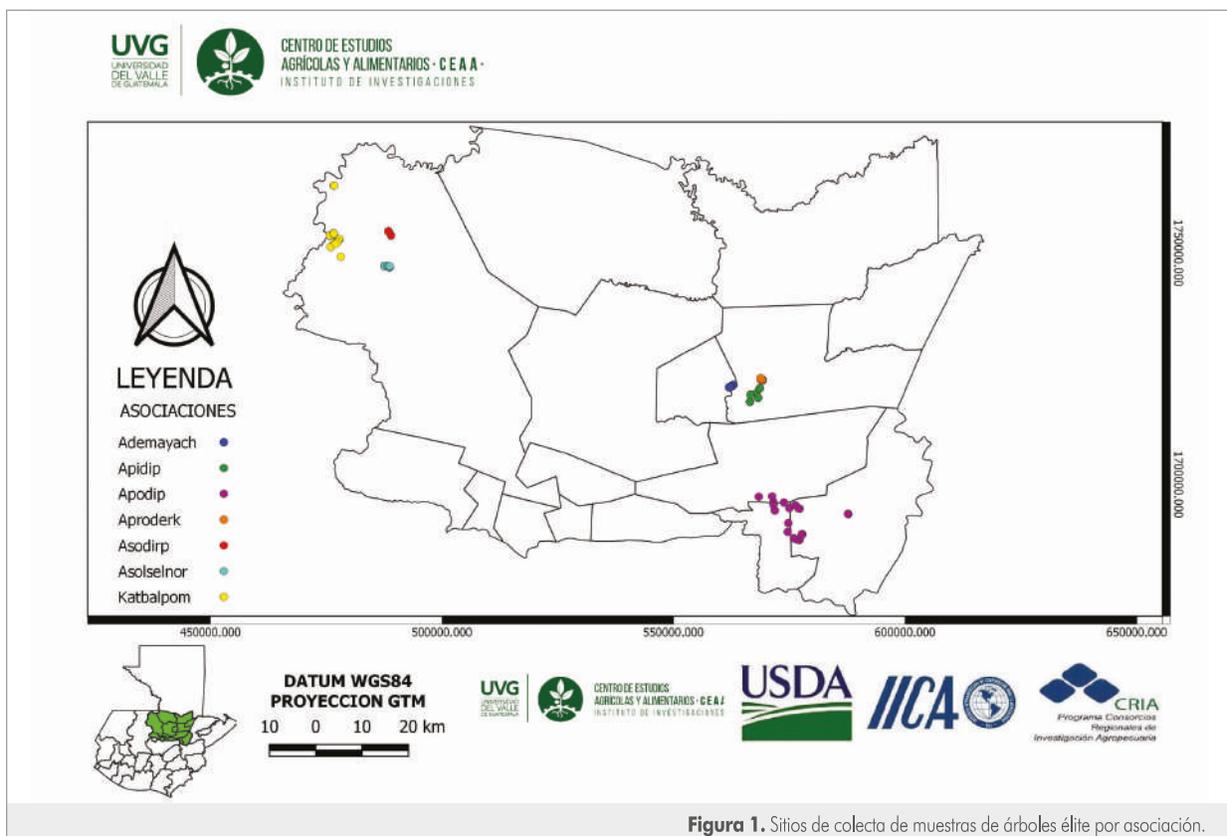


Figura 1. Sitios de colecta de muestras de árboles élite por asociación.

Selección de árboles

Los árboles élite para realizar la caracterización botánica y molecular se seleccionaron en conjunto con los productores de cacao de las asociaciones y áreas de estudio, con base en los siguientes criterios:

- Índice de grano (peso mayor a 1 g),
- Índice de mazorca: 20 a 25 mazorcas para producir 1 Kg de cacao seco,
- Productividad (60 pochas por árbol),
- Resistencia a enfermedades (según observaciones del productor)
- Condiciones organolépticas deseables (según observaciones del productor).

Cada árbol seleccionado fue marcado, codificado y georreferenciado para mantener la trazabilidad de la muestra. Se seleccionaron un total de 150 árboles: 65 en Lachuá, 55 en Cahabón y 30 en Polochic.

Caracterización botánica

Colecta de muestras: Para la caracterización botánica se colectó una rama con al menos cinco hojas, tres flores y tres frutos para los 150 árboles élite seleccionados. Además se colectaron muestras de 5 árboles de control. Estos fueron: trinitarios (ICS95 y SPA-9), amazónico (Catongo), criollo (Yucatan Greenhouse) y pataxte (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl), por ser una especie perteneciente al mismo género que el cacao. Los controles fueron colectados en el Centro de Agricultura Tropical Bulbuxyá y en la Granja Zahorí ubicada en Cuyotenango Suchitepéquez, ambas pertenecientes a la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

Análisis de características morfológicas y morfométricas: En campo se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura del árbol y el número de frutos. Las muestras colectadas se trasladaron al laboratorio del Herbario UVAL de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) para su análisis. Las muestras de hojas se secaron en prensa para su posterior medición, mientras que los frutos y flores se midieron inmediatamente al llegar al laboratorio. En total, se midieron 42 caracteres cuantitativos (24) y cualitativos (18) para la descripción botánica de las variedades; consistiendo en tres características del árbol, ocho de hojas, 16 de flores, 10 de frutos y cinco de semillas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Caracteres cualitativos y cuantitativos utilizados en la caracterización botánica de los árboles élite de cacao.

Árbol y hojas	Flores	Frutos y semillas
Altura (m)	Largo del pedicelo (mm)	Largo del fruto (mm)
DAP (cm)	Color del pedicelo	Ancho del fruto (mm)
Número de frutos por árbol	Número de sépalos	Forma del fruto
Largo de la hoja (mm)	Largo de los sépalos (mm)	Forma del ápice
Ancho de la hoja (mm)	Forma de los sépalos	Forma de la base
Número de pares de venas	Color de los sépalos	Número de surcos
Largo del peciolo (mm)	Número de pétalos	Textura
Forma del limbo	Largo de los pétalos (mm)	Color del fruto maduro
Forma del ápice	Forma de los pétalos	Color del mesocarpio
Forma de la base	Color de los pétalos	Número de semillas
Tricomas en el envés	Número de estambres	Ancho de la semilla (mm)
	Largo del estambre (mm)	Largo de la semilla (mm)
	Número de estaminodios	Grosor de la semilla (mm)
	Largo de estaminodios (mm)	Color de la semilla
	Color de estaminodio	Forma longitudinal
	Largo del pistilo (mm)	

Caracterización molecular

Colecta de muestras: Se realizó la colecta de muestras foliares de los 150 árboles élite seleccionados. Las mismas se transportaron en frío (4°C) hacia el Laboratorio de Protección Vegetal (LPV) de la UVG para realizar el análisis genético. Se utilizaron materiales caracterizados provenientes de colecciones nacionales e internacionales como controles criollos (Cantón Sis, Mazatenango 4, Criollo, Yucatan Greenhouse 1 y 2), trinitarios (ICS6, ICS95 y SPA9) y amazónicos (Catongo), y se incluyó una muestra de pataxte (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl). Los controles fueron colectados en el Centro de Agricultura Tropical Bulbuxyá y en la Granja Zahorí ubicada en Cuyotenango Suchitepéquez, ambas propiedad de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

• Análisis genético:

Extracción de ADN: Para la extracción del material genético de las muestras foliares de las tres subregiones de estudio y de los controles colectados en los jardines clonales, se utilizó una versión modificada de los protocolos de Murray y Thompson (1980) y Mathew (2014). Se tomaron 0.3 g de tejido del material vegetal y se maceraron mecánicamente añadiendo previamente un volumen de 150 μ l de PVP 10%, 100 μ l de metabisulfito de sodio 5%, 200 μ l de

β -mercaptoetanol y 50 μ l de agua desmineralizada. Posteriormente se agregó un volumen de buffer CTAB precalentado a 65°C, y se incubó durante 30 minutos. Alcanzada la temperatura ambiente, se agregó un volumen de cloroformo:alcohol isoamílico (24:1), se mezcló en vórtex y se centrifugó a 13,000 rpm por 10 min. Al sobrenadante se le agregó un volumen de isopropanol frío y 1/10 de volumen de acetato de amonio 7.5 M; se mezcló por inversión y se incubó a -20°C por 20 min. Posteriormente se secó el precipitado a 50°C y se resuspendió en aproximadamente 50 μ l de buffer TE precalentado a 65°C. Se verificó la integridad del ADN en geles de agarosa 1% y se utilizó espectrofotometría para medir la concentración y pureza del ADN. El ADN extraído fue almacenado a 4°C para su posterior análisis (Aragon, 2009; Ávalos *et al.*, 2012; Cryer *et al.*, 2006; Johnson *et al.*, 2009; Lanaud *et al.*, 1999; Loo *et al.*, 2009; Motilal *et al.*, 2009; Saunders *et al.*, 2004; Schnell *et al.*, 2005; Sereno, 2005).

Amplificación con marcadores microsatélites: Una vez obtenido el ADN, se procedió a la amplificación usando marcadores microsatélites (SSR's, o *Simple Sequence Repeats*) y la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Inicialmente se realizó un estudio piloto con 30 marcadores (Motamayor *et al.*, 2008) y se seleccionaron los 11 más polimórficos (Cuadro 2) para correr la totalidad de las muestras.

Cuadro 1. Marcadores microsatélites seleccionados para la caracterización molecular de los árboles élite de cacao.

Nombre	No. Alelos reportado	Secuencias	Tamaño de fragmentos
mTcClR1	3-10	GCAGGGCAGGCTCAGTGAAGCA TGGGCAACCAGAAAACGAT	143, 128-146
mTcClR3	6-15	CATCCAGTATCTCATCC CTGCTCATTCTTTTCATATCA	230, 249
mTcClR4	3	CGACTAAAACCCAAACCATCAA AATTATTAGGCAACCCGAACCT	259
mTcClR10	4-18	ACAGATGGCCCTACACACT CAAGCAAGCCTCATACTC	208-274
mTcClR19	6-10	CACAACCCGTGCTGATTA GTTGTTGAGGTTGTTAGGAG	376
mTcClR25	11-13	CTTCGTAGTGAATGTAGGAG CTTCGTAGTGAATGTAGGAG	150-185
mTcClR28	2	GATCAATCAGAAGCAAACACAT TAAAGCAGCCTACCAAGAAAAG	336
mTcClR37	6-13	CTGGTGCTGATAGATAA AATACCCCTCCACAAAT	133-185, 136-187
mTcClR40	6-10	AATCCGACAGTCTTTAATC CCTAGGCCAGAGAATTGA	259-284, 262-288
mTcClR58	6-12	CGCTACTAACAAACATCAAA AGAGCAACCATCACTAATCA	190-218
mTcClR60	8	CGCTACTAACAAACATCAAA AGAGCAACCATCACTAATCA	190-218

Los productos de PCR se analizaron por electroforesis en gel de poliacrilamida (PAGE) al 20% de 38 x 20 cm, corrido a 160V por una hora. Los fragmentos de ADN se visualizaron por tinción con nitrato de plata y su tamaño fue determinado por análisis de los geles digitalizados utilizando el programa Gel Analyzer. Con los resultados del tamaño de los fragmentos se generó una matriz de datos para ser utilizada en el análisis estadístico.

Análisis Estadístico

Caracterización botánica: Se realizó un análisis de correspondencia canónica (CCA) en el programa estadístico R (versión 3.6.1). Las características se analizaron según las categorías: árboles, hojas, flores, frutos y semillas. Como para todas las categorías se realizaron múltiples mediciones

por muestra, se utilizó la media para variables continuas y la moda para las categóricas. En el caso de las variables categóricas con más de una moda, se seleccionó una al azar. Las variables de cada categoría fueron seleccionadas si: 1) poseen más de un valor distinto, 2) no es multicolineal (para esto se utilizó el factor de inflación de la varianza (VIF) y 3) su efecto es significativo sobre la composición genética.

Caracterización molecular: Se utilizó el programa estadístico R (versión 3.6.1). Se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico con base en el índice de disimilitud de Bray-Curtis que permite medir la distancia genética entre individuos (árboles de cacao), usando como base la identidad y el número de alelos compartidos. A partir de este análisis se generó un dendrograma para visualizar las diferencias de diversidad entre las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización botánica:

De acuerdo al análisis morfológico y morfométrico, todos los árboles élite incluidos en el estudio presentan características intermedias entre cacao criollo y forastero, por lo que pueden clasificarse como materiales trinitarios. Sin embargo, algunos presentaron tendencia hacia alguno de los grupos, pudiendo clasificarlos como trinitarios acriollados o trinitarios forasteros. Por las características físicas presentadas en los árboles se puede observar (1) alta variabilidad fenotípica y (2) altas tasas de hibridación. Por ejemplo, en dos árboles élite tomados en el estudio, se observaron características diversas como la presencia de frutos fusiformes, propios de una variedad acriollada con flores rojizas, más comúnmente asociados a variedades trinitarias o forasteras (Figura 2A). En otros materiales, se observaron frutos amelonados, característicos del cacao forastero, con flores blancas asociadas al tipo criollo (Figura 2 B).

En las parcelas estudiadas, se observó una alta variabilidad fenotípica en frutos y semillas (Figura 3). Sabiendo que muchos árboles son autoincompatibles, es muy probable que los árboles de una misma parcela se estén hibridando. Por lo tanto, si existe una alta variabilidad fenotípica dentro de la misma parcela, y asumiendo que estos árboles se están cruzando, esto da como resultado una mayor mezcla de las características en las semillas resultantes. Esto puede notarse en las semillas, donde para un mismo fruto se observan

semillas de distintas coloraciones (Figura 3), confirmando las altas tasas de hibridación y de variabilidad fenotípica.

El análisis de correspondencia canónica nos muestra que para ninguno de los órganos analizados (árbol, hojas, flores, frutos y semillas) hubo formación de grupos que puedan corresponder a variedades claras. Sin embargo, se pueden observar algunas tendencias. Según las medidas de los árboles y el análisis de correspondencia canónica, existe un



Figura 2. Fotografías *in situ* del hábito, flores y frutos de los especímenes Lac24C (A) y Lac42C (B) en la subregión Lachuá.

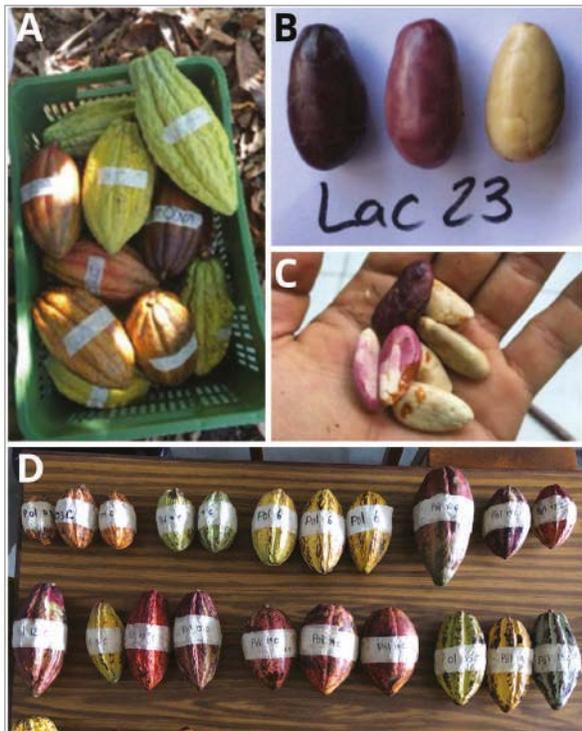


Figura 3. Fotografías de la variabilidad morfológica en frutos de la misma parcela (A), las semillas del mismo fruto (B), la coloración variegada y sólida en semillas (C), y en frutos dentro de la misma subregión Polochic (D).

grupo de muestras de Cahabón que posee árboles de mayor altura que el resto de las muestras (Figura 4A). Esto no puede relacionarse con la genética del árbol, debido a que los árboles de Cahabón son árboles de mayor edad que los árboles de las otras subregiones, por lo que la mayor altura se debe principalmente a la edad de los árboles. De igual manera, unas muestras de Polochic poseen una mayor cantidad de frutos, lo que podría sugerir una mayor productividad. Sin embargo, hay que tomar en cuenta el tamaño del fruto, la cantidad y tamaño de las semillas, para poder evaluar la productividad de cada árbol. En este caso, aunque las medias no son significativamente distintas, sí se observa, que, aunque el número de semillas es igual en las tres subregiones, los frutos de Polochic son un poco más pequeños, al igual que las semillas (Figura 4E y 4F). En las mediciones de las flores (Figura 4C), existe un grupo de muestras de Lachuá con un mayor largo de pedicelo y largo de pétalo. Aunque no es propiamente un grupo, podemos ver que sí existen varias muestras de Lachuá (especialmente Lac10C a Lac15C) que tienen características distintas al resto. Según el análisis molecular, este grupo no forma un grupo distinto, sin embargo, sí se agrupa en un grupo mucho mayor con algunos controles criollos. Esto podría indicar que este grupo tiene una tendencia a una variedad acriollada y que las características de largo de pedicelo y largo del pétalo podrían establecerse como marcadores morfométricos.

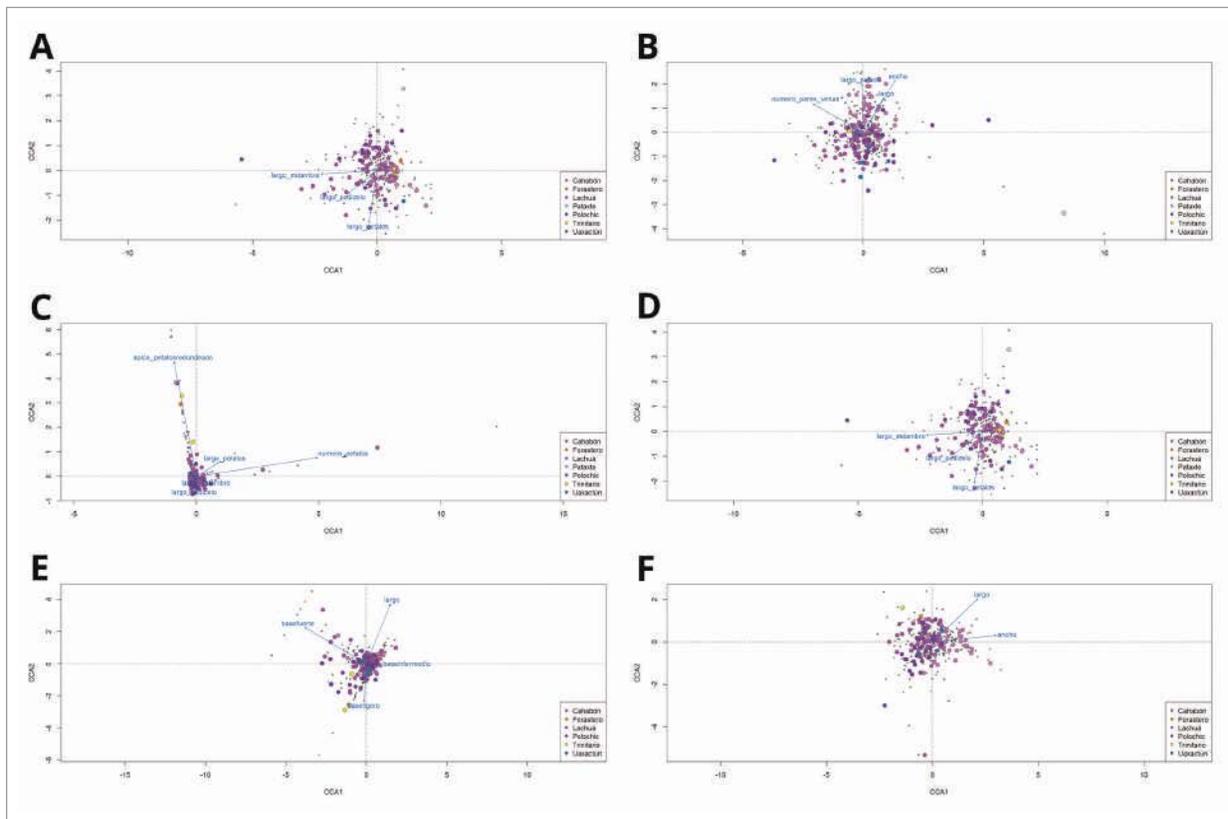


Figura 4. Análisis de correspondencia canónica de las características morfológicas y morfométricas de árboles (A), hojas (B), flores (C y D), frutos (E) y semillas (F) de árboles élite de cacao.

Cuadro 3. Árboles élite con semillas blancas y flores blancas en las tres subregiones.

	Árboles con flores blancas	Árboles con semillas blancas
Lachúa	Lac28C, Lac37C, Lac38C, Lac51C, Lac52C, Lac53C, Lac54C, Lac55C, Lac57C, Lac58C, Lac63C. (11/65) 17%	Lac04C, Lac07C, Lac09C, Lac10C, Lac13C, Lac17C, Lac23C, Lac24C, Lac28C, Lac30C, Lac31C, Lac34C, Lac38C, Lac40C, Lac53C, Lac58C, Lac62C, Lac63C. (18/65) 28%
Cahabón	Cah17C, Cah21C, Cah22C, Cah24C, Cah25C, Cah26C, Cah27C, Cah28C, Cah29C, Cah30C, Cah37C. (11/55) 20%	Cah01C, Cah10C, Cah17C, Cah22C, Cah24C, Cah25C, Cah29C, Cah30C, Cah34C, Cah35C, Cah36C, Cah44C, Cah48C, Cah49C, Cah54C (15/65) 27%
Polochic	Pol10C, Pol26C, Pol28C, Pol29C. (4/30) 13%	Pol04C, Pol07C, Pol08C, Pol18C, Pol21C, Pol 22C, Pol24C, Pol27C, Pol28C, Pol30C. (11/30) 37%
Total	(26/150) 17.3%	(44/150) 29.3%

Sin embargo, es necesario ampliar el estudio para poder verificarlo. La existencia y validez de estos marcadores podría facilitar la identificación en campo de árboles con genética similar a este grupo de Lachúa.

De los 150 árboles estudiados se encontró árboles con flores blancas (17.3%) y árboles con semillas blancas o moteadas con blanco (29.3%). Estas características están típicamente relacionadas con variedades de cacao criollo, por lo que se puede decir que estos árboles (Cuadro 3) podrían clasificarse como trinitarios acriollados. Sin embargo, se observó pocos árboles (12 árboles, que equivalen al 8% del total de árboles élite) con ambas características (individuos marcados con azul en el cuadro 3). En el resto de árboles se observó la presencia de flores blancas pero con semillas moradas o semillas blancas pero con flores rojizas.

Caracterización genética

Los resultados del análisis molecular indican que los 11 marcadores utilizados son altamente polimórficos para la población estudiada, presentando un mayor número de alelos que los reportados previamente en la literatura (Cuadro 4). Este alto polimorfismo podría deberse a que en el estudio se incluyeron individuos provenientes de diferentes parcelas y distintas subregiones, sugiriendo que estas parcelas se originaron a partir de una alta variedad de materiales parentales. Cabe destacar los marcadores mTcCIR04, mTcCIR28 y mTcCIR40, los cuales presentaron un número de alelos mayor a 30, indicando una alta variabilidad genética.

De acuerdo al análisis de agrupamiento jerárquico (Figura 6) se distinguen un conjunto de árboles ubicados en Cahabón

Cuadro 4. Comparación del número de alelos reportados en la literatura y el número de alelos obtenidos en la caracterización molecular de los árboles élites de cacao.

Marcador microsatélite	No. Alelos reportados	No. Alelos Observados
mTcCIR01	3-10	12
mTcCIR03	6-15	18
mTcCIR04	3	32
mTcCIR10	4-18	21
mTcCIR19	6-10	28
mTcCIR25	11-13	14
mTcCIR28	2	34
mTcCIR37	6-13	16
mTcCIR40	6-10	31
mTcCIR58	6-12	27
mTcCIR60	8	22

con mayor similitud entre sí, pero que no se agrupan con ninguno de los controles. Estos resultados sugieren que podría tratarse de materiales que provienen de los mismos parentales. Un grupo de cuatro árboles de Lachúa (Lac62C a Lac65C) presentan similitud genética y también se encuentran geográficamente cerca, presentan características intermedias entre cacao criollo y forastero y se encuentran más cercanos a los controles trinitarios. Otro grupo de trece individuos de Lachúa se localiza en una de las ramas del dendrograma



Figura 5. Muestras amplificadas con marcadores microsatélites visualizadas en PAGE 10%. MM: Marcador de peso molecular (100 pb).

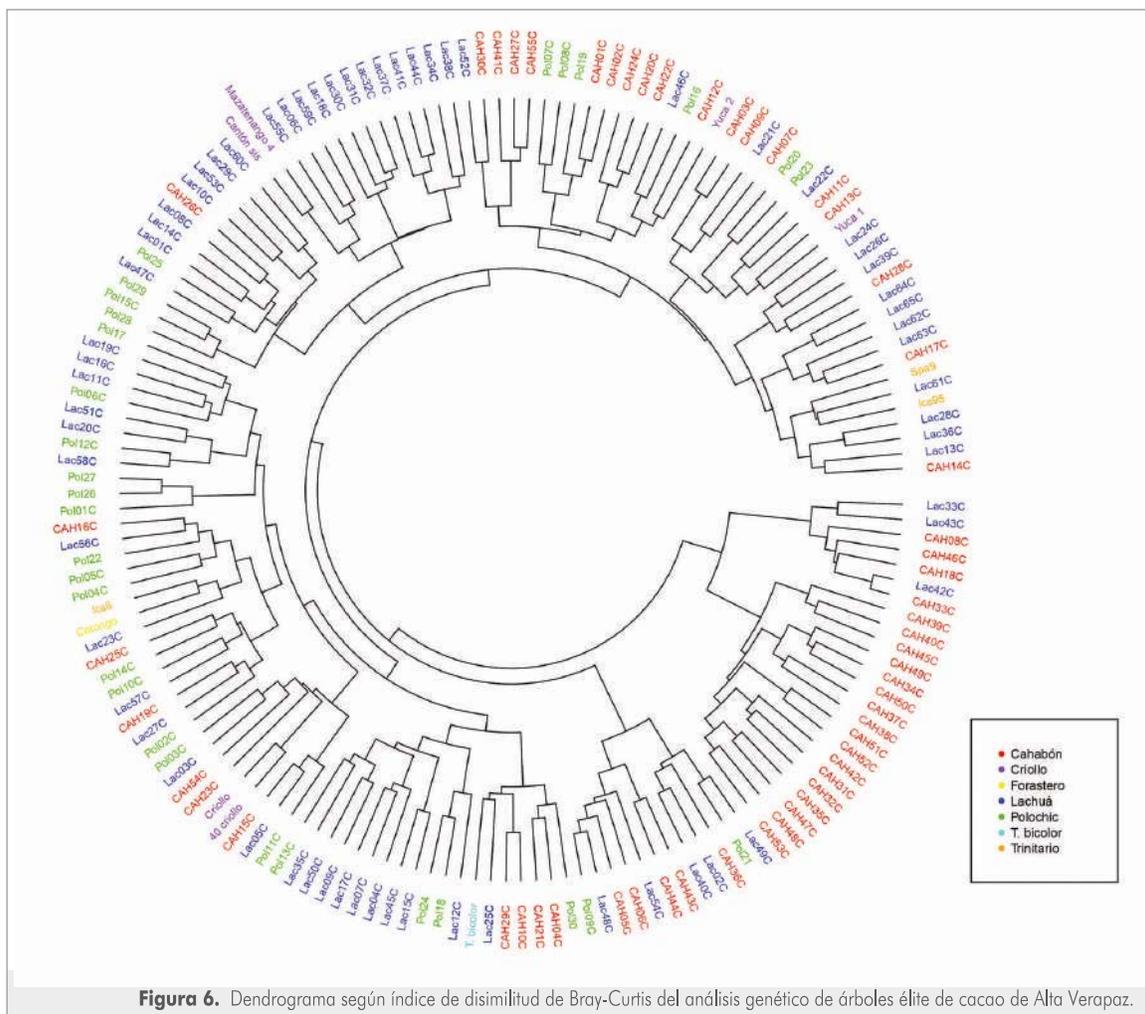


Figura 6. Dendrograma según índice de disimilitud de Bray-Curtis del análisis genético de árboles élite de cacao de Alta Verapaz.

cerca de los controles criollos (Cantón Sis y Mazatenango 4) provenientes de la granja Zahorí de la USAC. De estos materiales, al menos el 40% (Lac18C, Lac30C, Lac31C, Lac34C, Lac38C) presentaban un alto porcentaje de semillas blancas de acuerdo al análisis morfológico y al menos el 50% presentaba coloraciones claras en sus flores. Materiales provenientes de las tres regiones (Lac03C, Lac05C, Cah15, Cah23, Cah54, Pol03, y Pol11) se agruparon con los controles criollos provenientes de la colección de CATIE y morfológicamente presentaron características intermedias entre cacao criollo y trinitario, por lo que se sugiere que se trata de trinitarios acriollados. Nueve materiales de las tres sub-regiones de estudio (Lac21, Lac22, Cah03, Cah07, Cah09, Cah11, Cah13, Pol20 y Pol23) presentaron características morfológicas de cacao trinitario, pero se agruparon con los controles criollos Yucatan greenhouse 1 y 2.

Individuos de las tres subregiones de estudio (Lac23C, Lac56C, Cah16C, Pol04C, Pol05C, Pol22C) se agruparon con los controles Catongo (amazónico) e ICS 6 (trinitario), por lo que podría tratarse de trinitarios forasteros. En cuanto a sus características morfológicas, el 50% (Lac23, Pol04C, Pol22C) presentó algún porcentaje de de semillas blancas y flores de color claro. Estos rasgos corresponden a los expresados por el material Catongo, que a pesar de ser un material amazónico presenta coloración blanca en sus semillas como consecuencia de un gen inhibidor de antocianinas que evita que se exprese el pigmento morado (Bartley, 2005). Un dato importante es que de estos materiales, Lac23C y Pol04C fueron los únicos que presentaron síntomas de enfermedad durante el monitoreo de las plantaciones, observándose el daño exclusivamente en frutos. A pesar de ello continuaron siendo altamente productivos y debido a que los otros individuos no presentaron

síntomas o signos de enfermedades a pesar de encontrarse en plantaciones afectadas, podría tratarse de materiales resistentes o con algún grado de resistencia, característica derivada de la genética del cacao forastero. Sin embargo, es necesario que se compruebe esta hipótesis con ensayos de inoculación. Debido a la similitud que presentaron con el clon ICS-6, que al igual que el Catongo se trata de un material autocompatible, dichos materiales son candidatos para ser utilizados en estudios de auto e intercompatibilidad.

Hay un conjunto de árboles de Cahabón (Cah4C, Cah10C, Cah21C, Cah29C), uno de Polochic (Pol30C) y uno de Lachuá (Lac25C) que se agrupó con el control ICS-95, que igual al ICS-6 es un trinitario auto-compatible, por lo que también se recomienda realizar los estudios de compatibilidad sugeridos para el grupo anterior. De este conjunto de árboles, los frutos de tres individuos (Cah10C, Cah29C y Pol30C) presentaron semillas blancas y las flores de otros tres presentaban coloración clara (Cah21C, Cah29C y Lac25C), sugiriendo que son materiales trinitarios acriollados.

El resto de individuos, en especial los colectados en Polochic, se encuentran de forma más dispersa en el dendrograma, al presentar características botánicas intermedias entre cacao criollo y forastero, por lo que pueden ser clasificados como trinitarios. De esta manera, el análisis de agrupamiento jerárquico sugiere una alta tasa de hibridación del cacao colectado en las subregiones de estudio, siendo la variedad predominante la de cacao trinitario. En cuanto al número de alelos reportado para cada marcador, puede observarse que hay una alta variabilidad genética entre los materiales, característica que se expresa a nivel morfológico y morfométrico.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a las observaciones de campo y la variabilidad en el análisis morfológico y morfométrico, se observa alta variabilidad morfológica y morfométrica en las poblaciones de cacao estudiadas en las subregiones de Lachuá, Cahabón y Polochic en Alta Verapaz.
- De acuerdo al análisis de correspondencia canónica, no hay grupos definidos botánicamente y la localidad no es una variable que explique la variación morfológica, sugiriendo una alta tasa de hibridación.
- Las características de largo de pedicelo y largo del pétalo podrían establecerse como marcadores morfométricos para variedades trinitarias acriolladas. El color de las semillas y de las flores es otra característica que puede tomarse en cuenta para variedades acriolladas o variedades albinas como Catongo.
- Los marcadores microsatélites utilizados en este estudio son polimórficos para las poblaciones de cacao estudiadas en las subregiones de Lachuá, Cahabón y Polochic en Alta Verapaz.
- De acuerdo al análisis de agrupamiento jerárquico, se identificaron dos grupos importantes según la localización: uno en Cahabón que no estaba asociado a uno de los controles y uno de Lachuá que se agrupó con controles criollos y además presenta características morfológicas asociadas a este tipo de cacao.
- De acuerdo al análisis genético y botánico, ninguno de los materiales es 100% cacao criollo o forastero, todos presentaron características intermedias entre estos dos tipos de cacao, sin embargo, pueden clasificarse como trinitarios, trinitarios acriollados y trinitarios forasteros.

AGRADECIMIENTOS

A los productores y presidentes de las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOLSERNOR, ADEMAYACH, APODIP, APIDIP y APRODERK por darnos acceso para trabajar en sus plantaciones.

A los técnicos de campo Carlos Caal, Dennis Imanol Medina, Luis David Morales, Diana López, Keni Ixim, Alejandro Tec y Yolanda Tzalam por el apoyo durante el monitoreo de las plantaciones y colecta de muestras.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIIA) (Contrato IICA-CRIIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA-. Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura por el seguimiento de las actividades, el apoyo para la comunicación con los actores de la agrocadena y la divulgación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aragon Obando, E.M. (2009). Caracterization of *Theobroma cacao* L. in Nicaragua using SSR. Tesis de maestría. Universidad de Helsinki. 48pp.
- Arvelo, M. A., González D., Delgado T. y. Maroto, S. (2017). Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo del cacao en América / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. - San José, C.R. : IICA. 280pp.
- Avalos A., Porres M.A., Pöll E., Dardón E., Arévalo L.A. y Rosales A. (2012). Caracterización agronómica, botánica y molecular de clones de cacao tipo criollo y mejorado de la zona sur de Guatemala. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala* 24: 99-104
- Barreto, M.A., Rosa, J.R.B.F., Holanda, I.S.A. Cardoso Silva, C.B, Vildoso, C. I. A., Ahnert, D. Souza, M.M., Corrêa, R. X., Royaert, S., Marelli, J., Santos, E. S. L., Luz, E. D. M. N. Garcia, A. A. F. y Souza, A. P. (2018). QTL mapping and identification of corresponding genomic regions for black pod disease resistance to three *Phytophthora* species in *Theobroma cacao* L.. *Euphytica* 214, 188.
- Bartley, Basil G.D., (2005). The genetic diversity of cacao and its utilization. Cabi.
- Cuatrecasas, J. (1964). Cacao and its allies: A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contr. U.S. Natl. Herb.* 35: 379-614.
- Cryer N.C., Fenn M.G.E., Turnbull C.J., Wilkinson M.J. (2006). Allelic size standards and reference genotypes to unify international cocoa (*Theobroma cacao* L.) microsatellite data. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 1643-1652
- Feltus, F.A., Sasaki, C.A., Mockaitis, K., Haiminen, N., Parida L. Smith, Z, Ford, J., Staton, M.E., Ficklin S. P., Blackmon, B. P., Cheng, C., Schnell, R.J., Kuhn, D. N. and Motamayor, J.C. (2011). Sequencing of a QTL-rich region of the *Theobroma cacao* genome using pooled BACs and the identification of trait specific candidate genes. *BMC Genomics* 12, 379.
- Johnson E.S., Bekele F.L., Brown S.J., Song Q., Zhang D., Meinhardt L.W., Schnell R.J. (2009). Population Structure and Genetic Diversity of the Trinitario Cacao (*Theobroma cacao* L.) from Trinidad and Tobago. *Crop Science* 49: 564-572
- Lanaud C., Risterucci A.M., Pieretti I., Falque M., Bouet A., Lagoda P.J.L. (1999). Isolation and characterization of microsatellites in *Theobroma cacao* L. *Molecular Ecology* 8: 2141-2152.
- Lanaud, C., Risterucci, A., Pieretti, I., N'Goran, J., y Fargeas, D. (2004). Characterisation and genetic mapping of resistance and defence gene analogs in cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Mol Breed.* 13. 211-227.
- Lanaud, C., Fouet, O., Clément, D., Boccara, M., Risterucci, A. M., Surujdeo, S., Legavre, T. y Argout, X. (2009). A meta-QTL analysis of disease resistance traits of *Theobroma cacao* L. *Mol Breeding* 24, 361-374.
- Lattoo, S. Dhar, R., Khan, S., Bamotra, S., Bhan, M., Dhar, A. y Gupta, K. (2008). Comparative analysis of genetic diversity using molecular and morphometric markers in *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 33-43.
- Loor R.G., Risterucci A.M., Courtois B., Fouet O., Jeanneau M., Rosenquist E., Amores F., Vasco A., Medina M., Lanaud C. (2009). Tracing the native ancestors of the modern *Theobroma cacao* L. population in Ecuador. *Tree Genetics & Genomes* 5: 421-433.
- Mathew, K. (2014). Optimization of genomic DNA extraction from fresh and dry leaves of large cardamom (*Amomum subulatum* Roxb.) for diversity analysis. *Indian Journal of Biotechnology.* 13: 221-224.
- Motilal L.A., Zhang D., Umaharan P., Mischke S., Mooledhar V., Meinhardt L.W. (2009). The relic Criollo cacao in Belize - genetic diversity and relationship with Trinitario and other cacao clones held in the International Cocoa Genebank, Trinidad. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization:* 1-10.

- Motamayor J.C., Lachenaud P., da Silva E.M.J.W., Loo 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): 3311.
- Murray, M. y Thompson, W. (1980). Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Research*. 8(19): 4321-4325.
- Saunders J.A., Mischke S., Leamy E.A., Hemeida A.A. (2004). Selection of international molecular standards for DNA fingerprinting of *Theobroma cacao*. *Theor Appl Genet* 110: 41-47.
- Schnell R.J., Olano C.T., Brown J.S., Meerow A.W., Cervantes, C. (2005). Retrospective Determination of the Parental Population of Superior Cacao (*Theobroma cacao* L.) Seedlings and Association of Microsatellite Alleles with Productivity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130 (2): 181-190
- Sereno, M.L., Albuquerque P.S.B., Vencovsky R., Figueira A. (2005). Genetic diversity and natural population structure of cacao (*Theobroma cacao* L.) from the Brazilian Amazon evaluated by microsatellite markers. *Conservation Genetics*: 1-12
- Somarriba, E., Villalobos M. y Orozco L. (2008). Cocoa in Central America. *Global Research on Cocoa - working with and for farmers*. Issue 14.
- Weising, K., Nybom, H., Pfenninger, M., Wolff, K., y Kahl, G. (2005). *DNA Fingerprinting in Plants: Principles, Methods, and Applications*. 2ª edición. CRC Press, Estados Unidos. 472 pp.
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., Salin, F., Solorzano, R. L., Bouchez, O., Vignes, H., Severt, P., Hurtado, J., Yopez, A., Grivetti, L., Blake M., y Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*. (2): 1879-1888.

NOTA TÉCNICA

ESTABLECIMIENTO DE JARDINES CLONALES COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE LOS MATERIALES ÉLITE DE CACAO DE ALTA VERAPAZ

Ana Lucía Dubón
aldubon@uvg.edu.gt,

Margarita Palmieri
margaritapalmieri@yahoo.com

Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios - CEAA

El cacao, *Theobroma cacao* L., perteneciente a la familia Malvaceae, tiene especial importancia por la utilización de sus semillas en la elaboración del chocolate y se traduce su nombre como “Alimento de los dioses” (Cuatrecasas, 1964; The Plant List, 2013; Parker 2008; Stevens *et al.* 2001; Tropicos.org, 2018; Aroche, 2021). Este cultivo era de importancia para la civilización maya y se ha usado desde tiempos precolombinos, incluso se ha mencionado en el Popol Vuh de la literatura maya quiché (Aroche 2021). Fue empleado como bebida, como moneda y elemento de intercambio comercial. Los mayas empezaron a cultivar el cacao hace más de 2500 años. Se sabe que los primeros árboles de cacao que se encontraron crecían de forma natural a la sombra de selvas tropicales, cerca a cuencas de ríos. Es producido principalmente en África Occidental, Asia, Centro y Sur América (INFOCOMM, 2016).

En Guatemala, el cacao es un cultivo de importancia social y económica. En el proceso de producción y transformación participan miles de familias de pequeños y medianos productores de la zona norte y costa sur del país. Los pequeños productores lo cultivan como alternativa de ingresos complementarios a la siembra de granos básicos. Las unidades de producción de la mayor parte de estos productores en Alta Verapaz varían entre 0.25 a 0.74 hectáreas y participan alrededor de 3000 familias (MINECO, 2015). El desarrollo tecnológico del cultivo se considera

bajo debido a falta de tecnología adecuada y recursos económicos para desarrollar investigación e innovación. La productividad en las plantaciones de cacao en Alta Verapaz varía entre 250 y 300 kg en grano de cacao seco/ha/año (Cerde *et al.*, 2014; MINECO, 2015) mientras que la media nacional es de 450 kg de grano seco/ha. Sin embargo, Nicaragua supera esta productividad en un 65% (Cerde *et al.*, 2014) y se reportan países en donde la productividad está entre 1500 y 3000 kg de grano seco/ha o más (Sánchez *et al.*, 2019).

Por su extensión territorial y actual nivel técnico, Guatemala no se posiciona como un competidor por volumen de producción de cacao para exportación. Aunque se cultive todo el territorio adecuado para este cultivo, no podría alcanzar los niveles de producción de otros países con extensiones mayores como Brasil, Ecuador, Costa de Marfil y otros países africanos y asiáticos. Sin embargo, en las regiones productoras del país incluido el departamento de Alta Verapaz, aún se encuentran ejemplares silvestres de cacao nativo que se han catalogado de alta calidad para competir en el mercado internacional y que presentan características de cacao acriollado (Parker, 2008; Stevens *et al.*, 2001).

En el contexto internacional, si Guatemala va a competir en el mercado con cacao fino de aroma, que corresponde al 5% de la oferta mundial. Es importante tecnificar el cultivo

para que sus características se manifiesten constantemente y de manera uniforme en todas las exportaciones que se hagan ya que el cacao fino es muy valorado por sus altas cualidades organolépticas para la obtención de elaborados Premium (Arvelo *et al.*, 2017). Tapia (2018) compara la proporción de exportaciones de cacao por país de América Latina, clasificadas como cacao fino o aromático. Los datos aparecen en el cuadro 1.

El cuadro muestra que se necesita mejorar la proporción de cacao fino que se exporta. Actualmente sólo el 4% de la producción total es destinada a la exportación (MAGA, 2017). Esto se puede alcanzar teniendo material de calidad en cantidades suficientes para sembrar y aumentar las áreas de producción. La manera más adecuada para tener material de calidad disponible para proporcionar a los agricultores es mediante bancos de germoplasma destinados a conservar las características originales de los materiales promisorios. Un aspecto importante para tomar en cuenta son los diversos factores que amenazan el cultivo de cacao y cabe destacar entre ellos además de la falta de una organización dedicada al desarrollo tecnológico del sistema cacao (producción y procesamiento), el desconocimiento del tipo de cacao que se produce, la incidencia de plagas y enfermedades, el cambio climático y la autoincompatibilidad que presenta la mayoría de los genotipos (Palencia, G. *et al.* 2006). Esta última amenaza está relacionada con la introducción de materiales provenientes del extranjero que pueden hibridarse con el cacao nativo y llegar a ocasionar un fenómeno conocido como erosión genética (Guerrero, 2004). Esto afecta las características organolépticas que distinguen al cacao guatemalteco que le permiten posicionarse en mercados selectos que demandan cacao fino de aroma.

Por esto es importante conocer las características botánicas, agronómicas, genéticas y organolépticas del tipo de cacao que se produce y asegurar la conservación y accesibilidad de este material. En otras especies vegetales se ha optado por los bancos de semillas, sin embargo, en el caso de cacao deben buscarse otras estrategias, debido a que su semilla es recalcitrante y pierde su viabilidad al ser almacenada por largos períodos de tiempo. Las alternativas son el cultivo *in vitro* de cacao que permite conservar a mediano plazo y presenta la ventaja de producir materiales libres de enfermedades; y el establecimiento de jardines clonales para conservación en campo. (Wickramasuriva y Dunwell 2017).

Los jardines clonales son plantaciones de alta densidad con manejo específico y bien controlado cuyo objetivo es la reproducción de yemas de material vegetal genéticamente seleccionadas, que garanticen una alta producción, calidad del material producido, adaptabilidad a las condiciones

agroecológicas del medio y/o resistencia a enfermedades (ASOHECA 2009). En estos jardines se siembran los clones clasificados según su calidad, rendimiento y tolerancia a enfermedades. La nutrición de las plantas es uno de los aspectos más importantes en el manejo del jardín clonal. Los regímenes de fertilización de plantas, el control de malezas y control de plagas con un manejo integrado y plaguicidas orgánicos preferentemente, son los aspectos que hay que tomar en cuenta principalmente. El registro de la producción clonal es otro de los aspectos importantes para determinar la productividad del sistema en caso de anomalías en el manejo o de la necesidad de producir material de forma intensiva destinado a los campos de producción (Badilla y Murillo, 2005). Además, deben tener buena sombra y sistemas de riego adecuados. A través de los jardines clonales se provee a los cacaoteros material con garantía de calidad, sanidad y pureza genética. Se produce tanto varetas para injertos como semillas para patrón. Es importante tener un plano del campo y marcados los árboles con un material durable e identificación legible para evitar confusiones (Palencia *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Proporción de las exportaciones por país clasificadas como cacao fino o aroma.

País de América Latina	Proporción (%)
Belice	50
Bolivia	100
Colombia	95
Costa Rica	100
Dominica	100
República Dominicana	40
Ecuador	75
Granada	100
Guatemala	50
Honduras	50
Jamaica	95
México	100
Nicaragua	100
Panamá	50
Perú	75
Saint Lucía	100
Trinidad y Tobago	100
Venezuela	100

Fuente: Tapia (2018)



Figura 1. Panorámica de los patrones utilizados para los injertos de cacao.



Figura 2. Injertos realizados para los jardines clonales.

Según el Plan Estratégico de la Agro-cadena del Cacao en Guatemala (MAGA 2014, Agro-cadena de cacao de Guatemala 2016), la disponibilidad de material genético mejorado es limitada, los sectores productivos aun están en proceso de integración y el uso de tecnologías está restringido a un pequeño sector. Por esto, uno de los objetivos del “Programa integral para el incremento de la calidad, productividad y sostenibilidad del sistema cacao en el norte de Guatemala” fue el diseño de jardines clonales en lugares clave.

Como una estrategia para conservar los materiales genéticos caracterizados durante la ejecución del proyecto, se realizó la selección de 44 árboles élite, representativos de la región y con características morfológicas y genéticas del cacao

acriollado demandado en el mercado internacional. La selección de los materiales se realizó en conjunto con los productores que acopian su cacao en Fundalachuá, APIDIP y APRODERK y se tomaron como base los criterios de índice de grano, índice de mazorca, características organolépticas y resistencia a enfermedades, las últimas dos características de acuerdo con las observaciones de cada productor.

Para conservar el material nativo, se diseñó un jardín clonal y se replicó en tres ubicaciones. Estará localizado en el Campus Sur de la Universidad del Valle de Guatemala (original) y en Lachuá, Cahabón y Polochic, las réplicas. Se seleccionaron los genotipos de cacao ICM67 y UF613 para ser utilizados como patrones (Figura 1), ya que presentan resistencia moderada a enfermedades como la moniliasis del

cacao, mazorca negra y mal del machete, causados por los hongos *Moniliophthora roreri*, *Phytophthora spp.* y *Ceratocystis cacaofunesta*, respectivamente (FHIA, 1995). Se realizó la colecta de varetas de los árboles seleccionados en plantaciones de productores asociados a los centros de acopio de KATBALPOM, ASOLSEÑOR y ASODIRP en Lachuá, ADEMAYACH, APIDIP y APRODERK en Cahabón y APODIP en Polochic.

Los injertos de cada genotipo se realizaron en triplicado para cada jardín clonal. Los materiales que se ubicarán en Alta Verapaz se injertaron en el vivero de la asociación APODIP,

en donde permanecerán por tres meses antes de ser trasladados para el establecimiento en campo (Figura 2).

Los árboles élite ubicados en los jardines clonales podrán usarse como material vegetal disponible para el establecimiento de nuevas plantaciones, reposición de las ya existentes, para estudios enfocados en caracterizar la resistencia a enfermedades de los genotipos, su productividad, auto e inter-incompatibilidad, embriogénesis somática, así como el desarrollo de programas de mejoramiento genético del cacao guatemalteco.

AGRADECIMIENTOS

A los productores de cacao y presidentes de las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, APIDIP, APODIP y APRODERK por colaborar con otorgar sus materiales para la realización de los jardines clonales. A la asociación APODIP por otorgar su vivero y personal para el cuidado de los materiales injertados. También agradecemos al personal del CEEA Edwin de León, Donovan Gómez, Josué Bocel, Edwinth Rodríguez y Harvey Pacay por apoyar las actividades de colecta y transporte de vareta y patrones. A la Inga. María Fernanda Rivera por apoyar con la producción y mantenimiento de los patrones y materiales injertados para el jardín clonal de Campus Sur UVG y al IICA por apoyar la coordinación y seguimiento del establecimiento de estos bancos de germoplasma tan importantes para conservar los materiales promisorios de cacao de Alta Verapaz.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIIA) (Contrato IICA-CRIIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Agro-Cadena de Cacao de Guatemala (2016). Plan Estratégico de la Agro-Cadena de Cacao de Guatemala 2016-2025. Guatemala. 94pp.
- Aroche, K. (2021). (7 de Julio de 2021). El origen del cacao. Cultura Guatemala. Disponible en: <https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/general/el-origen-del-cacao-en-guatemala/>.
- Arvelo, M.A., González, D., Maroto, S., Delgado, T., y Montoya, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas en Latinoamérica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José, Costa Rica.
- ASOHECA. (2009). Ficha técnica para el establecimiento y manejo de jardines clonales de caucho natural. Asociación de reforestadores y cultivadores de caucho de Caquetá -ASOHECA- Disponible en: <http://www.asoheca.org/imagenes/Fichastecnicas/FICHA%20TECNICA%20PARA%20EL%20ESTABLECIMIENTO%20Y%20MANEJO%20DE%20JARDINES%20CLONALES%20DE%20CAUCHO%20NATURAL.pdf>
- Badilla, Y. y Murillo, O. (2005). Manejo de jardines clonales. Kurú: Revista forestal Costa Rica. 2(6):1-4.
- Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Saenz, Y., Kent, J., Vilchez, S., Villota, A., Martínez, C. y Somarriba, E. (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. *Agroforest Syst.* 88:957-981.
- Cuatrecasas, J. (1964). Cacao and its allies: A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. *Contr. U.S. Natl. Herb.* 35: 379-614.
- FHIA. (2012). La moniliasis del cacao, el enemigo a vencer. Programa de Cacao y Agroforestería. Disponible en: http://www.fhia.org/hn/descargas/informes_tecnicos/inf_Programa_de_Cacao_y_Agroforesteria-1995.pdf
- Guerrero, E.M. (2004). Erosión genética de la biodiversidad agrícola. Disponible en: https://www.sai.com.ar/metodologia/rahycs/rahycs_v2_n1_06.htm.
- INFOCOMM. (2016). Market information in the commodities area. Disponible en: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/INFOCOMM_cp02_Cocoa_fr.pdf.
- MINECO. 2015. MINECO. (2015). Análisis de la situación actual y diagnóstico de la cadena de valor de cacao. Ministerio de Economía, MINECO. Guatemala
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. (2014). Perfil Comercial del Cacao. Guatemala 9 pp.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. (2017). El Agro en Cifras 2016.
- Palencia, G., R. Gómez S y O. Guiza P. (2006). Cacao: Manejo de jardines clonales. Corpoica EE. La Suiza, Bucaramanga, Colombia. Pp.6.
- Parker, T. (2008). *Trees of Guatemala*. The Tree Press, Texas. 1033 pp.
- Sánchez, V., Zambrano, J., e Iglesias, C. (2019). La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. 99 pp.
- Stevens, W.D., Ulloa, C., Pool, A. y Montiel, M. (2001). *Flora de Nicaragua*. Missouri Botanical Garden Press, Missouri. 2666 pp.
- Tapia, E. (2018). Actividades en América Latina y el Caribe de la Organización Internacional del Cacao, ICCO. En: Taller Plataforma multiagencia de cacao para América Latina y el Caribe "Cacao 2030-2050". Taller llevado a cabo en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, Quevedo, Ecuador.
- The Plant List. (2013). Version 1.1. Disponible en: <http://www.theplantlist.org/> (con acceso en enero 2022).
- Trópicos. (2018). Missouri Botanical Garden. Disponible en: <http://www.tropicos.org> (con acceso en enero 2022).
- Wickramasuriya, A. y Dunwell, J. (2018). Cacao biotechnology: current status and future prospects. *Plant Biotechnology Journal* 16:4-17.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS BAJO PRODUCCIÓN DE CACAO EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA

Rolando Cifuentes Velásquez
rcifuen@uvg.edu.gt,

Isabel Alonzo Flores
ialonzo@uvg.edu.gt

Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios - CEEA

RESUMEN

El cacao es un cultivo ancestral de importancia económica y social para Guatemala. El desarrollo tecnológico del proceso productivo es deficiente y necesita mejorarse. El objetivo de este estudio fue conocer las propiedades físicas y químicas de los suelos cacaoteros de la región norte del país, a fin de generar las bases para el diseño de programas de nutrición vegetal. Se realizó un levantamiento de información sobre el sistema de producción y se recolectaron 233 muestras de suelo. Las muestras se agruparon según la subregión y el sistema agroforestal (cacao bajo sombra, CBS y cacao al sol, CS). Se determinó que los parámetros físicos y químicos del suelo varían principalmente entre subregiones. El efecto del sistema agroforestal fue muy bajo. Los sitios son de textura fina, predominando los suelos arcillosos (67%) y franco arcillosos (20%). En promedio, el valor de los parámetros físicos determinados fue CC $33.9 \pm 9.1\%$, PMP $24.2 \pm 8.9\%$, HA $9.8 \pm 2.6\%$, P $60.6 \pm 1.1\%$ y Da 1.0 ± 0.0 g / cc. El valor medio de los parámetros químicos fue pH 5.87 ± 0.69 , CE 0.08 ± 0.07 dS/m, MO $5.79 \pm 1.81\%$, CICE 19.7 ± 13.7 Cmolc/kg, Sat. Al^{3+} $5.54 \pm 10.55\%$, P 10 ± 21.0 mg/kg, K 0.45 ± 0.40 Cmol/kg, Ca 14.4 ± 10.9 Cmol/kg, Mg 4.44 ± 3.71 Cmol/kg, S 5.93 ± 13.67 mg/kg, Cu 3.47 ± 1.4 mg/kg, Fe 151.4 ± 60.5 mg/kg, Mn 87.0 ± 82.5 mg/kg, Zn 4.77 ± 6.51 mg/kg, B 0.27 ± 0.22 m/kg, Ca/K 36.69 ± 31.92 , Mg/K 10.63 ± 7.77 , Ca/Mg 4.06 ± 2.99 y (Ca + Mg)/K 47.33 ± 36.64 . La capacidad de los suelos para fijar P fue $54.9 \pm 12.0\%$ y la de K $57.3 \pm 11.4\%$. Los parámetros limitantes del suelo en la mayoría de las subregiones son N, P, K, S, B y en algunos casos los valores de pH del suelo. Se detectó una saturación de Al^{3+} superior al 20% en el 10% de los sitios debido al bajo valor de pH del suelo (pH < 5.0). Se sugiere diseñar programas de nutrición vegetal a nivel de sub-región. Los resultados de este estudio pueden ser útiles para el manejo nutricional del cultivo en la región norte y así contribuir a incrementar la productividad del cultivo y la calidad del producto a exportar.

PALABRAS CLAVE: Cacao, fertilidad de suelos, propiedades físicas y químicas, nutrición de las plantas, sistema agroforestal.

ABSTRACT

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE SOILS CROPPED WITH COCOA IN THE NORTHERN REGION OF GUATEMALA

Cocoa is an ancestral crop of economic and social importance for Guatemala. The technological development of the production process is deficient and needs to be improved. The objective of this study was to know the physical and chemical properties of the cocoa-producing soils of the northern region of the country, to generate the bases for the design of plant nutrition programs. A survey on the production system was carried out and 233 soil samples were collected. The samples were

grouped according to the sub-region and the agroforestry system (cocoa under shade, CBS and cocoa under full sun, CS). It was determined that the physical and chemical parameters of the soil vary mainly amongst sub-regions. The effect of the agroforestry system was very low. The sites are fine textured, prevailing the clayey (67%) and clay loam (20%) soils. On the average, the value of the physical parameters determined was FC $33.9 \pm 9.1\%$, PWP $24.2 \pm 8.9\%$, AW $9.8 \pm 2.6\%$, P $60.6 \pm 1.1\%$ and Db 1.0 ± 0.0 g / cc. The mean value of the soil chemical parameters was pH 5.87 ± 0.69 , EC 0.08 ± 0.07 dS/m, OM $5.79 \pm 1.81\%$, CECe 19.7 ± 13.7 Cmolc/kg, Sat. Al^{3+} $5.54 \pm 10.55\%$, P 10 ± 21.0 mg/kg, K 0.45 ± 0.40 Cmol/kg, Ca 14.4 ± 10.9 Cmol/kg, Mg 4.44 ± 3.71 Cmol/kg, S 5.93 ± 13.67 mg/kg, Cu 3.47 ± 1.4 mg/kg, Fe 151.4 ± 60.5 mg/kg, Mn 87.0 ± 82.5 mg/kg, Zn 4.77 ± 6.51 mg/kg, B 0.27 ± 0.22 mg/kg, Ca/K 36.69 ± 31.92 , Mg/K 10.63 ± 7.77 , Ca/Mg 4.06 ± 2.99 and (Ca + Mg)/K 47.33 ± 36.64 . The capacity of the soils to fix P was $54.9 \pm 12.0\%$ and that of K $57.3 \pm 11.4\%$. The limiting soil parameters in most sub-regions are N, P, K, S and B and in some cases the soil pH values. A saturation of Al^{3+} over 20% was detected in 10% of the sites due to the low soil pH value (pH <5.0). To develop plant nutrition programs at the sub-region level is suggested. The results of this study may be useful for the nutritional management of the crop in the northern region and thus contribute to increase crop productivity and the quality of the product to be exported.

KEY WORDS: Cocoa, soil fertility, physical and chemical properties, plant nutrition, agroforestry.

INTRODUCCIÓN

La producción de cacao en Guatemala la realizan en su mayoría pequeños y medianos agricultores de la zona norte y de la costa sur del país, quienes lo cultivan como una actividad complementaria al cultivo de granos básicos.

Los departamentos con mayor producción de cacao (MAGA, 2016) son Alta Verapaz (31%), Suchitepéquez (31%) y San Marcos (25%), que en conjunto representan el 87% de la producción nacional. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en el país se cultivan alrededor de 4,340 hectáreas (MAGA, 2016).

La producción total de Guatemala se estima en aproximadamente 11,600 toneladas de cacao fresco (unas 2,000 toneladas en base seca por año) (MAGA, 2016), de las cuales más del 95% se consumen a nivel local (De León, 2017; Bay, 2011) y se exporta una pequeña cantidad.

La balanza comercial del país es negativa ya que se importa (aproximadamente 1,600 TM en 2016) más cacao del que se exporta (73 TM en 2016) (MINECO, 2015). Los principales proveedores de cacao a Guatemala son Nicaragua y Honduras. La importación de cacao es debido al crecimiento de la industria chocolatera y a la poca oferta nacional. Esto constituye un reto a fin de ampliar las zonas de producción y de esa forma contribuir al desarrollo rural (MAGA, 2014).

El cacao genera alrededor de 280 mil jornales/año (equivalente a 990 empleos permanentes al año), un 30%

de los cuales son mujeres (MINECO, 2015). Tomando en cuenta que Guatemala no es capaz de cubrir su propia demanda, ya que importa más de 1 mil toneladas de cacao al año, el MAGA (2014) sugiere ampliar las zonas de producción y de esa forma contribuir al desarrollo rural.

Debido a la ausencia de una organización dedicada al desarrollo tecnológico del sistema cacao (producción y procesamiento) a nivel nacional, el sistema no ha evolucionado significativamente a pesar de ser un cultivo ancestral y que el producto es de importancia mundial. Esto a pesar de que Guatemala participa en el mercado internacional por calidad y no por cantidad.

Se reporta que la productividad en las plantaciones de cacao en Alta Verapaz varía de 250 a 300 kg de cacao seco/ha/año (Cerdea *et al.*, 2014; MINECO, 2015) mientras que la media nacional es de aproximadamente 450 kg (0.45 t) de grano seco/ha. Esos valores son superados en un 65% por los reportes de Nicaragua (Cerdea *et al.*, 2014). Sin embargo, hay reportes en otros países en donde la productividad está entre 1,500 a 3,000 kg de grano seco/ha. Esto es un desafío para nuestro medio porque una manera de apoyar a los miles de familias de los pequeños y medianos productores que participan en la cadena de valor del cacao es mediante el incremento de la productividad y calidad.

En la región norte participan unas 3 mil familias productoras (MINECO, 2015) que conviven en una región habitada por

más de 3.5 millones de personas. Con excepción de Izabal, el resto de los departamentos de la zona norte presentan altos niveles de pobreza (INE-BM/LAC, s.f.), desnutrición crónica (PMA-SESAN, 2012), inseguridad alimentaria nutricional (MAGA-SESAN, 2011) y analfabetismo (INE, s.f.). Para esta región, el cacao representa una alternativa económica de gran valor.

Las unidades productivas tienen un área de 0.25 a 0.74 hectáreas. Se estiman unas 2,700 unidades productivas (familias) y un área de 1,940 hectáreas (MINECO, 2015). Las principales áreas de producción incluyen las regiones de Lachuá, Polochic, Lanquín y Cahabón en Alta Verapaz, así como Quiché, Izabal y una parte de Petén.

En general, se considera que el cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, de textura media (suelos francos) y de buen drenaje. En Latinoamérica se le cultiva en ambientes que varían en altitud (0-1400 msnm), clima (temperatura media anual 20 a 30°C; 1,500 a 3,500 mm de lluvia al año; humedad relativa de 50 a 85%) y tipo de suelo (prevalecen suelos francos con pH 4 a 8) (Arvelo *et al.*, 2017).

Moreno (1965), según lo indicado por los autores originales, reporta que el cacao prefiere suelos con pH ligeramente ácido (6.4 a 6.6) y que no debe cultivarse en suelos con pH inferior a 5.5 o arriba de 7. Además, indica que Harvey y Simmons, citados por Moreno (1965), estimaron que una producción de 1 t de cacao extrae 45-8-64 kg de N-P₂O₅-K₂O por hectárea, respectivamente. En su estudio, Moreno (1965) reporta un incremento en la productividad de cacao con la aplicación de nitrógeno y poca o no respuesta a la aplicación de P y K. Utilizó una dosis de 60, 112 y 165 kg de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

De acuerdo con información citada por Uribe *et al.* (1998), de experiencias de Brasil y África, la mayor respuesta a la fertilización se obtiene en cacao sembrado a pleno sol. La respuesta a la fertilización en cacao bajo sombra es menor. Sin embargo, si la sombra se suprime la productividad de la plantación se reduce. En general consideran que la respuesta a la fertilización es a largo plazo. De acuerdo con Bertsch (2003), para producir una tonelada de grano seco con la cosecha se necesitan 36-5-39 kg de NPK. Esto es equivalente a 36-11.4-47 kg de N-P₂O₅-K₂O.

Fontes *et al.* (2014) estudiaron las reservas de nutrientes en la hojarasca de plantas de sombra y plantas de cacao en Brasil. Indican que la hojarasca acumulada y las cáscaras de cacao pueden ser fuentes importantes de nutrientes a tomar en cuenta para el desarrollo de recomendaciones de fertilización encaminadas a incrementar la eficiencia del uso de fertilizantes y mantener la fertilidad de los sistemas agroforestales de cacao.

Snoeck *et al.* (2016) publicaron un artículo de revisión sobre la fertilización del cacao. Revisaron experiencias de diferentes países productores de cacao. Abordaron el tema de la sombra, abonos orgánicos, análisis de suelo, análisis foliar, enfoques de los programas de fertilización entre otros. En general concluyen que la fertilización es un factor importante en la producción sostenible de cacao, particularmente en procesos de producción intensiva. Indican además que varios de los informes revisados reportan bajos niveles de productividad de cacao bajo sombra en comparación con cacao al sol debido al incremento en la tasa de fotosíntesis que presenta el cacao a pleno sol. Si el cacao a pleno sol no se fertiliza, la productividad se reduce significativamente.

Los programas de fertilización química, orgánica o de la combinación de ambas no pueden ser generales para todas las regiones ya que el suelo y las condiciones de clima son diferentes. Una vez las deficiencias de nutrientes sean corregidas, se debe regresar al suelo lo extraído con la cosecha de los frutos a fin de mantener un sistema de producción sostenible.

Arvelo *et al.* (2017) recomiendan el uso de prácticas de manejo que minimizan la pérdida de nutrientes, pero que tiendan a mejorar el equilibrio de nutrientes en el suelo. Sugieren aplicar fertilizantes, orgánicos o inorgánicos, apropiados con el fin de maximizar beneficios y minimizar pérdidas. En algunos casos se recomienda el encalado, que resulta crítico para la buena absorción de nutrientes en suelos muy ácidos.

En Guatemala, las plantaciones de cacao están localizadas en condiciones de suelo altamente variables. Incluye suelos de textura pesada (arcillosos), áreas erosionadas y arenas volcánicas recién formadas, con valores de pH que van de 4 a 7 (ANACAFE, s.f.). El clima (precipitación, temperatura y humedad relativa), altitud y topografía también varían grandemente. Esto es válido tanto para la costa sur como para la región norte. Los estudios sobre fertilización del cacao en el país son prácticamente inexistentes. El país no cuenta con un centro de investigación para cacao ya sea con fondos públicos o privados.

A nivel de la región norte, la productividad reportada es de aproximadamente 250 kg de grano seco por hectárea. Se reporta que en el área de Ixcán (Quiché), las plantaciones están principalmente a pleno sol y son plantaciones jóvenes. En el caso de Alta Verapaz, la mayor parte de las plantaciones están bajo sombra. Utilizan sombra de leguminosas y bosque natural. Mantienen 75% de sombra en plantaciones jóvenes y en plantas adultas mantienen 25%. Sin embargo, el manejo de la sombra, cultivar, edad de las plantaciones y su manejo es altamente variable.

Los últimos estudios de suelos a nivel de región es la clasificación de suelos reportada por Simmons *et al.* (1959)

hace más de 50 años. Utilizando los criterios de la taxonomía de suelos en la clasificación de Simmons, el MAGA desarrolló una versión preliminar, sujeta a verificación de campo, de taxonomía de suelos a nivel de país a escala 1:2,000,000. Los principales órdenes taxonómicos identificados para la parte norte incluyen Entisoles, Inceptisoles, Molisoles y Ultisoles (MAGA, 2005).

Los Entisoles son suelos minerales recientes y poco desarrollados que no tienen horizontes subsuperficiales distintivos; Inceptisoles, son suelos medianamente desarrollados, con uno o más horizontes; Molisoles, son suelos minerales que tienen un epipedón mólico bastante oscuro que se desarrolla en ambientes bajo pastizales o regiones con cobertura forestal de hoja ancha y una saturación de bases de por lo menos 50% determinada a pH 7; Ultisoles,

son suelos fuertemente ácidos y bajo contenido de bases, suelos tropicales y sub-tropicales bastante intemperizados, pueden presentar un horizonte E (zona de lavado) y acumulación de arcilla en el horizonte B (Boul *et al.*, 1983).

La investigación sobre el tema de nutrición en cacao en la región norte es prioritaria. En principio se debe conocer el estado de la fertilidad de los suelos en donde llevan a cabo la producción de cacao los pequeños y medianos productores de la región. Se asume que los grandes productores llevan a cabo la producción con un buen manejo y nivel tecnológico.

Con este estudio se buscó conocer las propiedades físicas y químicas de los suelos bajo producción de cacao de la región norte, a fin de construir las bases para el diseño de programas de nutrición para un adecuado manejo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en las sub-regiones de Lachuá, Polochic, Lanquín y Cahabón ubicadas en el departamento de Alta Verapaz. Incluyó los municipios más productores de cacao de la región.

En la región de Lachuá se trabajó juntamente con las asociaciones Katbalpom, Asodirp y Asolsenor. En Cahabón se trabajó con las asociaciones Ademayach y Apidip. En Lanquín se trabajó con un grupo de productores que a la fecha no están legalmente asociados y con la empresa Chocolates Tuhlux. En Polochic se incluyó la asociación Apodip.

Adicional al territorio, también se incluyó como variable el sistema agroforestal, cacao bajo sombra (CBS) y cacao al sol (CS) (Figura 1).

Levantamiento de información de los sitios de producción

Se elaboró un formulario para la colecta de información de cada uno de los sitios tomados en cuenta para el muestreo de suelo. Aparte de la información del productor, se incluyó información relacionada con la ubicación del sitio (coordenadas y altitud), la plantación (cultivar de cardamomo, edad de la plantación y densidad de siembra), manejo (sombra, fertilización y control fitosanitario) y productividad.

La información se recopiló a través de la aplicación Survey123 de ArcGis en teléfonos móviles, lo cual permitió desde la plataforma ver el avance de la información en tiempo real. Previo a iniciar con la colecta de datos, se capacitó a los técnicos para el uso de la aplicación, así como para la colecta de muestras de suelo.

Colecta de muestras de suelo

La colecta de las muestras de suelo fue dirigida hacia plantaciones de las asociaciones que formaron parte del estudio. Los sitios seleccionados fueron indicados por los miembros de la asociación.

El muestreo dentro de cada sitio se realizó siguiendo un patrón en zig - zag, a fin de colectar las sub-muestras de diferentes partes del sitio. Las muestras fueron colectadas a la profundidad de 0 a 20 cm. El material se mezcló adecuadamente para formar una muestra compuesta. Se apartaron 5 lbs de suelo para su transporte al laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala.

Los análisis realizados incluyeron parámetros de fertilidad de suelos como pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICE), saturación de bases (K, Ca y Mg) y saturación de Al^{3+} , así

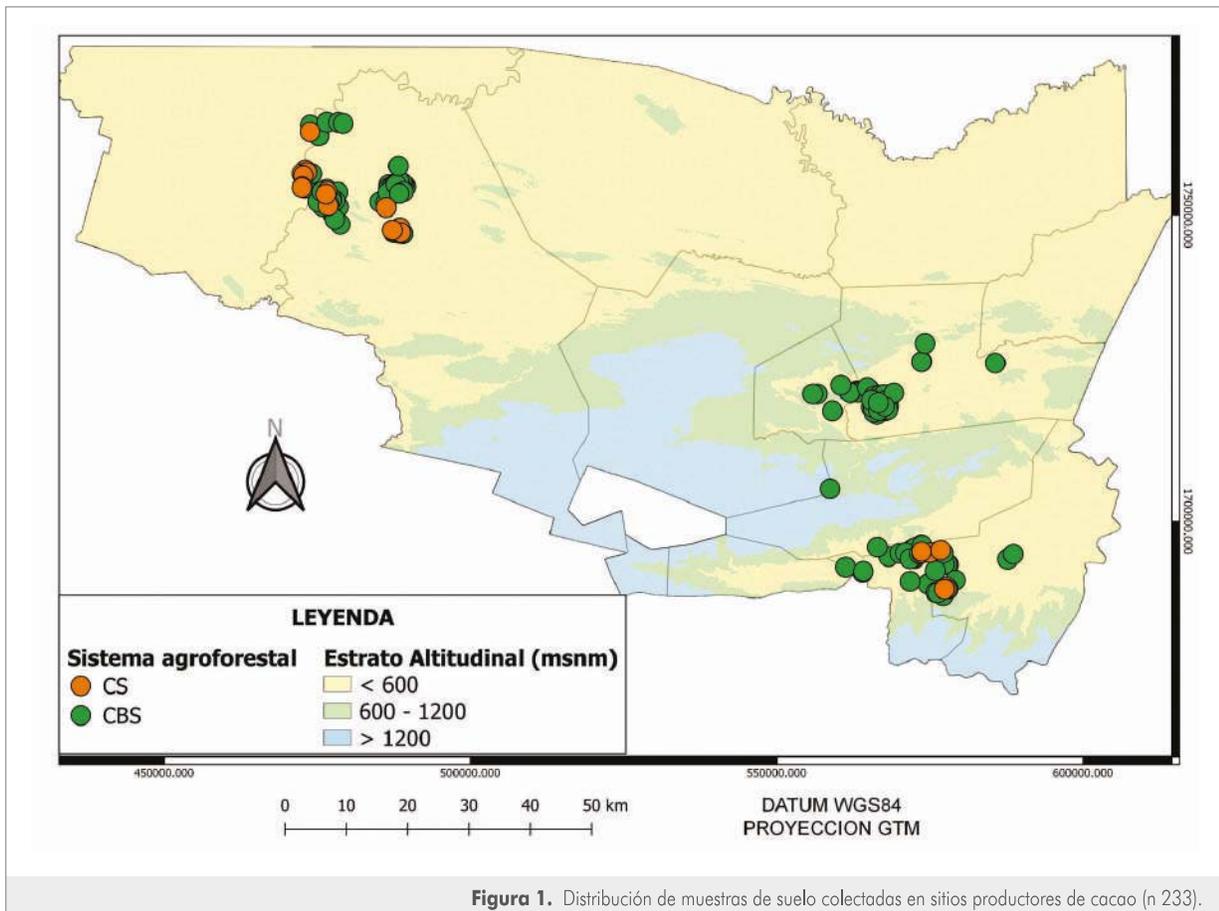


Figura 1. Distribución de muestras de suelo colectadas en sitios productores de cacao (n 233).

como el contenido de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn y Zn. A un menor número de muestras también se les determinó la capacidad de fijación química de P y K (n 20); la clase textural; el porcentaje de la fracción de arena, limo y arcilla; densidad aparente (Da) y porosidad del suelo (P) (n 177), así como las constantes de humedad, capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP) (n 110).

Análisis de laboratorio

La determinación de los parámetros físicos y químicos del suelo se realizó en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas de Anacafé (Analab).

El análisis de la textura del suelo se realizó por el método de Bouyucos, la densidad aparente por el método de la probeta y las constantes de humedad por el método de la olla de presión (CC a 1/3 bar) y la membrana de presión (PMP a 15 bar) (Carter y Gregorich, 2008).

La determinación de pH se realizó a partir de una suspensión de suelo en agua en una relación 1:2.5 (v/v) (ISO 10390); la CE se determinó de la suspensión de suelo en agua (1:2.5

v/v); la MO se determinó por digestión húmeda y determinación por volumetría; la acidez intercambiable ($H+Al^{3+}$) por extracción con KCl 1N y determinación por volumetría; B y S por medio del método de fosfato diácido de calcio (Díaz y Hunter, 1978) y posterior determinación por Espectroscopía de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP/OES) (Soil and Plant Analysis Council, 1999). La extracción de los elementos P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn se hizo utilizando la solución de Melich III (Rayment y Lyons, 2011) y determinación por ICP/OES.

La CICE se realizó por sumatoria de cationes ($K+Ca+Mg+Al^{3+}$) y los porcentajes de saturación de cada uno de los elementos en el complejo de intercambio se estimó en relación con la CICE.

La capacidad media de fijación de P y K se realizó siguiendo la metodología propuesta por Hunter (1980).

El porcentaje de humedad aprovechable (HA) fue estimado sustrayendo el valor de PMP del porcentaje de CC ($HA=CC-PMP$). El porcentaje de porosidad del suelo (P) fue estimado de la siguiente manera: $P=(1-(Da/2.65)) \times 100$.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat, versión 2016e, (www.infostat.com.ar). Los factores evaluados

en los análisis de suelo incluyeron el efecto de la sub-región y el sistema agroforestal. La discriminación entre medias se hizo de acuerdo con la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de cacao en los sitios incluidos en este estudio se desarrolla en un rango altitudinal de 20 a 660 msnm, y una altitud media de 281 msnm. La edad de las plantaciones es altamente variable con una edad media de 13 años. Hay regiones en donde las plantaciones tienen más de 30 años.

La producción se desarrolla como parte de un sistema agroforestal (CBS 87% y CS 13%), escasa aplicación de nutrientes para el manejo de la nutrición del cultivo (92% no fertiliza), deficiente control fitosanitario y baja productividad (0.26 t/ha de grano seco en 2017 y 0.31 t/ha en 2018).

Las unidades de producción van de 0.02 a 5.6 ha, con un promedio de 1 ha por sitio.

Propiedades físicas del suelo

La clase textural para cada una de las sub-regiones se presenta en el Cuadro 1. Las principales clases texturales fueron suelos arcillosos (67.2% de los sitios) y franco arcillosos (19.8% de los sitios). Esto significa que el 87% de los sitios presentan una textura fina.

Cuadro 1. Clases texturales presentes en suelos bajo producción de cacao (n 177).

Sub-región	Distribución (%) de las clases texturales determinadas en sitios productores de cacao						
	n	Arcillo Limoso	Franco Arcillo Limoso	Arcilloso	Franco	Franco Arcilloso	Franco Arcillo Arenoso
Cahabón	75	0,56	1,14	24,29	1,13	13,56	1,69
Lachua	66	0,00	0,00	33,90	0,57	2,26	0,56
Polochic	36	0,00	1,69	9,05	3,96	3,95	1,69
	177	0,56	2,83	67,24	5,66	19,77	3,94

En la Figura 2 se presenta la distribución del contenido de arena, limo y arcilla de los diferentes sitios. Alrededor del 70% de los sitios tiene un contenido de arcilla entre 40 a 85%; el 84% de los sitios tiene un contenido de limo entre

5 a 35% y el contenido de arena del 75% de los suelos está entre 5 a 31%. Es evidente que la parte física y química de esos suelos depende del contenido de arcilla.

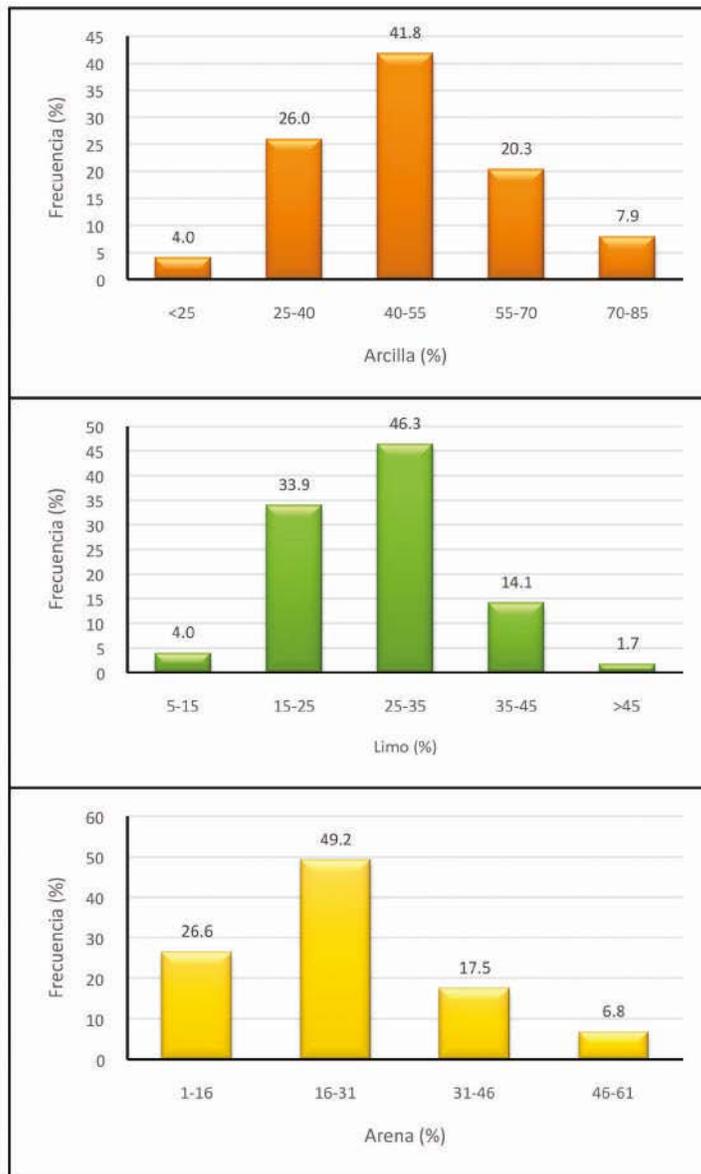


Figura 2. Distribución de la fracción de arena, limo y arcilla en sitios productores de cacao (n 177).

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre sub-regiones para casi todas las variables físicas analizadas (Cuadro 2). La sub-región de Lachuá presentó el mayor contenido de arcilla y el menor contenido de arena, en tanto que la sub-región del Polochic presentó el menor contenido de arcilla y el mayor contenido de arena. Los valores de HA fueron más altos en las sub-regiones de Lachuá y Polochic en comparación a la sub-región de Cahabón. Los valores de porosidad del suelo fueron estadísticamente iguales en las tres sub-regiones ($p > 0.05$).

No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los sistemas CBS y CS para ninguna de las variables físicas analizadas. Esto sugiere que los parámetros físicos bajo estudio dependieron más de las características del territorio que del sistema agroforestal. Para ver efectos sobre algunos de esos parámetros, como los valores de las constantes de humedad, D_a y P , posiblemente se necesiten períodos de tiempo más prolongados.

Cuadro 2. Distribución de los parámetros¹ físicos del suelo agrupados por sub-región y sistema agroforestal.

Sub-región	Arcilla	Limo	Arena	CC	PMP	HA	P	Da
				%	g/cc			
Lachuá	59.0 a	23.6 c	17.5 b	44.4 a	34.0 a	10.4 a	61.6 a	0.99 b
Cahabón	43.8 b	29.3 b	26.8 a	28.7 a	21.8 b	7.0 b	60.9 a	1.02 a
Polochic	37.5 c	32.3 a	30.2 a	28.7 b	16.7 b	12.0 a	59.4 a	1.03 a
Sistema								
CBS	48.3 a	27.8 a	23.9 a	37.5 a	27.3 a	10.2 a	60.7 a	1.01 a
CS	48.2 a	26.9 a	24.9 a	36.9 a	25.9 a	11.1 a	61.8 a	0.99 a

¹ Valores con la misma letra dentro de cada parámetro (columna) son estadísticamente iguales ($p > 0.05$).

Desde el punto de vista físico, se considera que el cacao prefiere suelos profundos, con textura media y buen drenaje. Sin embargo, la mayor parte de los sitios productores de cacao de la región norte tienen una textura fina (67% son arcillosos y 20% son franco-arcillosos), con un drenaje menos eficiente que el de los suelos francos. Los valores de la región norte contrastan con los resultados de algunos sitios del sur-occidente del país en donde se reporta una textura franco arenosa y con base en la calculadora desarrollada por el USDA (USDA, 2021) se estima una CC de 21% y un valor de PMP de 10% (Sáenz, 2011).

De acuerdo con Arvelo *et al.* (2017), en Latinoamérica el cultivo de cacao prevalece en suelos francos con pH de 4 a 8. Sin embargo, reportes de algunas regiones como Tabasco, México indican que en suelos productores de cacao de esa región prevalece la textura arcillosa (Brito-Vega *et al.*, 2018).

La mayor parte de parámetros físicos del suelo están relacionados entre sí ($p < 0.05$) (Cuadro 3). Se determinó que la Da está inversamente relacionada con la CC ($p = 1.1E-07$; $r = -0.48$) y con el PMP ($p = 1.8E-09$; -0.53). Esto significa que a mayor Da, menor es el contenido de humedad del suelo a CC y a PMP. El valor de la HA no dependió del valor de la Da.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson (amarillo) y probabilidad¹ (verde) de la relación entre las variables físicas del suelo.

	CC	PMP	HA	Da	P	%_Arcilla	%_Limo	%_Arena
CC	1,00	0,00	2,1E-05	1,1E-07	4,1E-04	0,00	5,7E-05	0,00
PMP	0,93	1,00	0,67	1,8E-09	2,1E-04	0,00	1,9E-07	0,00
HA	0,39	0,04	1,00	0,74	0,72	0,66	0,08	0,17
Da	-0,48	-0,53	0,03	1,00	0,00	0,00	0,15	0,00
Po	0,33	0,35	0,03	-0,64	1,00	2,8E-07	0,48	2,8E-08
%_Arcilla	0,85	0,90	0,04	-0,51	0,37	1,00	0,00	0,00
%_Limo	-0,37	-0,47	0,17	0,11	-0,05	-0,51	1,00	0,88
%_Arena	-0,78	-0,80	-0,13	0,53	-0,40	-0,86	-0,01	1,00

¹ Valores de p igual o menor a 0.05 representan una relación estadísticamente significativa.

Los parámetros de humedad del suelo también están relacionados con la fracción de arena, limo y arcilla. Los parámetros D_a y los contenidos de arena, limo y arcilla pueden ser utilizados para estimar los valores de CC y PMP en suelos productores de cacao de la región mediante el desarrollo de un modelo de regresión múltiple.

Otros estudios han reportado estimaciones de la CC, el PMP y el HA con base en el valor de la D_a y el % de arena del suelo (Chicas et al., 2014).

El servicio de investigación agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (ARS-USDA por sus siglas en inglés) ha generado una serie de ecuaciones y una calculadora que permite estimar la D_a , los parámetros de humedad del suelo, la conductividad hidráulica y la clase textural entre otros. Estos valores son estimados a partir del porcentaje de arcilla y el porcentaje de arena del suelo, utilizando como modificadores los contenidos de materia orgánica, salinidad, pedregosidad y compactación del suelo (USDA, 2021).

Aplicando los valores promedio del Cuadro 2 a la calculadora del USDA, los parámetros estimados de CC y PMP para las sub-regiones de Lachuá, Cahabón y Polochic son 44.6 y 34.3%; 39.8 y 26.6%; 37.5 y 23.7%, respectivamente. Los valores estimados corresponden bien con los valores de CC y PMP de la sub-región de Lachuá, pero no a los de las otras dos sub-regiones. Se considera importante que a nivel local se pueda validar el uso de esa calculadora ya que, de existir una buena relación entre los parámetros estimados y los parámetros medidos, habría un ahorro importante en recursos y tiempo.

Distribución de los parámetros químicos del suelo

La distribución de los parámetros químicos de suelo se presenta en las Figuras 3 a 5.

El 84% de los suelos de la región productora de cacao van de ligera (pH 6.5) a fuertemente ácidos (pH < 5.5) (Figura 3a).

Considerando la relevancia del pH en la disponibilidad de nutrientes y acumulación de Al^{3+} en el complejo de intercambio del suelo, es importante indicar que aproximadamente el 31% de los suelos presentaron un valor de pH < 5.5. El 53% de las muestras está dentro del rango adecuado de pH recomendado para la mayoría de cultivos (pH 5.5 - 6.5), el 13% es relativamente neutro (pH 6.5 - 7.3) y el 4% es ligera a moderadamente básico (pH 7.4 a 8.5).

Algunos de los suelos con pH menor a 5.5 seguramente necesitarán medidas de corrección por acidez y Al^{3+} , y aquellos con pH básico posiblemente correspondan a sitios que han sido encalados a lo largo del tiempo.

El valor de la CE (Figura 3b) está por debajo del nivel adecuado en el 98% de las muestras. (rango adecuado 0.2 - 0.8 dS/m medido en una suspensión de suelo: agua en relación 1:2.5 v/v, respectivamente). Si bien es cierto que

estos suelos no tienen problemas de acumulación de sales, el nivel de sales constituido por el conjunto de minerales que están en la solución del suelo debe estar en un rango óptimo para la nutrición de las plantas. Posiblemente la falta de un manejo adecuado de la nutrición del cultivo mediante el uso de fertilizantes orgánicos o químicos puedan estar incidiendo en que el valor de la CE esté por debajo del rango óptimo. Esto unido a la lixiviación de las sales por el régimen de lluvia de la región. En la región norte aproximadamente el 92% de los productores no realiza la práctica de la fertilización.

El contenido de materia orgánica (Figura 3c) va de adecuado a alto para un 95% de los sitios (rango adecuado de MO 3 a 6%). El alto valor de MO en el suelo es deseable por su papel en la sostenibilidad de la fertilidad del suelo.

El 12% de los suelos tiene una CICE adecuada (Figura 3d), 35% presenta baja CICE y 53% tiene alta CICE (rango adecuado de CICE 10 a 15 Cmolc/kg). Usualmente, la CICE está asociada a los contenidos y tipo de arcilla y humus del suelo.

Debido a la acidez de los suelos, se ha iniciado un proceso de saturación de Al^{3+} en el complejo de intercambio. Es decir, que el Al^{3+} se ha empezado a acumular a expensas de las bases del suelo (Ca, Mg, K y Na). Aproximadamente el 10% de los sitios presenta una saturación de Al^{3+} arriba del 20% (rango adecuado a nivel general < 20%), por lo que deben ser corregidos con la aplicación de cal (Figura 3e).

El porcentaje de saturación de Al^{3+} varió de 0.1 a 65%. Los valores de saturación de Al^{3+} mayor al 20% están asociados a suelos con valores de pH menores a 5. El proceso de acidificación de los suelos y la pérdida de sus bases está ampliamente reportado en la literatura (Fassbender y Bornemisza, 1994; Bertsch, 1998).

Con relación a los macronutrientes P, K, Ca, Mg y S, en la Figura 4 se aprecia que el 94% de los sitios son deficientes de P (rango adecuado 30 - 75 mg/kg), el 18% es deficiente en K (rango adecuado 0.18 a 0.38 Cmol/kg), 26% es deficiente en Ca (rango adecuado 5 a 10 Cmol/kg), el 11% es deficiente en Mg (rango adecuado 0.82 a 2.08 Cmol/kg) y el 88% es deficiente en S (rango adecuado 10 - 100 mg/kg suelo).

La relación entre las bases del suelo se presenta en la Figura 5. Se aprecia un exceso de Ca relativo a K (Figura 4a) en un 59% de los sitios (rango adecuado Ca/K de 5 - 25), 43% presenta más Mg relativo a K (rango adecuado Mg/K de 2.5 a 10) (Figura 4b), 14% presenta más Ca relativo a Mg (rango adecuado 2 a 5) (Figura 4c) y 51% de los sitios presenta más Ca + Mg en su relación con K (rango adecuado 10 a 40) (Figura 4d).

De estos elementos, potasio es el elemento limitante por lo que hay que considerar su aplicación independientemente del nivel disponibilidad reportado por el laboratorio.

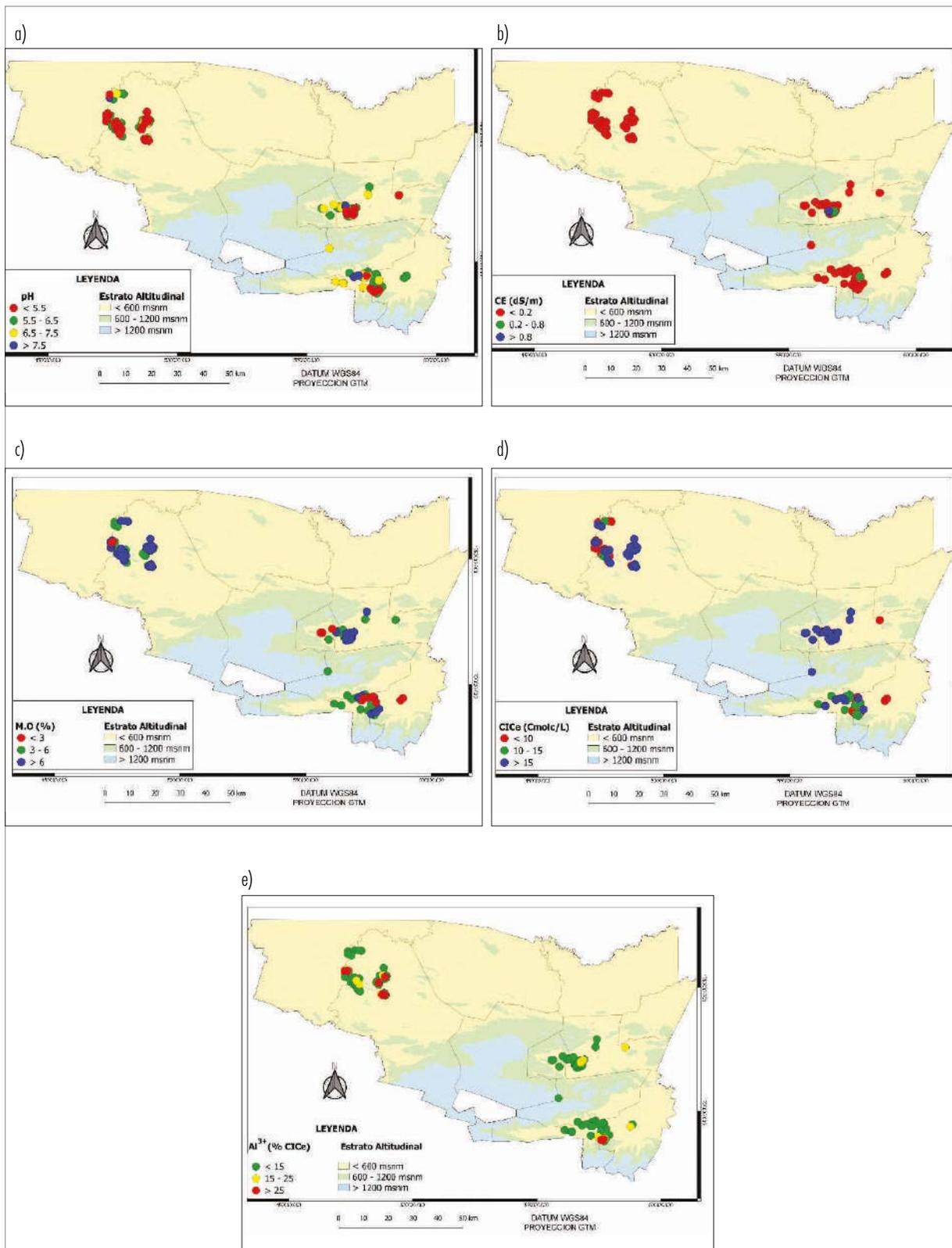


Figura 3. Distribución del pH (a), conductividad eléctrica (b), materia orgánica (c), CECe (d) y saturación de Al³⁺ (e) en sitios productores de cacao (n 233) de la región norte de Guatemala.

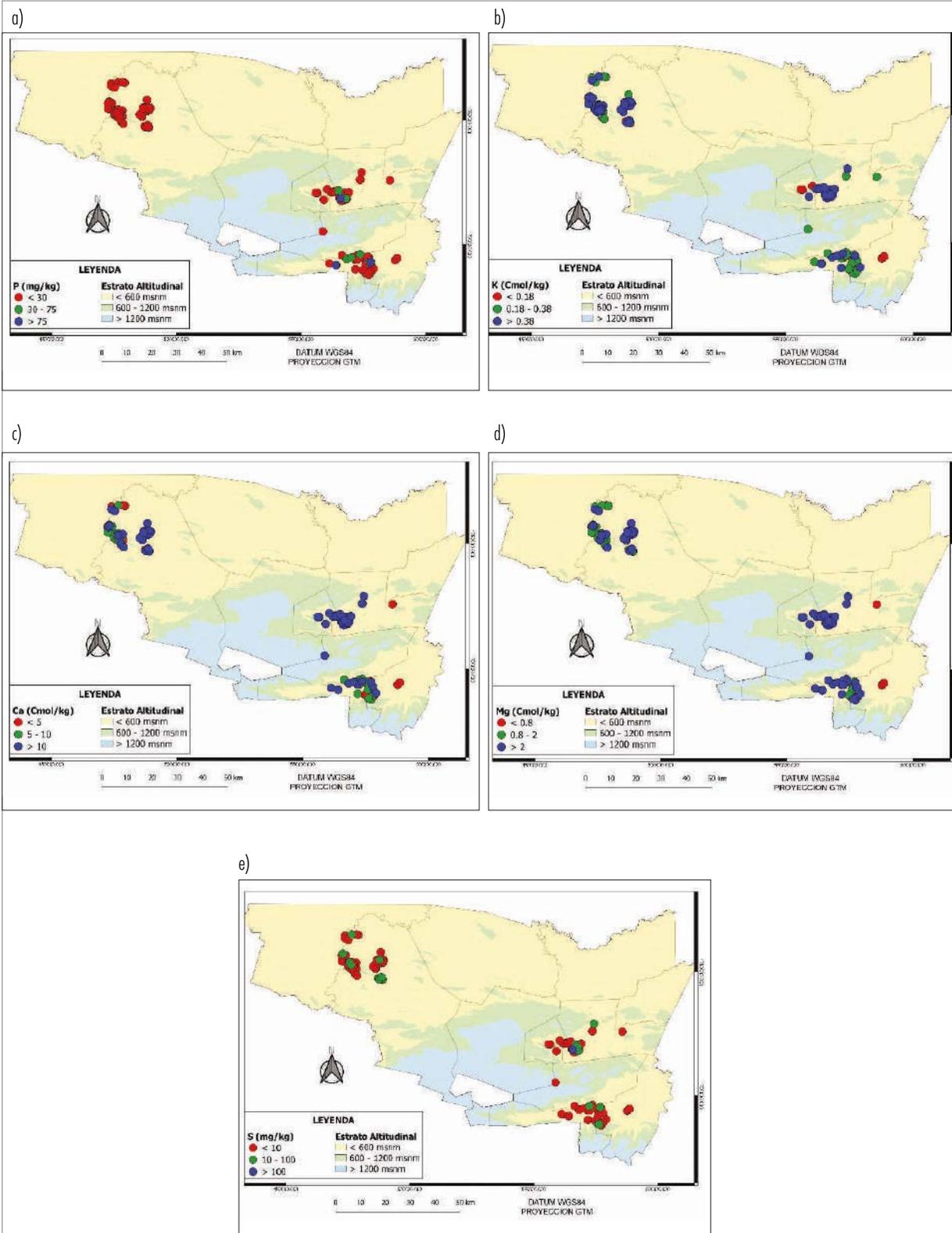


Figura 4. Distribución de P (a), K (b), Ca (c), Mg (d) y S (e) disponible en sitios productores de cacao (n 233) de la región norte de Guatemala.

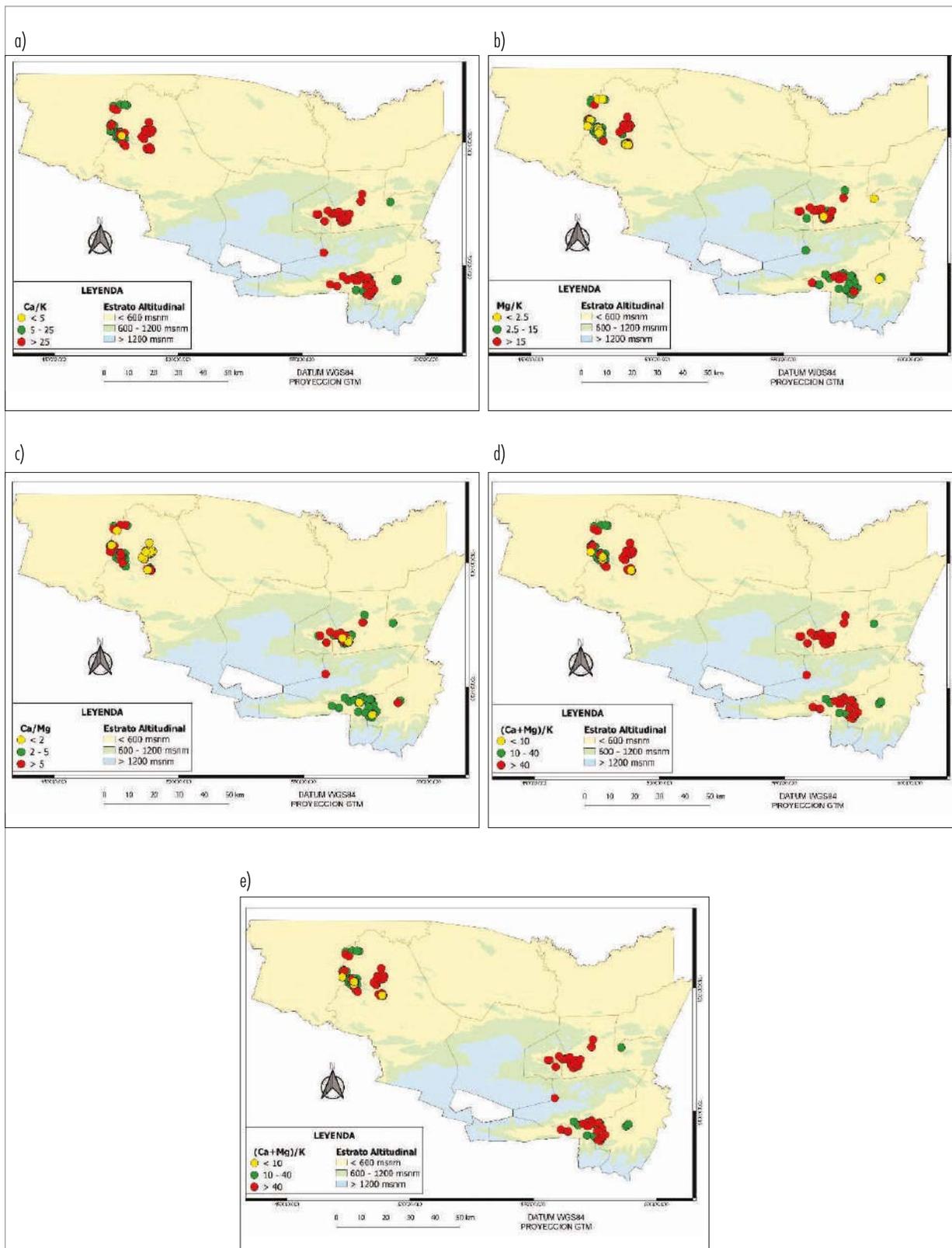


Figura 5. Distribución de las relaciones entre las bases del suelo Ca/K (a), Mg/K (b), Ca/Mg (c) y (Ca+Mg)/K (d) en sitios productores de cacao (n 233) de la región norte de Guatemala.

De los micronutrientes (Figura 6) Cu, Fe, Mn, Zn y B, el 2% de los sitios es deficiente en Cu (rango adecuado 1 a 10 mg/kg), 4% es deficiente en Fe (rango adecuado 40 a 250 mg/kg), 7% es deficiente en Mn (rango adecuado 10 a 250

mg/kg), 32% es deficiente en Zn (rango adecuado 2 a 25 mg/kg) y el 100% es deficiente en B (rango adecuado 1 a 5 mg/kg).

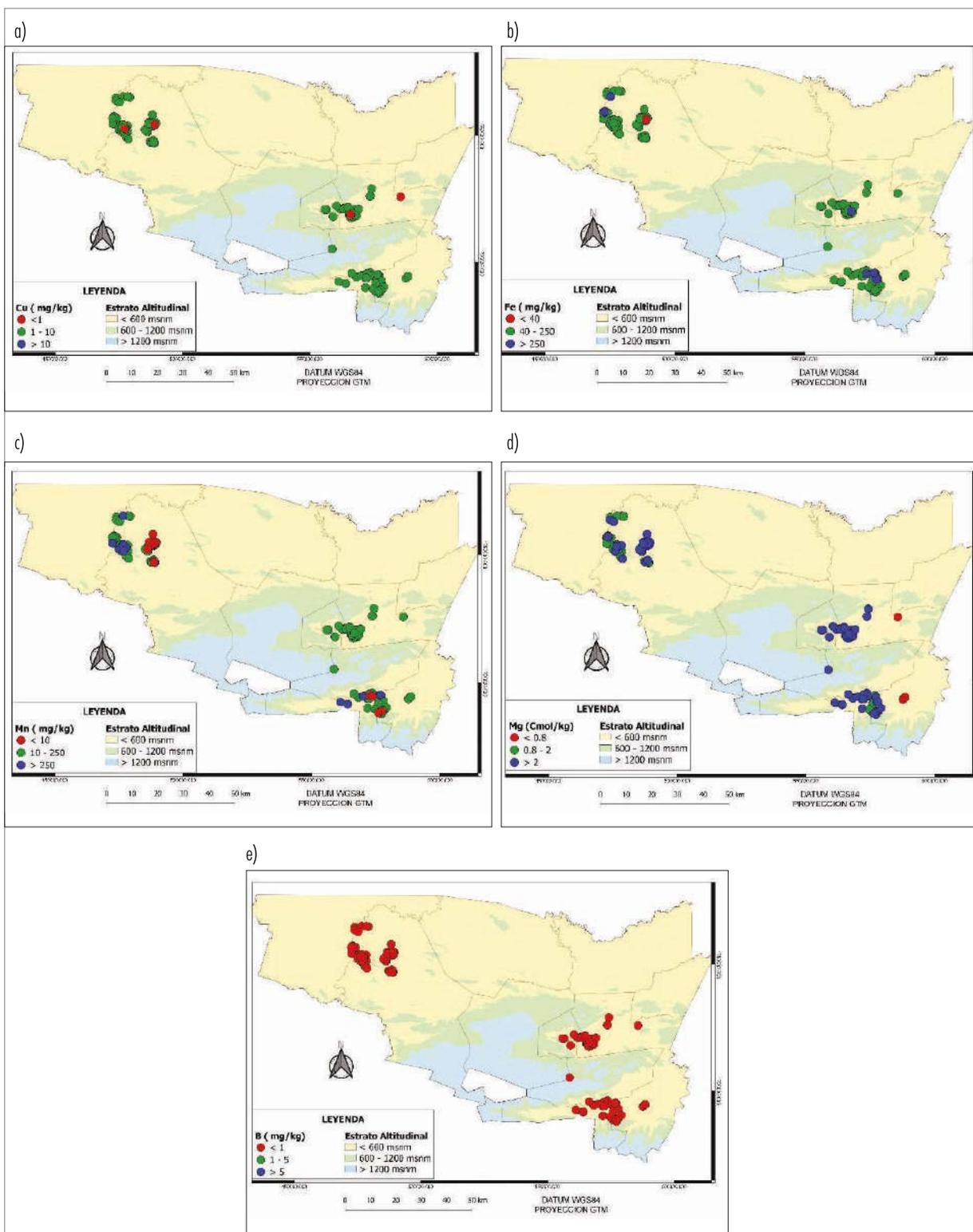


Figura 6. Distribución del contenido de Cu (a), Fe (b), Mn (c), Zn (d) y B (e) en sitios productores de cacao (n 233) de la región norte de Guatemala.

Efecto de la sub-región y del sistema agroforestal

Se encontró diferencia estadísticamente significativa para casi todos los parámetros evaluados ($p < 0.05$) (Cuadro 4) entre las sub-regiones. En el caso de S, Mn y la relación Ca/Mg, no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$).

Lachuá presenta el menor valor de pH, mayor cantidad de aluminio intercambiable, más materia orgánica y menos cobre. En las 4 sub-regiones el K puede ser un elemento limitante, especialmente en Cahabón y Lanquín en donde se

reportan un exceso de Ca y Mg relativo a K (Cuadro 4). En la región de Lachuá se estima mayor necesidad de encalado para neutralizar el aluminio intercambiable en comparación a las otras regiones.

Estos resultados respaldan el criterio que los parámetros de fertilidad de los sitios productores de cacao varían entre sub-regiones, por lo que no es posible tener una sola recomendación para el manejo de la nutrición del cultivo para toda la región.

Cuadro 4. Comparación múltiple de medias¹ para las diferentes variables de suelo según sub-región de producción de cacao.

Sub-región	n	pH	dS/m	% MO	CICe (dS/m)	%Sat _{Al} ³⁺
Cahabón	75	5.94 ± 0.57 ab	0.12 ± 0.04 a	5.7 ± 1.42 a	27.7 ± 11.9 a	1.12 ± 3.53 ab
Lachuá	115	5.69 ± 0.71 b	0.06 ± 0.02 b	6.5 ± 1.71 a	17.2 ± 14.2 bc	9.02 ± 12.79 a
Lanquín	7	6.39 ± 0.36 a	0.05 ± 0.02 b	3.1 ± 1.08 b	26.1 ± 3.6 ab	0.34 ± 0.22 b
Polochic	36	6.17 ± 0.74 ab	0.09 ± 0.05 ab	4.2 ± 1.42 b	10.0 ± 5.0 c	4.65 ± 9.51 ab
	Media	5.87 ± 0.69	0.08 ± 0.07	5.79 ± 1.81	19.7 ± 13.7	5.54 ± 10.55
Sub-región	n	Fósforo mg/L	Potasio Cmol/kg	Calcio Cmol/kg	Magnesio Cmol/kg	Azufre mg/L
Cahabón	75	15.1 ± 30.5 ab	0.62 ± 0.59 a	20.8 ± 10.0 a	6.2 ± 3.2 a	7.71 ± 22.9 a
Lachuá	115	2.7 ± 2.9 b	0.42 ± 0.25 ab	12.1 ± 11.0 b	3.9 ± 4.2 ab	5.91 ± 4.8 a
Lanquín	7	6.3 ± 3.7 b	0.27 ± 0.13 b	21.4 ± 4.5 a	4.4 ± 0.9 ab	1.26 ± 1.2 a
Polochic	36	23.3 ± 22.6 a	0.24 ± 0.14 b	7.1 ± 3.9 b	2.4 ± 1.4 b	3.19 ± 3.5 a
	Media	10 ± 20.97	0.45 ± 0.4	14.4 ± 10.94	4.44 ± 3.71	5.93 ± 13.57
Sub-región	n	Cobre mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L	Cinc mg/L	Boro mg/L
Cahabón	75	4.25 ± 1.18 a	184.7 ± 37.8 a	75.0 ± 42.4 a	4.07 ± 4.62 b	0.09 ± 0.17 d
Lachuá	115	2.9 ± 1.32 b	117.6 ± 58.8 b	88.3 ± 89.5 a	2.99 ± 2.62 b	0.30 ± 0.16 c
Lanquín	7	3.35 ± 0.66 ab	140.4 ± 26.2 b	56.4 ± 31.5 a	1.89 ± 0.69 b	0.73 ± 0.05 a
Polochic	36	3.71 ± 1.33 ab	191.8 ± 45.4 a	113.9 ± 117.4 a	12.49 ± 11.81 a	0.45 ± 0.14 b
	Media	3.47 ± 1.4	151.36 ± 60.53	87.04 ± 82.46	4.77 ± 6.51	0.27 ± 0.22
Sub-región	n	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	
Cahabón	75	40.8 ± 21.6 b	12.28 ± 7.1 b	3.77 ± 2.45 a	53.08 ± 26.23 b	
Lachuá	115	32.2 ± 35.9 b	8.93 ± 7.99 b	4.46 ± 3.55 a	41.11 ± 40.21 b	
Lanquín	7	97.5 ± 56.1 a	19.45 ± 9.8 a	5.27 ± 1.99 a	116.98 ± 60.9 a	
Polochic	36	30.7 ± 12.7 b	10.93 ± 6.5 b	3.16 ± 1.02 a	41.65 ± 18.47 b	
	Media	36.69 ± 31.92	10.63 ± 7.77	4.06 ± 2.99	47.33 ± 36.64	

¹ Medias con la misma letra dentro de cada parámetro de suelo son estadísticamente iguales ($p > 0.05$).

En el Cuadro 5 se presentan los resultados agrupados según el sistema agroforestal. Se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) para los parámetros K, Ca, Mg, Cu, Fe, B y la relación Ca/Mg.

En general, los suelos del sistema CBS presentan mayor valor de nutrientes extraíbles.

De los parámetros de suelo que se encuentran íntimamente relacionados y que son importantes tomar en cuenta para el manejo del suelo están el pH, saturación de Al^{3+} y las bases del suelo K, Ca y Mg.

Como se muestra en la Figura 7, la reducción del pH a partir de 5.5 resulta en un incremento en la saturación

de Al^{3+} en el complejo de intercambio catiónico del suelo (r^2 0.70) y en una reducción significativa de las bases del suelo K, Ca y Mg (r^2 0.43). Como consecuencia de ello, la reducción de las bases del suelo es ocupada por la acumulación de Al^{3+} (r^2 0.68). Esto significa que el manejo de los programas de nutrición debe tomar en cuenta no solo la corrección del pH sino también la relación de K, Ca y Mg con el pH, la saturación de Al^{3+} (R^2 0.68). Esto significa que el manejo de los programas de nutrición debe tomar en cuenta no solo la corrección del pH sino también la relación de K, Ca y Mg con el pH y la saturación de Al^{3+} .

Cuadro 5. Comparación múltiple de medias¹ de los parámetros de suelo agrupados según sistema agroforestal.

Sistema	n	pH	dS/m	% MO	CIc (Cmolc/kg)	%Sat_ Al^{3+}
CS	28	5.83 ± 0.96 a	0.07 ± 0.03 a	5.59 ± 2.13 a	11.70 ± 11.18 b	8.39 ± 11.63 a
CBS	196	5.87 ± 0.65 a	0.08 ± 0.07 a	5.82 ± 1.79 a	20.73 ± 13.64 a	5.29 ± 10.54 a
	Media	5.87 ± 0.69	0.08 ± 0.07	5.79 ± 1.81	19.70 ± 13.72	5.54 ± 10.55
Sistema	n	Fósforo mg/L	Potasio Cmol/kg	Calcio Cmol/kg	Magnesio Cmol/kg	Azufre mg/L
CS	28	5.77 ± 7.26 a	0.31 ± 0.23 b	8.95 ± 10.47 b	1.99 ± 1.94 b	5.87 ± 5.93 a
CBS	196	10.54 ± 22.3 a	0.48 ± 0.42 a	15.08 ± 10.77 a	4.76 ± 3.76 a	5.94 ± 14.59 a
	Media	10.00 ± 20.97	0.45 ± 0.40	14.40 ± 10.94	4.44 ± 3.71	5.93 ± 13.57
Sistema	n	Cobre mg/L	Hierro mg/L	Manganeso mg/L	Cinc mg/L	Boro mg/L
CS	28	2.98 ± 1.19 b	127.52 ± 64.15 b	108.70 ± 98.28 a	5.68 ± 5.83 a	0.38 ± 0.14 a
CBS	196	3.53 ± 1.38 a	153.88 ± 57.67 a	83.53 ± 79.68 a	4.73 ± 6.71 a	0.26 ± 0.23 b
	Media	3.47 ± 1.40	151.36 ± 60.53	87.04 ± 82.46	4.77 ± 6.51	0.27 ± 0.22
Sistema	n	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	
CS	28	41.19 ± 58.59 a	8.61 ± 8.31 a	5.67 ± 5.84 a	49.80 ± 62.26 a	
CBS	196	35.85 ± 26.66 a	10.83 ± 7.58 a	3.85 ± 2.24 b	46.68 ± 31.93 a	
	Media	36.69 ± 31.92	10.63 ± 7.77	4.06 ± 2.94	47.33 ± 36.64	

¹ Medias con la misma letra dentro de cada parámetro de suelo son estadísticamente iguales ($p > 0.05$).

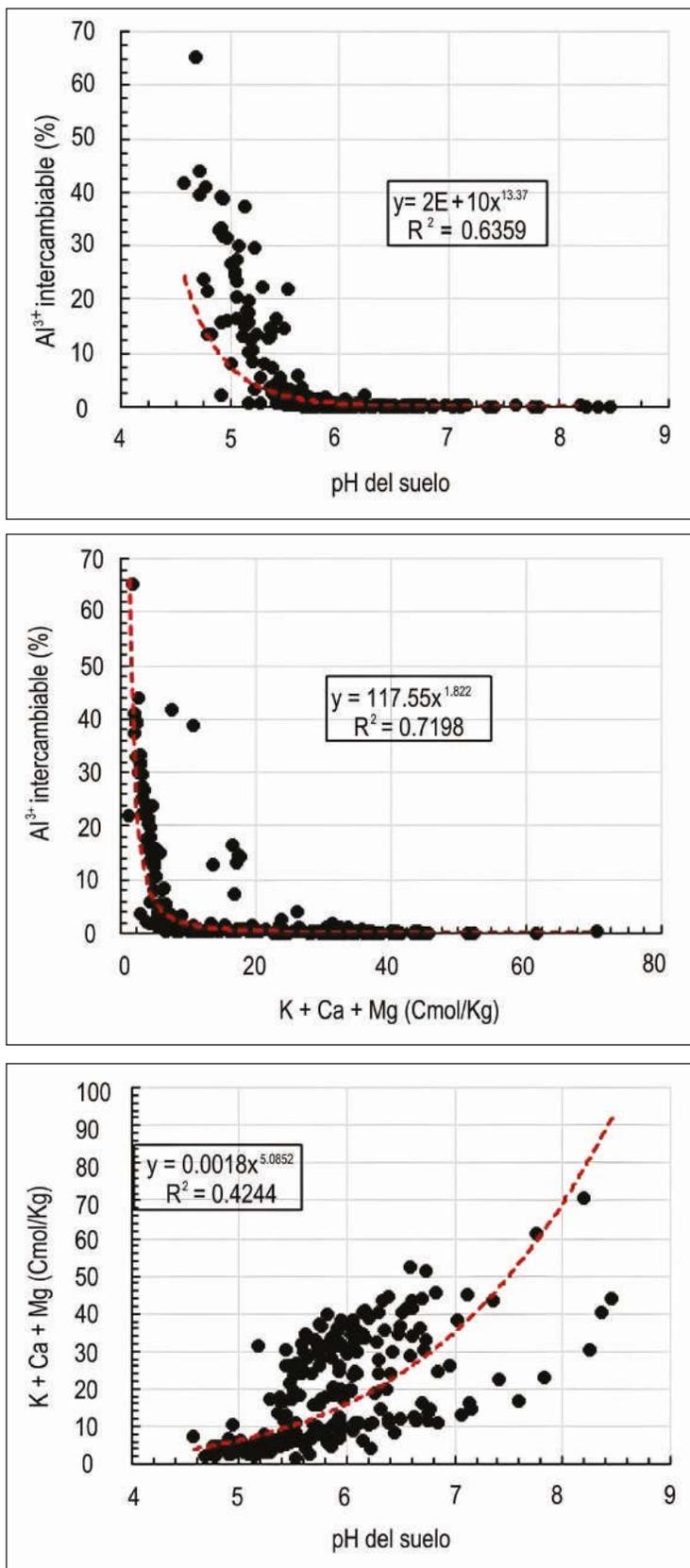


Figura 7. Relación entre el pH, Al³⁺ y las bases del suelo K, Ca y Mg (n 233).

Fijación de P y K

La determinación del porcentaje de fijación de P y K se llevó a cabo utilizando 20 muestras de suelo de la profundidad 0-20 cm. Los valores de fijación de P y K variaron de aproximadamente 22 a 90% para P y de 43 a 73% para K.

De acuerdo con el análisis de varianza para cada factor en forma independiente (Cuadro 6), en promedio no hay diferencia estadística para el % de fijación de P entre sub-regiones ($p > 0.05$) pero sí se encontró diferencia estadística para K ($p < 0.05$). El mayor valor de fijación de P se presentó en la sub-región del Polochic (68.76 ± 27.84), en tanto que el valor más alto de K se presentó en Cahabón (69.86 ± 3.6). El porcentaje de fijación de P y K no dependió del sistema agroforestal ($p > 0.05$).

El alto valor de fijación de P y K implica que para la elaboración de los programas de fertilización de cacao deben tomarse en cuenta el % de fijación de P y K a nivel de sub-región. En el caso de N se ha estimado una eficiencia media del 50% en suelos con pérdidas importantes por lixiviación, volatilización, desnitrificación, fijación como NH_4^+ por arcillas 2:1 del suelo o inmovilización por microorganismos (Bertsch, 1998).

Con base en los resultados de los análisis de suelo, en el Cuadro 7 representa un resumen de los principales elementos a ser tomados en cuenta en cada sub-región para la generación de los programas de nutrición vegetal. Se ilustran los elementos que se encontraron en niveles adecuados en el suelo (verde) y los que deben ser aplicados (rojo) en cada región estudiada. En el caso del K, con base en la cantidad disponible en el suelo se le considera adecuado, sin embargo, cuando se relaciona a las bases Ca y Mg, se encuentra que con base en la proporción de dichos elementos hay regiones en donde se deben realizar aplicaciones de K (amarillo).

Como se indicó inicialmente, la aplicación de nutrientes y el manejo de los programas de nutrición del cacao son clave para el incremento de la productividad y la calidad del cacao.

Estudios realizados sobre la fertilización del cacao reportan resultados positivos a la fertilización. En algunos casos se reporta que la respuesta a la fertilización es clon específico.

Esto sugiere que a nivel local se identifiquen y caractericen los materiales de cacao a fin de generar programas de nutrición específicos para cada sub-región y cultivar de cacao (Ruales *et al.* (2011); Puentes Paramo *et al.* (2014); Puentes Páramo *et al.* (2016).

Adicionalmente, en todas aquellas regiones con valores de pH menor a 5.5 se encontró acumulación de aluminio intercambiable. La distribución espacial de los territorios que requieren una corrección del pH con base en la acumulación de Al^{3+} se presenta en la Figura 3e. A fin de no sobrecalentar esos suelos, se sugiere basarse en neutralizar únicamente la acidez intercambiable utilizando un factor de 1.5 o 2 tomando en cuenta la lenta reactividad de la cal y que no todo el aluminio será neutralizado. En suelos tropicales, con carga dependiente del pH del suelo, la recomendación más práctica para el encalado es neutralizar total o parcialmente el aluminio intercambiable del suelo (Kamprath, 1984).

Como resultado de este estudio se sugiere que el enfoque para la generación de los planes de nutrición del cacao debe ser a nivel de sub-región.

Cuadro 6. Comparación múltiple de medias¹ para los parámetros de fijación de P y K.

	Fijación (%)	
	P	K
	Efecto de la sub-región	
Lachúa	48.72 ± 14.89 a	54.26 ± 5.98 b
Cahabón	47.32 ± 8.33 a	69.86 ± 3.65 a
Polochic	68.76 ± 27.84 a	47.71 ± 5.15 b
	Efecto del sistema agroforestal	
CBS	55.26 ± 19.76 a	55.27 ± 8.64 a
CS	46.56 ± 19.42 a	53.74 ± 10.56 a

¹Medias con la misma letra dentro de cada parámetro de suelo son estadísticamente iguales ($p > 0.05$).

Cuadro 7. Resumen general de nutrientes a tomar en cuenta (rojo y amarillo) para su aplicación como parte del programa de fertilización de cacao según sub-región.

Región	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K
Cahabón	5.9 ± 0.6												K			K
Lachua	5.7 ± 0.7												K			K
Polochic	6.2 ± 0.7												K			K
Lanquín	6.4 ± 0.4												K	K		K

En un estudio paralelo, en proceso de publicación, también se determinó la acumulación de nutrientes en el fruto de cacao. Esto con la finalidad de regresar al suelo por lo menos la cantidad de nutrientes que se extrae con la cosecha. Un resumen de la cantidad de nutrientes requeridos para producir 1 tonelada de grano seco por hectárea se presenta

en el Cuadro 8. Las cantidades que se presentan ya incluyen la eficiencia de los elementos con base en la fijación de P y K, así como la pérdida de los elementos mayores por efecto de lixiviación y la forma en que los diferentes elementos son expresados en los sacos de fertilizante a nivel comercial.

Cuadro 8. Cantidad de elementos mayores y menores requeridos para producir 1 tonelada de grano de cacao seco por hectárea, incluyendo los diferentes componentes del fruto.

Sub-región	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
	Kg/ha					
Cahabón	77.6	32.2	230.2	19.0	20.8	4.6
Lachuá	74.6	29.6	143.9	11.3	15.3	5.4
Polochic	99.6	61.2	170.7	13.8	20.9	6.2
Lanquín	84.0	40.2	181.6	14.7	19.0	5.4

Sub-región	B ₂ O ₃	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/ha				
Cahabón	235.4	62.0	167.7	153.1	187.1
Lachuá	264.4	74.9	99.6	272.7	149.7
Polochic	286.3	99.2	160.5	381.1	221.5
Lanquín	262.0	78.7	142.6	268.9	186.1

CONCLUSIONES

Algunas conclusiones como resultado de este estudio incluyen:

- Los parámetros físicos del suelo variaron principalmente entre sub-regiones. El efecto del sistema agroforestal fue menor.
- La producción de cacao de la región norte se desarrolla sobre suelos pesados. El 67.2% de los sitios analizados presentaron una textura arcillosa, el 19.8% son franco arcillosos y el 12% se distribuyó entre las texturas franco (5.7%), franco arcillo arenoso (3.9%), franco arcillo limoso (2.8%) y arcillo limoso (0.6%).
- Los parámetros % de arcilla, % de arena y Da pueden ser utilizados para construir un modelo predictivo de la CC, PMP y la HA de los suelos bajo producción de cacao de la región.
- El estado de la fertilidad de los suelos de las plantaciones de cacao de la región norte dependió principalmente de la sub-región. El efecto del sistema agroforestal sobre el 58% de los parámetros químicos del suelo no fue estadísticamente significativo.
- Los suelos bajo el sistema CBS presentaron menor contenido de Al³⁺, mayor contenido de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe y aunque no fue significativo, también presentaron un mejor balance de las bases K, Ca y Mg que el sistema CS.
- Los parámetros de suelo pH, K, Ca, Mg y saturación de Al³⁺ están significativamente relacionados y deben ser tomados muy en cuenta para la generación de planes de fertilización.
- En los programas de nutrición vegetal se debe tomar en cuenta la acumulación de aluminio intercambiable en algunas regiones con valores de pH inferiores a 5.5, lo cual conlleva a su corrección con cal agrícola.
- Los suelos presentaron una alta capacidad de fijación de P (20 a 90%) y mediana capacidad de fijación de K (43 a 73%). La principal diferencia fue entre sub-regiones para el valor de fijación de K. No se encontró diferencia entre sistemas agroforestales.

- El valor medio de los parámetros químicos de suelo fue: pH 5.87 ± 0.69 , CE 0.08 ± 0.07 dS/m, M.O. 5.79 ± 1.81 %, CICE 19.7 ± 13.7 Cmolc/kg, Sat. Al^{3+} 5.54 ± 10.55 %, P 10 ± 21.0 mg/kg, K 0.45 ± 0.40 Cmol/kg, Ca 14.4 ± 10.9 Cmol/kg, Mg 4.44 ± 3.71 Cmol/kg, S 5.93 ± 13.67 mg/kg, Cu 3.47 ± 1.4 mg/kg, Fe 151.4 ± 60.5 mg/kg, Mn 87.0 ± 82.5 mg/kg, Zn 4.77 ± 6.51 mg/kg y B 0.27 ± 0.22 mg/kg. El valor medio de las relaciones de las bases es: Ca/K 36.69 ± 31.92 , Mg/K 10.63 ± 7.77 , Ca/Mg 4.06 ± 2.99 y (Ca+Mg)/K 47.33 ± 36.64 .
- Los parámetros limitantes del suelo en la mayor parte de sub-regiones son N, P, K, S y B. En el 10% de los sitios se determinó una saturación de $Al^{3+} > 20\%$ debido al bajo pH del suelo (< 5.0), por lo que se deben tomar acciones para reducir la acidez del suelo y reducir acumulación de Al^{3+} en el complejo de intercambio.
- Se sugiere continuar generando datos a fin de orientar los programas de nutrición según el material genético de las diferentes sub-regiones.

AGRADECIMIENTOS

A los productores de cacao y a las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, ADEMAYACH y APODIP que apoyaron el estudio con información sobre el manejo de sus plantaciones y el aporte de muestras de suelo.

A los técnicos de campo y encargados de los centros de acopio que fueron un vínculo importante con líderes y productores que participaron en el estudio, así como parte crucial de la colecta de muestras de suelo.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ANACAFE. (S.f). http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_cacao.
- Arvelo, M.A., González, D., Maroto, S., Delgado, T., y Montoya, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: Prácticas en Latinoamérica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José, Costa Rica.
- Bay, E. (2011). Producción y comercialización de cacao (*Theobroma cacao*), en el parcelamiento Pueblo Nuevo, Municipio de Ixcán, Departamento de Quiché. Tesis Ing. Agr. FAUSAC. Guatemala. 63p.
- Bertsch, F. (2003). Absorción de nutrientes por los cultivos. 1ª Edición. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Boul, S.W., F.D. Hole y R.J. McCracken. (1983). Génesis y clasificación de suelos. Editorial Trillas. Primera reimpresión. México.
- Brito, H., Salaya, J.M., Gómez, E., Gómez, A. y Antele, J.B. (2018). Physico-chemical properties of soils and pods (*Theobroma cacao* L.) in cocoa agroforestry systems. J. Agron. 17(1):48-55.
- Carter, M.R. y Gregorich, E.G. (2008). Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd. Ed. Canadian Society of Soil Science.
- Chicas, R.A., Vanegas, E.A. y García, N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la sub-cuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias 23(1):41-46.
- Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Saenz, Y., Kent, J., Vilchez, S., Villota, A., Martínez, C. y Somarriba, E. (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. Agroforest Syst. 88:957-981.

- De León, J. (2017). Infografía cacao. El Periódico. Guatemala.
- Díaz, R y Hunter, A. (1978). Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Laboratorio de suelos. Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Costa Rica.
- Fassbender, H.W. y Bornemisza, E. (1994). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. C. R.
- Fontes, A.G., Gama, A.C., Gama, E.F., Sales, M.V.S., Costa, M.G. y Machado, R.C.R. (2014). Nutrient stocks in litterfall and litter in coca agroforests in Brazil. *Plant and Soil* 383(1-2):313-335.
- Hunter, A. (1980). Laboratory and Greenhouse Technique for Nutrient Survey Studies to Determine the Soil Amendments Required for Optimum Plant Growth. Agro Services Internacional Inc. USA.
- INE. (sf). Caracterización República de Guatemala. Instituto Nacional de Estadística. Guatemala.
- INE-BM/LAC. (sf). Mapas de pobreza rural en Guatemala 2011. Instituto Nacional de Estadística. Guatemala.
- InfoStat/Estudiantil, versión 2016e (www.infostat.com.ar).
- Kamprath, E.J. (1984). Crop response to lime on soils in the tropics. pp. 349-368 In *Soil Acidity and Liming*. F. Adams (ed). Agronomy No. 12. ASA, Inc., CSSA, Inc and SSSC, Inc. Madison, WI. USA.
- MAGA. (2016). El Agro en Cifras 2016. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, MAGA. Guatemala.
- MAGA. (2014). Perfil comercial cacao. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala.
- MAGA. (2005). Mapa de clasificación taxonómica de suelos: primera aproximación, República de Guatemala. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación-MAGA. Guatemala.
- MINECO. (2015). Análisis de la situación actual y diagnóstico de la cadena de valor de cacao. Ministerio de Economía, MINECO. Guatemala.
- MAGA-SESAN. (2011). Priorización de municipios a través del índice de vulnerabilidad a la seguridad alimentaria y nutricional de la población de Guatemala (IVISAN). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación - Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional. Guatemala.
- Moreno, R. (1965). Algunos aspectos de la fertilización en cacao (*Theobroma cacao*) con observaciones preliminares sobre su respuesta a la aplicación de tres elementos mayores al suelo. *Acta Agronómica* 15:69-104.
- PMA-SESAN. (2012). VAM 2012. Mapeo y análisis de la desnutrición crónica en Guatemala. Programa Mundial de Alimentos-Secretaría de seguridad alimentaria nutricional. Guatemala.
- Puentes, Y., Menjivar, J.C., Gómez, A.G. y Aranzazu, F.A. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica* 63(2):145-152.
- Puentes, Y.J., Gómez, A. y Menjivar, J.C. (2016). Influencia de las relaciones entre nutrientes sobre el rendimiento en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agron.* 65(2):176-182.
- Ruales, J.L., Burbano, H. y Ballesteros, W. (2011). Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Rayment, G.E. y Lyons, D.J. (2011). *Soil Chemical Methods-Australasia*. CSIRO Publishing. Australia.
- Sáenz Domínguez, L. (2011). Macrofauna y propiedades físico-químicas del suelo en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* M.) y bosques secundarios en el Sur-occidente de Guatemala. Tesis. FCQF-USAC. Guatemala.
- Sánchez, P.A. (1981). Suelos del trópico: características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. Costa Rica.
- Simmons, Ch.S., Tarano, J. M. y Pinto, J.H. (1959). Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Instituto Agropecuario Nacional, IAN. Ministerio de Agricultura. Guatemala.
- Schoeck, D., Koko, L., Bastide, P. y Jagoret, P. (2016). Cacao Nutrition and Fertilization. *Sustainable Agriculture Reviews* 19:1-40.
- Soil and Plant Analysis Council, Inc. (1999). *Soil Analysis Handbook of Reference Methods*. CRC Press. Boca Raton, Florida. USA.
- Uribe, A., Méndez, H. y Mantilla, J. (1998). Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. *Revista Suelos Ecuatoriales*, 28:31-36
- USDA. (2021). Agricultural research service. <https://www.ars.usda.gov/research>.

PERFILES DE FERMENTACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) DE LA ECORREGIÓN DE LACHUÁ, COBÁN, ALTA VERAPAZ

Marlon Ac-Pangan
marlon@bepsisa.com,

Edgar Armando Ruiz Cruz
earuizcruz@yahoo.es

Centro Universitario del Norte
(CUNOR), USAC

RESUMEN

Dentro de la industria del cacao, la comercialización de granos a nivel global representa la segunda actividad comercial que genera mayor valor, solo después de la comercialización de chocolate y sus derivados. La experiencia guatemalteca de exportación ha tenido buena aceptación a nivel internacional, sin embargo, pocos avances se han realizado en el proceso de fermentación para el mejoramiento de la calidad. Se realizó la caracterización y una propuesta de un nuevo método para el monitoreo de la fermentación en tres masas y tres localidades diferentes. Los resultados mostraron que, en promedio, en la región de Lachuá el proceso de fermentación finaliza al sexto día de procesamiento cuando la temperatura alcanza un valor de 48.02°C y el pH de la testa y del cotiledón coinciden con un valor de pH de 4.50. Sin embargo; los resultados también mostraron que los perfiles de fermentación dependen de la localidad y masa de procesamiento. Además, se observó una moderada correlación lineal positiva (0.547) entre temperatura de fermentación y pH de la testa y alta correlación lineal negativa (-0.826) entre temperatura de fermentación y pH del cotiledón. Los protocolos utilizados actualmente en la ecorregión de Lachuá pueden ser mejorados y ajustados de acuerdo con la masa de cacao en fermentación y la localidad de procesamiento, basados en los perfiles de temperatura y pH de la testa y del cotiledón. Además, los resultados sugieren que es posible utilizar la temperatura de la masa de fermentación como un indicador para el monitoreo de los perfiles de pH durante la fermentación.

PALABRAS CLAVE: Cacao, Calidad, Fermentación, Desarrollo Rural, Cadena de Valor, Postcosecha.

ABSTRACT

FERMENTATION PROFILES TO IMPROVE COCOA (*Theobroma cacao* L.) QUALITY IN LACHUÁ, COBÁN, ALTA VERAPAZ

Cocoa beans trade represents the second most important commercial activity within the cocoa value chain Worldwide, which generates more profit only after commercialization of chocolate and related products. The international trade of cocoa beans has been successful for small farmers in Guatemala; however, limited advances have been implemented on cocoa beans fermentation to increase quality. In the present study, a characterization, and the proposal of a new method for monitoring the cocoa fermentation process was performed. Results demonstrated that, on average, cocoa fermentation should last six days, when mass temperature reaches 48.02°C and pH value of the testa and cotyledon coincides at 4.50. However, results also demonstrated that fermentation performance depends on processing location and fermentation mass. In addition, it was observed a moderate

positive linear correlation between fermentation temperature and pH of the testa (0.547). On the other hand, a high negative linear correlation was observed between fermentation temperature and pH of the cotyledon (-0.826). Current fermentation protocols employed by cocoa farmers in Lachua could be improved and adjusted depending on fermentation mass and processing location based on temperature profiles, pH of the testa and the cotyledon. The results suggest that it is possible to use fermentation mass temperature as indicator of pH performance during cocoa fermentation.

KEYWORDS: Cocoa, Cacao, Quality, Fermentation, Rural Development, Value Chain, Postharvest.

INTRODUCCIÓN

La historia del cultivo de cacao en Guatemala ha permitido que este sea parte de las actividades agrícolas de subsistencia y de producción excedentaria en diferentes partes del país, principalmente en comunidades indígenas cercanas a parques nacionales, reservas naturales o áreas de recarga hídrica. La principal forma de comercializar cacao es a través del grano seco de cacao en sus distintas presentaciones. Este flujo comercial a nivel global representa la segunda actividad económica más importante que genera mayor valor solo después de la comercialización del chocolate y sus derivados (Salguero, 2015).

Respecto al grano de cacao, la experiencia guatemalteca de exportación es relativamente reciente, accedió primero en el año 2002 a El Salvador y a partir del año 2008 al mercado de Estados Unidos, con un incremento marcado en el año 2013 cuando grupos de productores de la Fundación Laguna Lachúa (FUNDALACHUA) y la Federación de Cooperativas de las Verapaces (FEDECOVERA) iniciaron sus exportaciones principalmente a Estados Unidos (Agrocadena de Cacao de Guatemala [ACG], 2016).

Según ACG (2016), de acuerdo con los ingresos reportados de productores que están exportando o vendiendo su producto, semilla de cacao, el precio por tonelada métrica 1,000 kg (22 quintales) a nivel nacional oscila entre \$ 2,800.00 a \$ 3,500.00. Con relación a la venta de producto para exportación, el precio por tonelada oscila entre \$ 3,500.00 a \$ 4,300.00. Si consideramos que cada familia pueda producir media tonelada al año, sus ingresos reportados serían en promedio \$ 1,400.00 anuales tomando el precio inferior reportado o su equivalente en moneda nacional de Q 11,200.00 anuales. Logrando tan solo esta mínima producción, mejoraría significativamente los ingresos económicos de las familias productoras, convirtiéndose en un medio principal para mejorar la calidad de vida de las personas en el área rural en estricto apego a la Política Nacional de Desarrollo Rural Integral (PNDR).

En la región Norte de Guatemala a pesar de haber iniciado con la experiencia en exportación de cacao al mercado de Estados Unidos, la mayor parte del producto todavía se comercializa a intermediarios en ciudades como San Pedro Carchá, Cobán y ciudad de Guatemala y estos a su vez comercializan principalmente con la industria artesanal de productores de chocolate en el municipio de Mixco, Quetzaltenango y Antigua Guatemala. Debido a la fuerte presencia de industrias artesanales y al alto nivel de consumo interno, la comercialización de cacao lavado o con bajos estándares de calidad sigue siendo una opción de comercialización. Esto se debe a que la mayoría del cacao comercializado para el mercado local se utiliza para la elaboración de bebidas a base de chocolate, para el cual no se requiere de cacao con altos estándares de calidad ya que el producto contiene altos niveles de azúcar y esto contribuye a que los defectos de los granos no sean percibidos por el mercado o por los consumidores.

Durante varios años, la cadena de valor del cacao en el eslabón de procesamiento no ha presentado avances en temas relacionados al mejoramiento del manejo postcosecha de los granos del cacao, lo cual ha provocado que el producto presente inestabilidad en el precio relacionado a la calidad variable e inconsistente. Según Say y Villalobos (2012) los precios de cacao (fermentado o lavado) variaron de Q750.00 a Q1,000.00 por quintal en el año 2,007 y de Q650.00 a Q1,400.00 por quintal para el año 2,012. Esta variabilidad en el precio del producto en el mercado fue confirmada posteriormente por Ochoa (2015), quien reportó el precio de cacao en un rango de Q700.00 a Q1,350.00 por quintal de cacao dependiendo del área de producción y la calidad de los granos de cacao.

Por otro lado, según Ruiz (2015) en la región Norte de Guatemala, principalmente en los departamentos de Alta Verapaz, Quiché y Petén se han identificado tres modelos de procesamiento, los cuales varían en calidad del producto

y requerimiento de infraestructura. El producto con mayor oferta en la región es el cacao lavado, el cual posee un ligero secado del grano y ningún tipo de fermentación. Esta práctica poco recomendada que ha sido ampliamente utilizada por la mayor parte de los productores de cacao es lo que ha dificultado acceder a mercados de alto valor. A pesar de que algunas asociaciones cuentan con infraestructura básica para la fermentación y el secado del cacao y cuentan con equipo para la medición de parámetros como temperatura y humedad del grano, no ha sido posible desarrollar un procedimiento de fermentación y secado adecuado debido al desconocimiento sobre los parámetros y factores que son necesarios para lograr un procesamiento adecuado. Actualmente, en la región de estudio no se cuentan con

investigaciones relacionadas al desarrollo de perfiles de fermentación de cacao basados en la mezcla genética, condiciones micro climáticas o características de los centros de procesamiento de la región.

El objetivo del presente estudio fue establecer perfiles de fermentación de cacao para la producción de cacao fino de aroma en la ecorregión de Lachuá, como mecanismo para contribuir con el desarrollo rural del municipio de Cobán, Alta Verapaz; mediante el incremento de la calidad y consistencia del producto a lo largo de la cosecha y en diferentes años de cosecha, con la finalidad de acceder a nichos de mercado de alto valor y obtener mejores ingresos económicos de las familias productoras de cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

La investigación se realizó con productores de cacao miembros de la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA) cuya sede se encuentra ubicada en la comunidad Salacum en el municipio de Cobán, Alta Verapaz, en la ecorregión de Lachuá.

FUNDALACHUA está conformada por 394 familias productoras de cacao (301 hombres y 93 mujeres), las cuales pertenecen a las asociaciones KATBALPOM que abarca las comunidades de Salacum y Saholom, ASOSELNOR ubicada en la comunidad de Faisán I y II y Pataté; y ASODIRP en la comunidad Rocjá Pomtilá.

Cosecha y acopio de cacao

Para el desarrollo de la investigación se utilizó la producción de frutos de cacao de la ecorregión de Lachuá de la cosecha 2017-2018. Los frutos fueron recolectados de las parcelas de familias productoras de cacao miembros de las asociaciones: ASODIRP, KATBALPOM y ASOSELNOR. Se establecieron días específicos de cosecha de cacao cada siete o 15 días dependiendo de la época para garantizar una masa de acopio adecuado para el estudio. Se cosecharon los frutos totalmente maduros y libres de enfermedades o daños por animales, para evitar inconvenientes en la fermentación, luego se procedió a la extracción de las semillas frescas y se colocaron en sacos de polipropileno para drenar la baba del cacao durante cuatro horas y eliminar el exceso de agua presente en el jugo del cacao.

Fermentación

La fermentación se desarrolló en las instalaciones de cada una de las asociaciones presentes en la región de estudio. Se utilizaron cajas construidas de madera con una dimensión de 80 x 100 x 100 cm y una capacidad de 12 quintales de cacao en fresco. Para el diseño del experimento se adaptó el método utilizado por Hernández Hernández et al. (2016), el cual consistió en utilizar tres diferentes masas de fermentación en diferentes localidades en México. En el caso de la presente investigación las masas de cacao a fermentar fueron de: cinco, ocho y once quintales de cacao en fresco. Se realizaron cuatro repeticiones en cada localidad de procesamiento.

Monitoreo de variables de fermentación

Las variables evaluadas durante la fermentación fueron: a) temperatura y humedad relativa del área de fermentación, las cuales se midieron utilizando un termohigrómetro modelo HTC-1 AC Scientific (Interlab Equipo y Cristalería, Guatemala); b) temperatura general de la masa en fermentación, utilizando un termómetro digital modelo WT-2 de -50 a 300°C con sonda/AS Scientific, sonda de acero inoxidable, resolución de 0.1°C (Interlab Equipo y Cristalería, Guatemala). Se realizaron mediciones de temperatura en la masa en fermentación según lo recomendado por Ali et al. (2016), que consistió en realizar mediciones en la parte alta, media y baja para determinar las diferencias en temperatura a lo largo de la masa, realizando las mediciones en triplicado; c) pH de la de la testa y del cotiledón utilizando el medidor de pH modelo HI-98127-pHep®4 (Hanna Instruments,

Guatemala). La medición del pH consistió en medir el pH de la masa de fermentación en tres diferentes lugares para obtener un valor representativo. Para la medición del pH de la testa y del cotiledón se tomó una muestra de 20 granos de cacao de diferentes partes de la masa de fermentación para obtener una muestra representativa (Hernández Hernández et al., 2016). Luego se tomaron tres granos de la muestra recolectada y utilizando una navaja se cortaron longitudinalmente para separar el cotiledón de la testa y se colocaron por separado en un mortero de porcelana de 60 ml y se agregó 10 ml de agua desionizada y se procedió a macerar hasta disolver totalmente el cotiledón y la testa en cada uno de los morteros. Luego utilizando el medidor de pH se realizó la lectura de las muestras en cada uno de los morteros, este procedimiento se realizó en triplicado, es decir se utilizaron nueve granos por cada muestreo para hacer las mediciones, de esta manera se obtuvieron tres lecturas

diferentes y luego el valor utilizado para el análisis fue el promedio de las mediciones de la muestra (Ali et al., 2016).

Diseño experimental

Se utilizó un arreglo factorial (3x3) con una distribución en bloques al azar y medidas repetidas en tiempo (días de fermentación). El modelo experimental contó con dos factores: a) masa de fermentación: 5, 8, y 11 quintales de cacao fresco y b) localidad: KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR.

Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa estadístico R Studio (4.1.1), en el cual se realizó análisis de varianza, separación de medias Tukey HSD, análisis de correlación, regresión lineal y no lineal. El análisis estadístico se realizó utilizando un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza mostraron que los factores que fueron significativos ($p \leq 0.05$) en la variable temperatura ambiente del área de fermentación fueron localidad y día de fermentación. En la interacción de factores se observó que la única interacción significativa para la variable temperatura ambiente del área de fermentación fue la interacción entre localidad y masa de fermentación (Cuadro 1). Para la variable humedad relativa, los factores con significancia estadística fueron localidad, masa, y día de fermentación; así como la interacción entre localidad y masa de procesamiento.

El análisis de varianza para la variable temperatura de fermentación mostró que los factores significativos fueron localidad, masa, y día de fermentación; así como las interacciones de localidad y masa, localidad y día, y masa y día de fermentación (Cuadro 1). Para la variable pH de la testa mostraron diferencia significativa los factores localidad, masa, y día de procesamiento (Cuadro 1). Además, se observó significancia en la interacción de factores de localidad y masa, localidad y día de fermentación. Los factores que presentaron valores significativos para la variable de pH del cotiledón fueron localidad y día de fermentación; y la

Cuadro 1. Probabilidades de los valores F del análisis de varianza para las variables ambientales del área de procesamiento y de fermentación de cacao.

Factor	Temperatura ambiente		Humedad ambiente		Temperatura de fermentación		pH de la testa		pH del cotiledón	
	Valor F	Sig.	Valor F	Sig.	Valor F	Sig.	Valor F	Sig.	Valor F	Sig.
Localidad	58.25	0.000	88.77	0.00	21.98	0.00	27.21	0.00	30.77	0.00
Masa	0.10	0.905	3.82	0.02	6.41	0.00	13.54	0.00	0.66	0.52
Día	2.21	0.028	2.46	0.01	180.06	0.00	46.00	0.00	185.16	0.00
Localidad x masa	4.24	0.002	5.48	0.00	5.62	0.00	6.27	0.00	10.97	0.00
Localidad x día	0.88	0.598	1.13	0.32	4.36	0.00	6.57	0.00	8.21	0.00
Masa x día	0.602	0.881	0.52	0.93	2.10	0.01	0.88	0.59	2.82	0.00
Localidad x masa x día	0.580	0.967	0.47	0.99	1.10	0.33	1.42	0.08	0.84	0.72

interacción de factores entre localidad y masa, localidad y día, y masa y día de fermentación.

Temperatura y humedad relativa del ambiente de procesamiento

El promedio de temperatura ambiente del área de fermentación para la ecorregión fue de 35.74°C, con un valor mínimo de temperatura de 25.6°C reportado en ASODIRP y el valor máximo de 55.07°C reportado en KATBALPOM. La temperatura ambiente del área de fermentación en la asociación KATBALPOM fue significativamente superior durante todos los días de procesamiento. Por otro lado; las otras dos asociaciones (ASODIRP y ASOSELNOR) presentaron comportamientos similares. En general, se observó un ligero incremento en la temperatura ambiente del área de fermentación conforme avanzaba el proceso. Esta tendencia de incremento de la temperatura ambiente del área de fermentación en los últimos días de procesamiento también fue reportada previamente por Hernández Hernández et al. (2016) y Papalexandratou et al. (2011) en México y Brasil. La temperatura ambiente del área de procesamiento es un parámetro importante en el proceso de fermentación de cacao, debido a que es un indicador de la capacidad de la infraestructura de retener el calor generado durante la fermentación (Wood, 2001). Las instalaciones que no son aisladas adecuadamente no permiten la conservación del calor generado durante este proceso, lo cual impacta en la calidad de la fermentación (García González et al., 2019). Umaña Calderón (2013) reportó deficiencia en el perfil de temperaturas de la masa de fermentación debido al efecto de las bajas temperaturas ambientales (20-23°C) durante el procesamiento y el diseño deficiente de las instalaciones de fermentación, resultando en una mala calidad del producto final.

La interacción entre los factores localidad y masa de procesamiento fue significativa para la variable temperatura ambiente. Este parámetro fue superior en la asociación KATBALPOM independientemente de la masa de procesamiento (5, 8 y 11 quintales), con valores de 41.58, 38.06 y 40.17°C respectivamente. En las otras dos localidades (ASODIRP Y ASOSELNOR) no existió diferencia significativa entre el procesamiento de diferentes masas (Cuadro 2). Esta variable presenta la misma tendencia que la temperatura de la masa de fermentación, donde KATBALPOM también reportó mayores valores de temperatura en las tres masas (Cuadro 3), lo cual indica que los valores de temperatura del área de procesamiento están estrechamente relacionados a la temperatura generada por la fermentación.

Los altos valores de temperatura ambiente del área de fermentación reportados en KATBALPOM pueden ser causados por el diseño y localización del área de procesamiento, el cual permite mejor retención del calor generado durante el

proceso. Las tres asociaciones se encuentran dentro de la misma ecorregión de Lachuá, lo cual hace poco probable que exista una diferencia significativa en la temperatura del ambiente (microclima) entre las tres comunidades. Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), la temperatura ambiente para la ecorregión de Lachuá es de 25.3°C (Medina Müller, 2012). Por lo tanto, las diferencias en la temperatura del área de procesamiento de cacao en las diferentes comunidades, puede estar más relacionadas a los factores de diseño del área de procesamiento y la masa total en fermentación.

El promedio general de humedad relativa del área de procesamiento en la ecorregión fue 59.36%. Los resultados de la separación de medias Tukey mostraron que el tercer día de fermentación presentó el promedio más alto de humedad relativa con 64%, coincidiendo con la máxima pérdida y drenaje del mucílago de cacao durante la fermentación. De acuerdo con Wood (2001), durante las primeras 24-36 horas se produce la pérdida del mucílago de cacao debido a efectos de gravedad, efectos mecánicos y la acción de los microorganismos. El líquido del mucílago drena en la parte inferior de las cajas de fermentación, lo cual puede incrementar la humedad del área de procesamiento si esta no está diseñada con drenaje adecuado. El promedio de humedad relativa más bajo fue de 55%, el cual se reportó al quinto y sexto día de fermentación. El monitoreo de la humedad del área de procesamiento es importante ya que es un reflejo de los cambios que ocurren durante la fermentación, principalmente debido a la pérdida de agua de los granos de cacao durante el proceso. El 40% del peso de los granos frescos de cacao corresponde al mucílago, y esta a su vez está conformado principalmente por agua (82-87%) (Afoakwa, 2016b; Amoa-Awua, 2015).

La separación de medias para la variable humedad relativa por tratamiento (Localidad x Masa) mostró que la asociación ASODIRP y ASOSELNOR presentaron los valores más altos de humedad relativa durante el procesamiento de 5 y 11 quintales de cacao (Cuadro 2). Por otro lado; ASODIRP reportó el valor más alto durante el procesamiento de 8 quintales, con 71%, el cual fue el mayor valor en todos los tratamientos. En KATBALPOM el porcentaje más bajo fue reportado durante el procesamiento de 11 quintales, en ASOSELNOR durante la fermentación de 8 quintales y en ASODIRP al fermentar 5 y 11 quintales de cacao (Cuadro 2).

Parámetros de fermentación

• Temperatura

La temperatura de fermentación en promedio para la ecorregión de Lachuá fue de 43.72°C. La interacción de los factores de localidad y masa de fermentación fue significativa en el análisis de varianza. Esto refleja la variabilidad del procesamiento de cacao en la región, en función de la masa

Cuadro 2. Separación de medias¹ y DE² para las variables temperatura ambiente y humedad relativa del ambiente del área de procesamiento según localidad y masa de fermentación.

Localidad	Masa de Cacao en baba (qq)					
	Temperatura ambiente			Humedad relativa		
	5	8	11	5	8	11
KATBALPOM	41.58 ± 5.79 ^{a(X)}	38.06 ± 4.75 ^{b(X)}	40.17 ± 4.33 ^{ab(X)}	0.50 ± 0.09 ^{a(Y)}	0.47 ± 0.13 ^{ab(Z)}	0.43 ± 0.11 ^{b(Y)}
ASOSELNOR	33.42 ± 3.86 ^{a(Y)}	34.75 ± 4.99 ^{a(Y)}	34.15 ± 3.94 ^{a(Y)}	0.70 ± 0.80 ^{a(X)}	0.60 ± 0.14 ^{b(Y)}	0.65 ± 0.11 ^{ab(X)}
ASODIRP	32.03 ± 4.11 ^{b(Y)}	34.92 ± 7.30 ^{a(Y)}	32.56 ± 3.92 ^{ab(Y)}	0.64 ± 0.12 ^{b(X)}	0.71 ± 0.13 ^{a(X)}	0.64 ± 0.11 ^{b(X)}

¹ Medias seguidas con igual letra **minúscula** en la **fila** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).
Medias seguidas con igual letra **mayúscula** en la **columna** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

² Desviación estándar

Cuadro 3. Separación de medias¹ y DE² para la variable temperatura de fermentación según localidad y masa de fermentación.

Localidad	Masa de Cacao en baba (qq)		
	Temperatura de fermentación		
	5	8	11
KATBALPOM	46.75 ± 6.26 ^{a(X)}	44.46 ± 7.01 ^{b(X)}	44.59 ± 7.05 ^{b(X)}
ASOSELNOR	44.18 ± 7.25 ^{a(Y)}	42.20 ± 9.28 ^{b(Y)}	41.60 ± 9.12 ^{b(Y)}
ASODIRP	42.49 ± 5.34 ^{b(Y)}	44.40 ± 7.13 ^{a(X)}	42.80 ± 6.42 ^{ab(Y)}

¹ Medias seguidas con igual letra **minúscula** en la **fila** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).
Medias seguidas con igual letra **mayúscula** en la **columna** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

² Desviación estándar

Cuadro 4. Separación de medias¹ y DE² para temperatura de fermentación para las interacciones localidad por día y masa por día de fermentación.

Día	Localidad			Masa de Cacao en baba (qq)		
	KATBALPOM	ASOSELNOR	ASODIRP	11	8	5
0	29.49 ± 2.08 ^{a(X)}	28.18 ± 2.63 ^{a(X)}	28.94 ± 2.88 ^{a(X)}	28.79 ± 1.91 ^{a(X)}	27.97 ± 2.93 ^{a(X)}	29.85 ± 2.52 ^{a(X)}
1	38.94 ± 4.15 ^{b(X)}	33.04 ± 5.61 ^{b(Y)}	37.62 ± 2.82 ^{b(X)}	34.47 ± 4.43 ^{b(Y)}	35.80 ± 5.27 ^{b(Y)}	39.33 ± 4.03 ^{b(X)}
2	45.99 ± 2.81 ^{c(X)}	37.91 ± 9.34 ^{c(Y)}	43.49 ± 3.27 ^{c(X)}	40.35 ± 7.21 ^{c(Y)}	41.83 ± 8.31 ^{c(Y)}	45.21 ± 2.94 ^{c(X)}
3	49.20 ± 1.844 ^{c(X)}	43.30 ± 5.37 ^{d(Y)}	45.99 ± 2.99 ^{c(Y)}	44.95 ± 5.26 ^{de(X)}	46.47 ± 4.06 ^{d(X)}	47.07 ± 3.68 ^{c(X)}
4	47.49 ± 1.53 ^{c(X)}	45.84 ± 4.88 ^{de(X)}	45.99 ± 1.63 ^{c(X)}	44.73 ± 3.97 ^{d(Y)}	47.93 ± 1.53 ^{d(X)}	46.65 ± 2.62 ^{c(X)}
5	48.85 ± 1.79 ^{c(X)}	49.29 ± 0.63 ^{e(X)}	47.46 ± 3.10 ^{c(X)}	48.27 ± 1.79 ^{de(X)}	48.85 ± 2.52 ^{d(X)}	48.29 ± 2.32 ^{c(X)}
6	48.93 ± 1.17 ^{c(X)}	48.66 ± 0.99 ^{e(X)}	46.13 ± 2.04 ^{c(Y)}	48.53 ± 1.49 ^{de(X)}	48.14 ± 1.65 ^{d(X)}	47.39 ± 2.58 ^{c(X)}
7	49.09 ± 1.63 ^{c(X)}	48.78 ± 0.77 ^{e(X)}	46.94 ± 2.04 ^{c(X)}	48.25 ± 0.99 ^{de(X)}	47.93 ± 1.78 ^{d(X)}	48.63 ± 2.45 ^{c(X)}
8	49.08 ± 2.54 ^{c(X)}	48.93 ± 1.17 ^{e(X)}	46.60 ± 2.23 ^{c(X)}	48.62 ± 1.06 ^{e(X)}	48.25 ± 2.05 ^{d(X)}	47.86 ± 3.36 ^{c(X)}

¹ Medias seguidas con igual letra **minúscula** en la **columna** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).
Medias seguidas con igual letra **mayúscula** en la **fila** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

² Desviación estándar

y localidad de procesamiento. El análisis de separación de medias Tukey (Cuadro 3) mostró que la asociación KATBALPOM presentó mejores promedios de temperatura en comparación con las otras dos asociaciones, independientemente de la masa de fermentación. KATBALPOM presentó los promedios más altos de temperatura durante el procesamiento de 5 y 11 quintales de cacao; además también presentó el promedio más alto durante la fermentación de 8 quintales junto con ASODIRP.

El proceso de fermentación de cacao dentro de cada una de las tres localidades también presentó diferencias dependiendo de la masa. Es decir que, en las tres localidades el promedio de temperatura fue diferente dependiendo de la masa de procesamiento. Las asociaciones KATBALPOM y ASOSELNOR presentaron mejores promedios de temperatura durante la fermentación de 5 quintales en comparación con el procesamiento de los lotes más grandes evaluados en esta la misma localidad (8 y 11 quintales) (Cuadro 3). Esto indica que estas dos asociaciones obtuvieron mejores resultados durante el procesamiento de pequeñas masas de cacao. Por otro lado, en ASODIRP el promedio más alto de temperatura de fermentación se obtuvo durante el procesamiento de 8 quintales (Cuadro 3), lo que indica que esta asociación presentó mayores dificultades en el incremento de la temperatura en lotes pequeños y grades. En general, los tratamientos ASOSELNOR 11 y ASOSELNOR 8 fueron los que más dificultad presentaron en el incremento de la temperatura de fermentación, principalmente durante los primeros cuatro días.

Con base en el análisis de varianza se observó que la interacción entre los factores localidad y día de fermentación fue significativa, lo cual indica que el perfil de temperatura fue diferente durante algunos días de procesamiento en las diferentes localidades. La separación de medias Tukey mostró que los perfiles de temperatura fueron similares para las asociaciones KATBALPOM y ASODIRP, ya que únicamente presentaron diferencias significativas durante dos días de procesamiento (día 3 y 6) (Cuadro 4). Esta diferencia en los dos días de fermentación puede ser debido a diferencias en las frecuencias de volteos de la masa de cacao durante el proceso. En estas dos asociaciones se realizó el primer volteo a las 48 horas. Sin embargo; en KATBALPOM se continuaron los volteos cada 24 horas en los siguientes días y en ASODIRP se reportaron hasta tres volteos cada 48 horas para algunos lotes, lo cual pudo influenciar en el perfil de temperatura. ASOSELNOR presentó mayor variabilidad y diferente tendencia en el incremento de temperatura durante los primeros tres días de fermentación, en comparación con las otras dos asociaciones; sin embargo, durante los últimos cuatro días la temperatura más fue estable y con un comportamiento similar al de las otras dos localidades (Cuadro 4). La temperatura de procesamiento durante los dos últimos días de fermentación fue similar para las tres asociaciones, lo cual indica que a pesar de que ASOSELNOR presentó mayor variabilidad y diferente tendencia en el incremento de la

temperatura al inicio del proceso, esto no influyó en los valores de temperatura al finalizar la fermentación (Cuadro 4).

Existió significancia estadística en la interacción de los factores masa y día de procesamiento, esto indica que el perfil de temperatura de fermentación en algunos días fue diferente según la masa de proceso. La mayor diferencia en los perfiles de temperatura por día de fermentación se observó en los primeros cuatro días (Cuadro 4), periodo en el que la fermentación de 5 quintales presentó los promedios de temperatura más altos. Si embargo; desde el quinto al octavo día, no se observaron diferencias significativas entre la temperatura promedio de las diferentes masas de fermentación. Estos resultados son similares a los reportados por Hernández-Hernández et al. (2016), quienes observaron mayor variabilidad en la temperatura de fermentación durante los primeros tres días de procesamiento de tres diferentes masas de fermentación (22, 7 y 2 quintales), seguido por un comportamiento similar hasta finalizar el procesamiento.

• pH de la testa

El promedio de pH de la testa para la ecorregión fue de 4.33. En el análisis de los factores de masa y localidad, mediante el análisis de medias Tukey (Cuadro 5) se observó que en la asociación KATBALPOM, el promedio de pH de la testa más alto se obtuvo durante el procesamiento de 5 quintales, con un valor de 4.61, el cual tuvo diferencias significativas con relación al valor de pH de la testa durante el procesamiento de 8 y 11 quintales. Las otras dos asociaciones, ASOSELNOR y ASODIRP, no presentaron diferencias estadísticas significativas en el valor promedio de pH de la testa durante el procesamiento de 5, 8 y 11 quintales (Cuadro 5).

Al analizar el procesamiento de cacao de 5 quintales en las diferentes localidades se observó que existió diferencia entre las tres asociaciones, KATBALPOM (4.61) fue la asociación con el promedio de pH de la testa más alto, seguido de ASODIRP (4.39) y ASOSELNOR (4.24). El promedio de pH de la testa para el procesamiento de 8 quintales no tuvo diferencia estadística significativa entre KATBALPOM y ASODIRP. El promedio más bajo durante el procesamiento de 8 quintales se presentó en ASOSELNOR (4.22). En el procesamiento de 11 quintales de cacao, únicamente se observaron diferencias significativas entre ASOSELNOR y ASODIRP (Cuadro 5).

El análisis de la interacción de los factores localidad y día mediante la separación de medias Tukey mostró que el promedio de pH de la testa más alto se reportó al octavo día en KATBALPOM (4.81). En ASODIRP se obtuvieron incrementos significativos durante los primeros cuatro días; sin embargo, del cuarto al octavo día de fermentación no existieron diferencias estadísticas significativas en los valores de pH de la testa (Cuadro 6). En el inicio del procesamiento, día cero, se observaron diferencias significativas en el pH de la testa ($p \leq 0.05$), en el cual ASOSELNOR presentó el valor

Cuadro 5. Separación de medias¹ y DE² para pH de la testa y pH del cotiledón según localidad y masa de fermentación.

Localidad	Masa de Cacao en baba (qq)					
	pH de la testa			pH del cotiledón		
	5	8	11	5	8	11
KATBALPOM	4.61 ± 0.41 ^{a(X)}	4.38 ± 0.35 ^{b(X)}	4.26 ± 0.29 ^{b(XY)}	5.02 ± 0.49 ^{a(X)}	4.83 ± 0.53 ^{b(Y)}	4.75 ± 0.56 ^{b(Z)}
ASOSELNOR	4.24 ± 0.30 ^{a(Z)}	4.22 ± 0.32 ^{a(Y)}	4.19 ± 0.33 ^{a(Y)}	4.79 ± 0.64 ^{b(Y)}	5.09 ± 0.76 ^{a(X)}	4.91 ± 0.68 ^{b(Y)}
ASODIRP	4.39 ± 0.30 ^{a(Y)}	4.36 ± 0.34 ^{a(X)}	4.36 ± 0.31 ^{a(X)}	5.12 ± 0.72 ^{a(X)}	5.09 ± 0.76 ^{a(X)}	5.21 ± 0.78 ^{a(X)}

¹ Medias seguidas con igual letra **minúscula** en la **fila** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).
Medias seguidas con igual letra **mayúscula** en la **columna** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

² Desviación estándar

Cuadro 6. Separación de medias¹ y DE² para pH de la testa para las interacciones localidad por día y masa por día de fermentación.

Día	Localidad			Masa de Cacao en baba (qq)		
	KATBALPOM	ASOSELNOR	ASODIRP	11	8	5
0	3.82 ± 0.25 ^(Y)	4.17 ± 0.30 ^{bcd(X)}	3.88 ± 0.20 ^{c(Y)}	3.92 ± 0.35 ^{e(X)}	3.89 ± 0.23 ^{e(X)}	4.06 ± 0.28 ^{d(X)}
1	4.10 ± 0.16 ^{e(X)}	4.12 ± 0.15 ^{cd(X)}	3.92 ± 0.23 ^{c(X)}	4.02 ± 0.19 ^{de(XY)}	3.96 ± 0.20 ^{de(Y)}	4.17 ± 0.16 ^{d(X)}
2	4.37 ± 0.18 ^{d(X)}	4.08 ± 0.18 ^{a(Y)}	4.23 ± 0.12 ^{b(XY)}	4.21 ± 0.18 ^{cd(X)}	4.21 ± 0.14 ^{cd(X)}	4.25 ± 0.27 ^{cd(X)}
3	4.29 ± 0.17 ^{de(XY)}	4.14 ± 0.22 ^{cd(Y)}	4.38 ± 0.13 ^{ab(X)}	4.17 ± 0.18 ^{de(X)}	4.33 ± 0.17 ^{bc(X)}	4.31 ± 0.22 ^{cd(X)}
4	4.46 ± 0.34 ^{cd(X)}	4.06 ± 0.36 ^{d(Y)}	4.56 ± 0.20 ^{a(X)}	4.26 ± 0.35 ^{bcd(Y)}	4.31 ± 0.39 ^{bc(XY)}	4.50 ± 0.35 ^{abc(X)}
5	4.52 ± 0.20 ^{bcd(X)}	4.08 ± 0.41 ^{d(Y)}	4.50 ± 0.15 ^{a(X)}	4.28 ± 0.33 ^{bcd(X)}	4.31 ± 0.39 ^{bc(XY)}	4.44 ± 0.32 ^{bc(X)}
6	4.65 ± 0.24 ^{abc(X)}	4.42 ± 0.28 ^{ab(Y)}	4.58 ± 0.10 ^{a(XY)}	4.44 ± 0.14 ^{abc(X)}	4.61 ± 0.16 ^{a(X)}	4.60 ± 0.34 ^{ab(X)}
7	4.78 ± 0.28 ^{ab(X)}	4.38 ± 0.21 ^{abc(Y)}	4.65 ± 0.14 ^{a(X)}	4.50 ± 0.14 ^{ab(Y)}	4.58 ± 0.14 ^{ab(XY)}	4.74 ± 0.40 ^{a(X)}
8	4.81 ± 0.24 ^{a(X)}	4.51 ± 0.30 ^{a(Y)}	4.58 ± 0.10 ^{a(Y)}	4.63 ± 0.17 ^{a(X)}	4.60 ± 0.18 ^{a(X)}	4.67 ± 0.38 ^{ab(X)}

¹ Medias seguidas con igual letra **minúscula** en la **columna** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).
Medias seguidas con igual letra **mayúscula** en la **fila** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

² Desviación estándar

más alto (4.17) en comparación con las otras dos asociaciones (Cuadro 6). Esta diferencia puede ser debido a la variación en el estado de madurez de los frutos cosechados, lo cual se refleja en el leve incremento del pH de la testa. Los ácidos orgánicos, principalmente ácido cítrico, decrecen en concentración al incrementar el estado de madurez del fruto y por lo tanto el pH incrementa levemente conforme avanza el proceso de maduración (Nielsen, 2017). ASOSELNOR también presentó los valores más bajos de pH de la testa desde el segundo día de fermentación hasta el final del proceso. Esta asociación presentó un comportamiento diferente en los cambios de pH de la testa en comparación con las otras dos localidades.

El análisis de la interacción de factores masa y día de fermentación mostró mediante prueba de separación de medias Tukey que, durante el procesamiento de 11 quintales el promedio más alto de pH se obtuvo durante el último día de procesamiento con 4.63 y en la fermentación de 8 quintales el máximo valor se alcanzó al sexto día con 4.61. Por otro lado, durante el procesamiento de 5 quintales, el valor más alto se obtuvo al séptimo día de procesamiento, con 4.74, seguido de una leve disminución durante el último día de fermentación (Cuadro 6).

En el inicio del proceso de fermentación, día cero, las tres masas de fermentación no presentaron diferencias en el valor

del pH de la testa. Resultado diferente al observado en el análisis de la interacción de factores de localidad y día de fermentación, en donde una de las asociaciones presentó valores iniciales más altos. En general, el comportamiento del pH de la testa fue similar durante el procesamiento de las tres masas de fermentación, observando diferencia en los valores de pH de la testa únicamente en cuatro días (día 1, 4, 5 y 7) durante el procesamiento, principalmente debido a bajos valores de pH observados durante la fermentación de 11 quintales de cacao. El pH de la testa fue incrementando durante cada día de procesamiento, lo cual refleja los cambios generados por los microorganismos durante la fermentación. Al finalizar el proceso, las tres masas de fermentación (11, 8 y 5 quintales) no presentaron diferencia en el valor final de pH de la testa de los granos de cacao.

• pH del cotiledón

Mediante la separación de medias Tukey se determinó que, en la fermentación de 5 quintales de cacao, KATBALPOM y ASODIRP no presentaron diferencias en el promedio de pH del cotiledón. Por otro lado, ASOSELNOR fue estadísticamente diferente a las otras dos asociaciones, presentando el promedio más bajo con 4.79 (Cuadro 5). En la fermentación de 8 quintales de cacao, ASOSELNOR y ASODIRP no presentaron diferencias, y KATBALPOM presentó el promedio de pH del cotiledón más bajo con 4.83 (Cuadro 5). En el procesamiento de 11 quintales existió diferencia entre las tres asociaciones, el valor más alto se observó en ASODIRP (5.21), seguido de ASOSELNOR (4.91), y KATBALPOM (4.75). En general, los promedios más altos se observaron en ASODIRP en las tres masas de fermentación.

Los resultados mostraron diferencias en el pH del cotiledón durante el procesamiento de diferentes masas de cacao en cada comunidad, es decir que existe variabilidad dentro de las comunidades cuando se procesan diferentes masas de cacao, principalmente en KATBALPOM y ASOSELNOR. Los resultados mostraron que en KATBALPOM el procesamiento de 5 quintales presentó un promedio de pH del cotiledón más alto en comparación con el procesamiento de 8 y 11 quintales en esta misma asociación. En ASOSELNOR, fue el procesamiento de 8 quintales de cacao que presentó el promedio de pH más alto en comparación con las otras dos masas de fermentación. Por otro lado, en ASODIRP no existió diferencia en el pH del cotiledón durante el procesamiento de las tres masas (Cuadro 5).

La separación de medias Tukey permitió determinar que, en la interacción de los factores de localidad y día de fermentación, KATBALPOM en el día cero y uno presentó valores de pH del cotiledón diferentes a los otros días de procesamiento. Desde el segundo hasta el octavo día de fermentación no existió diferencia en el pH del cotiledón, sin embargo, si se observó tendencia decreciente del pH durante los primeros tres días, seguido de un periodo de ligero incremento del pH durante los últimos cuatro días de

fermentación (Cuadro 7). En ASOSELNOR el pH disminuyó significativamente durante los primeros tres días de proceso, a partir del cuarto día no existieron diferencias en el cambio de pH del cotiledón ($p > 0.05$). Similar comportamiento fue obtenido en ASODIRP, donde en el segundo y tercer día de procesamiento se obtuvo una reducción significativa de pH y entre el quinto y octavo día no existió cambio significativo en la acidez del cotiledón (Cuadro 7).

En el inicio de la fermentación, ASODIRP presentó el valor más alto en pH del cotiledón con 6.50. En los primeros tres días KATBALPOM presentó pH promedio menor al de las otras dos asociaciones, lo que indica que los ácidos generados durante los primeros días de procesamiento ingresaron al cotiledón con mayor rapidez en esta localidad. Desde el cuarto hasta el séptimo día no existió diferencia entre el procesamiento de cacao en las tres asociaciones ($p > 0.05$). Al finalizar el proceso de fermentación KATBALPOM presentó el promedio de pH del cotiledón más alto con 4.72 y ASOSELNOR reportó el promedio más bajo con 4.44 (Cuadro 7).

Mediante la separación de medias Tukey para la interacción de factores entre masa y día de fermentación (Cuadro 7) se observó que en el procesamiento de 11 quintales de cacao se presentaron cambios significativos en el pH durante los primeros tres días de procesamiento; del quinto al octavo día de fermentación no hubo cambios significativos en el pH del cotiledón. Durante la fermentación de 8 quintales solamente se observaron cambios significativos entre el primero, segundo, y tercer día de procesamiento, del tercer al octavo día no hubo cambios significativos en la acidez del cotiledón. En la fermentación de 5 quintales también se observaron cambios significativos durante los primeros tres días de proceso; sin embargo, en este caso el pH más bajo ($p \leq 0.05$) se obtuvo al llegar al quinto día de fermentación, con un valor de 4.54, luego el pH del cotiledón incrementó levemente, finalizando con un valor de 4.66 (Cuadro 7).

En general, el comportamiento del pH del cotiledón fue similar en las tres masas de fermentación evaluadas, las principales diferencias se observaron en los primeros dos días de procesamiento debido a la rápida disminución de la acidez en la fermentación de 5 quintales. En el día cero de procesamiento no existió diferencia en el pH inicial del cotiledón de los granos de cacao, sin embargo, en el primer y segundo día de proceso, la fermentación de 5 quintales de cacao presentó valores más bajos en el pH interno de los granos de cacao. Desde el tercer al octavo día de fermentación, no se presentaron diferencias en pH del cotiledón en las tres masas de procesamiento (Cuadro 7).

• Determinación de la finalización del proceso de fermentación

La testa actúa como una barrera semipermeable para la circulación de sustancias entre los cotiledones y el mucílago (Figura 1). Previa investigación han demostrado que la

Cuadro 7. Separación de medias¹ y DE² para la variable pH del cotiledón para las interacciones localidad por día y masa por día de fermentación.

Día	Localidad			Masa de Cacao en baba (qq)		
	KATBALPOM	ASOSELNOR	ASODIRP	11	8	5
0	5.99 ± 0.40 ^{a(V)}	6.01 ± 0.36 ^{a(V)}	6.50 ± 0.10 ^{a(X)}	6.12 ± 0.46 ^{a(X)}	6.12 ± 0.42 ^{a(X)}	6.26 ± 0.28 ^{a(X)}
1	5.33 ± 0.37 ^{b(Z)}	5.74 ± 0.42 ^{ab(V)}	6.22 ± 0.28 ^{a(X)}	5.76 ± 0.55 ^{b(X)}	5.90 ± 0.56 ^{a(X)}	5.64 ± 0.41 ^{b(V)}
2	4.78 ± 0.38 ^{c(V)}	5.46 ± 0.70 ^{b(X)}	5.47 ± 0.43 ^{b(X)}	5.33 ± 0.65 ^{c(X)}	5.46 ± 0.61 ^{b(X)}	4.93 ± 0.46 ^{c(V)}
3	4.53 ± 0.14 ^{c(V)}	4.93 ± 0.36 ^{c(X)}	4.98 ± 0.36 ^{c(X)}	4.91 ± 0.47 ^{d(X)}	4.75 ± 0.32 ^{c(X)}	4.78 ± 0.25 ^{cd(X)}
4	4.58 ± 0.24 ^{c(X)}	4.57 ± 0.19 ^{d(X)}	4.82 ± 0.18 ^{cd(X)}	4.65 ± 0.30 ^{de(X)}	4.59 ± 0.18 ^{c(X)}	4.73 ± 0.21 ^{cd(X)}
5	4.56 ± 0.16 ^{c(X)}	4.38 ± 0.20 ^{d(X)}	4.58 ± 0.14 ^{d(X)}	4.50 ± 0.16 ^{e(X)}	4.50 ± 0.12 ^{c(X)}	4.54 ± 0.27 ^{d(X)}
6	4.65 ± 0.23 ^{c(X)}	4.43 ± 0.18 ^{d(X)}	4.56 ± 0.10 ^{d(X)}	4.46 ± 0.16 ^{e(X)}	4.55 ± 0.18 ^{c(X)}	4.63 ± 0.22 ^{cd(X)}
7	4.68 ± 0.24 ^{c(X)}	4.42 ± 0.21 ^{d(X)}	4.59 ± 0.11 ^{d(X)}	4.47 ± 0.09 ^{e(X)}	4.57 ± 0.14 ^{c(X)}	4.65 ± 0.33 ^{cd(X)}
8	4.72 ± 0.28 ^{c(X)}	4.44 ± 0.24 ^{d(V)}	4.57 ± 0.14 ^{d(X)}	4.44 ± 0.10 ^{e(X)}	4.60 ± 0.16 ^{c(X)}	4.66 ± 0.37 ^{cd(X)}

¹ Medias seguidas con igual letra **minúscula** en la **columna** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).
Medias seguidas con igual letra **mayúscula** en la **fila** no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

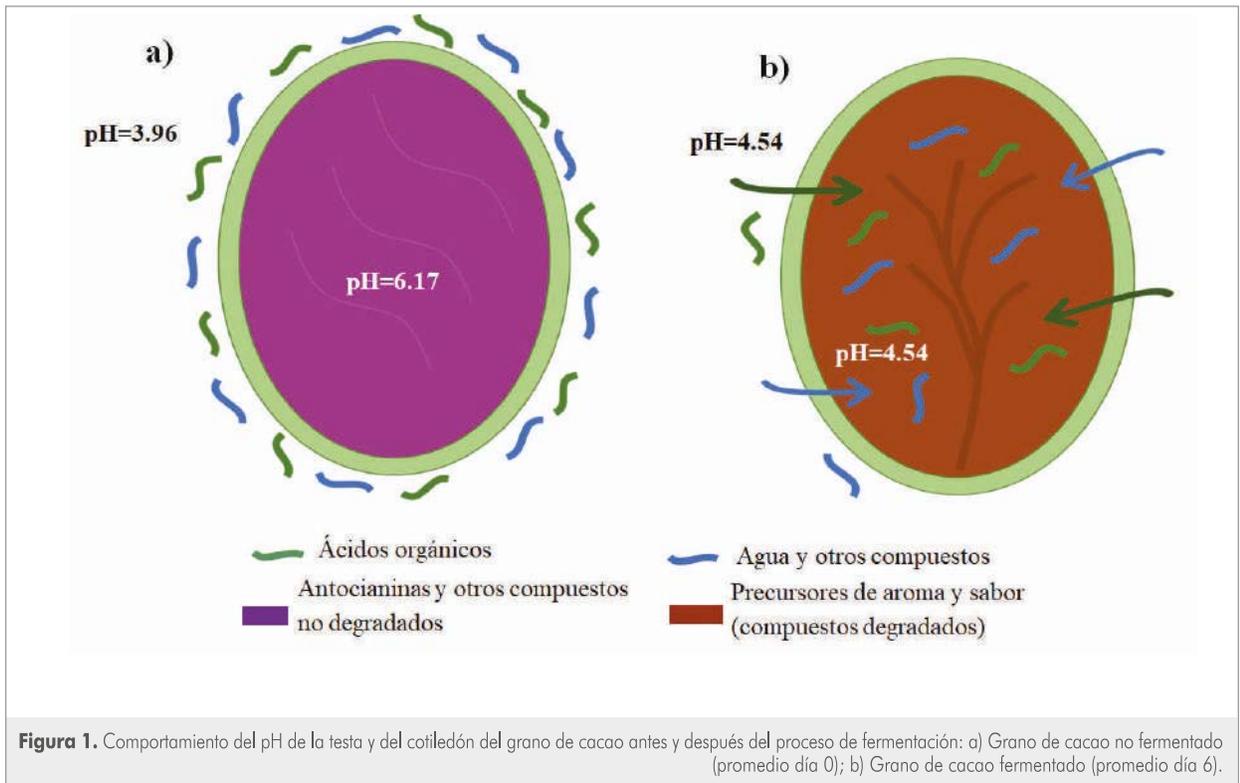
² Desviación estándar

testa es permeable al agua, etanol, ácido acético y láctico y algunos componentes orgánicos volátiles (Afoakwa, 2014; Wood, 2001). La testa también actúa como barrera para contener las sustancias (precursores de sabor) que son liberadas y formadas en los cotiledones (parte interna del grano) durante la fermentación. Además, la testa posee un rol importante en la tasa de transferencia de masas o sustancias durante el secado (Wood, 2001).

Por esta razón, el monitoreo de pH de la testa y pH del cotiledón es importante debido a que es un indicador del grado de cambios que han ocurrido en el mucílago y en la parte interna del grano de cacao. Andersson et al. (2006) sugiere que la calidad de aroma y sabor de los granos de cacao fermentados se debe principalmente a las características de transporte cinético de agua y solutos a través de la testa de los granos durante el proceso de fermentación. El mucílago de la fruta y la testa de los granos son exclusivamente de origen materno, mientras que el embrión y el endospermo están conformados por el código genético de los dos padres, lo que significa que la genética del árbol que actúa como madre influencia en mayor proporción el desarrollo de aroma y sabor en los granos de cacao (Andersson et al., 2006). El punto en el cual el pH de la testa y pH del cotiledón coinciden es considerado como el punto óptimo para la finalización del proceso de fermentación (Figuras 1b y 2), ya que en este momento los ácidos generados en el exterior han ingresado completamente a la parte interna del grano, generando las mismas condiciones de acidez dentro y fuera del grano de cacao.

El comportamiento del pH de la testa, la cual está en contacto directo con el mucílago, depende del estado de madurez del fruto y de la actividad de los microorganismos durante la fermentación. El estado de madurez de los granos de cacao al momento de cosecha determina la concentración de ácido cítrico y la cantidad de azúcares presentes en el mucílago, y estos a su vez serán el sustrato para el crecimiento y metabolismo de los microorganismos. Por esta razón, los criterios de cosecha empleados en las diferentes localidades determinan el estado y la calidad del sustrato que utilizarán los microorganismos durante el procesamiento. Por otro lado, el valor del pH del cotiledón es similar al inicio del procesamiento y los cambios durante la fermentación dependen del grado de difusión de los compuestos generados en la pulpa hacia lo interno de los granos de cacao a través de la testa.

Los resultados mostraron que los valores óptimos del pH de la testa y del cotiledón para la finalización del proceso de fermentación fueron ligeramente diferentes dependiendo de la localidad y de la masa de procesamiento (Figura 2). Algunos tratamientos alcanzaron valores óptimos al quinto día de fermentación (KATBALPOM con 5 y 8 quintales), y otros al séptimo día de procesamiento (ASOSELNOR con 5 quintales). Esto indica que los valores óptimos de pH de la testa y del cotiledón para la finalización de la fermentación deben ser determinados para cada localidad y masa de procesamiento, ya que no existe un valor único recomendado debido a la variabilidad en el comportamiento de los valores de pH dependiendo de las condiciones de procesamiento.



Cuadro 8. Correlación de Pearson (amarillo) y valor de p^1 (Verde) de las principales variables de fermentación de cacao.

	Humedad Ambiente	Temperatura Ambiente	Temperatura de Fermentación	pH de la testa	pH del cotiledón
Humedad ambiente	1	-0.573	-0.101	-0.097	0.114
		0.000	0.071	0.081	0.040
Temperatura ambiente	-0.573	1	0.273	0.299	-0.187
	0.000		0.000	0.000	0.001
Temperatura de fermentación	-0.101	0.273	1	0.547	-0.826
	0.071	0.000		0.000	0.000
pH de la testa	-0.097	0.299	0.547	1	-0.406
	0.081	0.000	0.000		0.000
pH del cotiledón	0.114	-0.187	-0.826	-0.406	1
	0.040	0.001	0.000	0.000	

¹ Valores con una probabilidad < 0.05 se consideran significativos

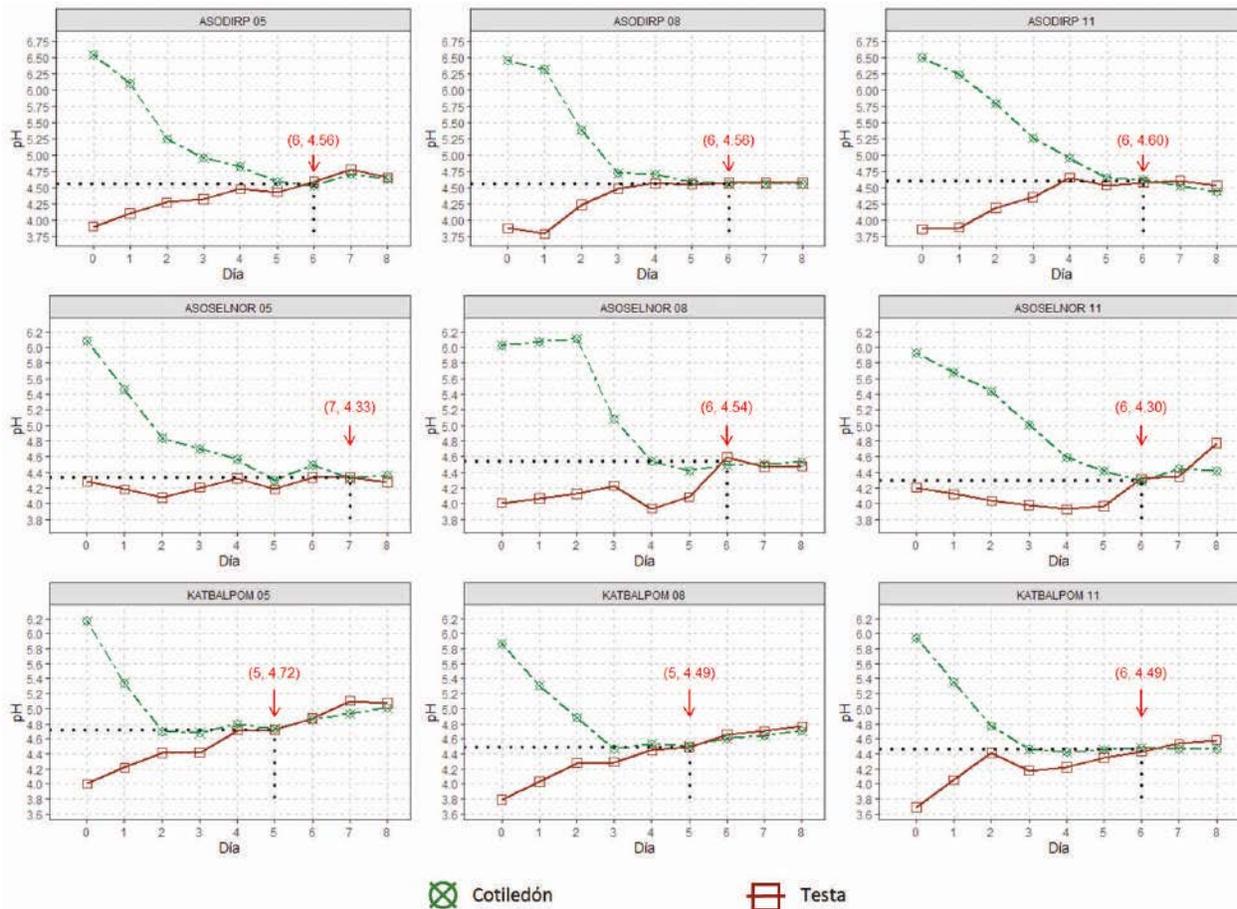


Figura 2. Perfil de pH para cada tratamiento (localidad y masa) durante la fermentación de cacao.

• Correlación de las principales variables de fermentación

La dinámica de la temperatura de fermentación y el pH de la testa y del cotiledón en función del tiempo se presentan en las Figuras 3 y 5. Tanto el pH de la testa como la temperatura de fermentación se incrementan a medida que avanza el proceso de fermentación. En el caso del pH del cotiledón, este se reduce con el incremento de la temperatura de fermentación.

El análisis de correlación de Pearson (Cuadro 8) mostró que existe una moderada correlación lineal positiva (0.547) entre la temperatura de fermentación y pH de la testa del cacao, lo cual indica que, al incrementar la temperatura de fermentación, existe un incremento del pH de la testa. Por otro lado, existe una alta correlación lineal negativa (-0.826) entre la temperatura de fermentación y el pH del cotiledón, indicando que cuando incrementa la temperatura de fermentación, el pH del cotiledón disminuye.

Este comportamiento se observó durante el procesamiento de cacao, donde las asociaciones que presentaron mayor promedio de temperatura de fermentación también presentaron mayor promedio de pH de la testa y menores valores de pH del cotiledón. La relación entre los cambios de temperatura de la masa, el incremento del pH de la testa y la disminución del pH del cotiledón se debe a la acción de los microorganismos sobre el mucílago del cacao en fermentación (Afoakwa, 2016a). El mucílago está compuesto por agua (82-87%), azúcares (10-13%), sales (8-10%), pentosanos (2-3%), y ácido cítrico (1-2%), y es el sustrato utilizado por los microorganismos para la fermentación. Los componentes producidos por las levaduras y las bacterias generan cambios de pH y migran a través de la testa hacia la parte interna de los granos de cacao, provocando una reducción en el pH del cotiledón. La temperatura de fermentación puede ser utilizada como un indicador para la predicción de los valores de pH de la testa y del cotiledón debido a la alta correlación de las variables.

Análisis de regresión de las principales variables de fermentación

La temperatura de fermentación presentó alta correlación con los valores de pH de la testa y del cotiledón durante el procesamiento de cacao. Por esta razón, se realizó un análisis de regresión lineal y no lineal, para determinar el mejor modelo para la predicción de los perfiles de pH utilizando la temperatura de la masa de fermentación como variable independiente. Los modelos generados en el presente estudio describen la relación existente entre las variables de fermentación bajo las condiciones de procesamiento evaluadas en esta investigación y pueden ser utilizados como una guía para el estudio y monitoreo del proceso de fermentación. Sin embargo; es recomendable que los productores de cacao generen modelos y perfiles de fermentación bajo las condiciones de procesamiento existentes en cada una de las regiones de producción para obtener modelos más ajustados y con mejores niveles de predicción.

Regresión no lineal entre temperatura de fermentación y pH de la testa

Se realizó una regresión no lineal para determinar el mejor modelo para explicar el efecto de los cambios de temperatura en el valor del pH de la testa de cacao durante la fermentación. A través del modelo seleccionado (Figura 4) se realizó una predicción de los valores de pH de la testa utilizando la temperatura de la masa de fermentación como referencia.

El uso de este modelo ajustado permite obtener un valor aproximado de los valores de pH de forma inmediata, ya que la medición de temperatura no requiere de equipo especial ni de preparación de la muestra para la medición. Sin embargo, por ser un modelo de predicción posee un nivel de error, el cual se expresa a través del intervalo de confianza.

Regresión lineal entre temperatura de fermentación y pH del cotiledón

Se realizó la estimación de la pendiente y el intercepto del modelo lineal entre la temperatura de la masa en fermentación y pH del cotiledón para el establecimiento del modelo de regresión lineal entre ambas variables (Figura 6). En el caso del presente estudio, de acuerdo con el perfil promedio de pH de la testa y del cotiledón para la ecorregión de Lachuá, el final del proceso se obtuvo al sexto día de fermentación, con un valor final de pH de 4.5 (testa y cotiledón) y una temperatura de 48.02°C. Según el modelo de predicción, con este valor de temperatura el valor de pH del cotiledón al final del proceso está entre 4.13 y 5.18, de acuerdo con el intervalo de confianza del modelo. Con este modelo es posible establecer un estimado de los valores de pH del cotiledón mediante el uso de la temperatura como variable de predicción, esto permite obtener una idea de los cambios que han ocurrido en la parte interna de los granos de cacao de forma rápida. Sin embargo; los modelos deben ser validados y ajustados a las condiciones locales de procesamiento de cada localidad debido a que diversos factores influyen en los perfiles de fermentación.

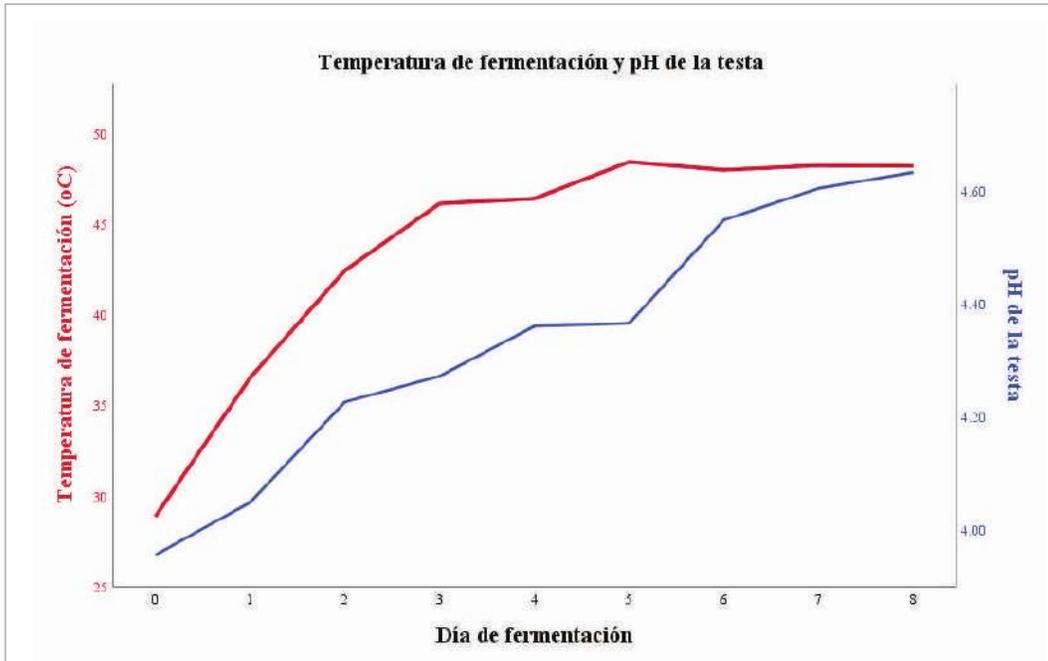


Figura 3. Dinámica de la temperatura de fermentación y pH de la testa en función del tiempo de fermentación.

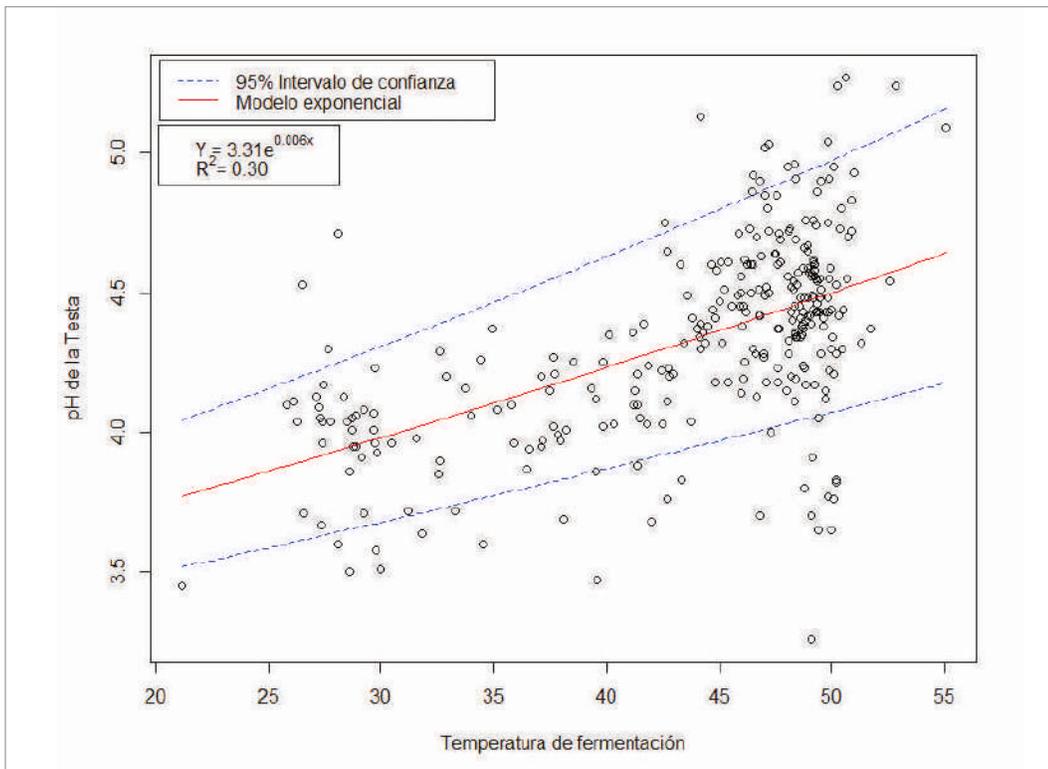


Figura 4. Relación entre temperatura de fermentación y pH de la testa.

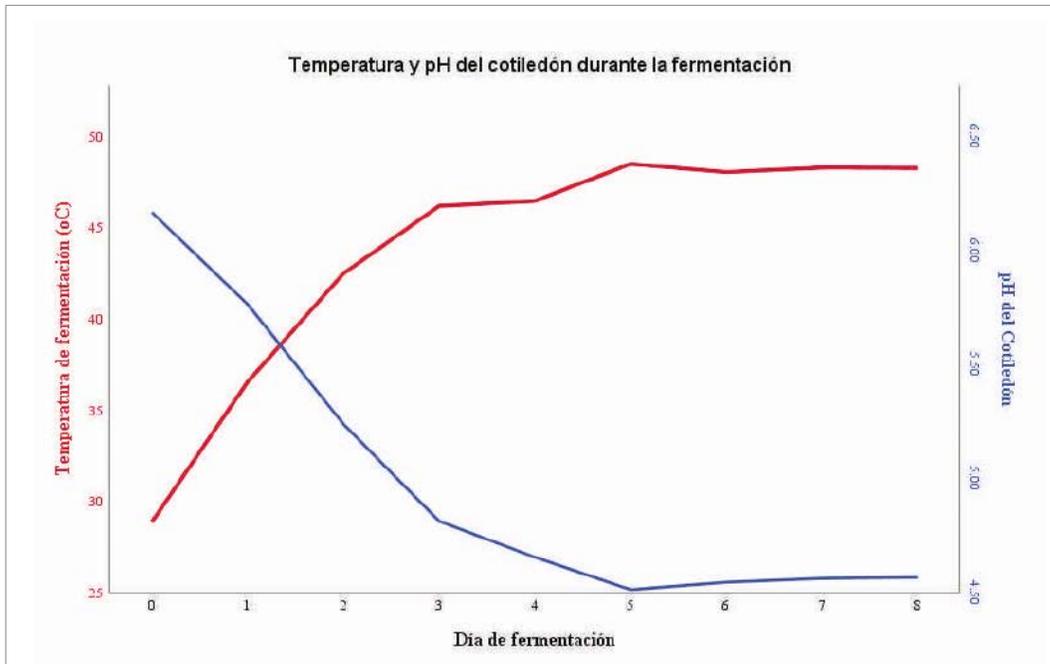


Figura 5. Dinámica de la temperatura de fermentación y pH del cotiledón en función del tiempo de fermentación.

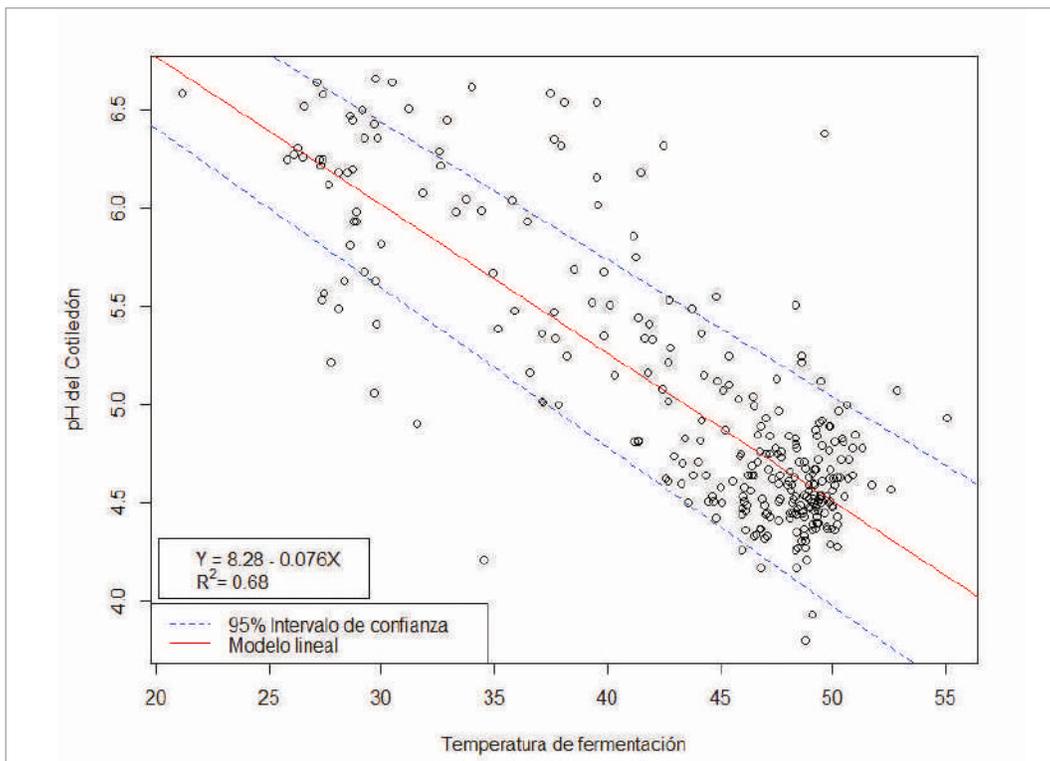


Figura 6. Relación entre la temperatura de fermentación y el pH del cotiledón.

CONCLUSIONES

- Para la región de Lachuá, el proceso de fermentación finaliza al sexto día de procesamiento cuando la temperatura alcanza un valor de 48.02°C y el pH de la testa y del cotiledón coinciden con un valor de pH de 4.50. Sin embargo; los resultados mostraron que los perfiles de fermentación dependen de la localidad y masa de procesamiento. Para los tratamientos KATBALPOM 5 quintales y KATBALPOM 8 quintales, el final de la fermentación se obtuvo al quinto día de procesamiento con un valor de pH de 4.72 y 4.49 respectivamente. Por el contrario, el tratamiento que requirió mayor tiempo para la finalización fue ASOSELNOR 5 quintales, el cual finalizó el proceso de fermentación al séptimo día de procesamiento con un valor final de pH de 4.33. Además, se pudo observar que existe una correlación lineal positiva (0.547) entre la variable temperatura de fermentación y pH de la testa y una alta correlación lineal negativa (-0.826) entre la temperatura de fermentación y el pH del cotiledón. Por lo tanto, la temperatura de la masa de fermentación podría ser utilizada como un indicador para la estimación de los valores de pH.
- Estos resultados sugieren que los protocolos utilizados actualmente en la ecorregión de Lachuá pueden ser mejorados y ajustados de acuerdo con la masa de cacao en fermentación y la localidad de procesamiento, basados en los perfiles de temperatura, pH de la testa y del cotiledón. Actualmente, la fermentación se realiza de forma empírica, únicamente realizando pruebas de corte, lo cual produce alta variabilidad en la calidad de la fermentación ya que el proceso finaliza de acuerdo con el criterio de las personas encargadas y no de mediciones de indicadores objetivos, como el pH y la temperatura. Además, los resultados sugieren que es posible utilizar la temperatura de la masa de fermentación como un indicador para el monitoreo de los perfiles de pH durante la fermentación de cacao.

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de investigación fue posible gracias a la colaboración de los actores del Grupo de Trabajo Norte de la Cadena de Valor de Cacao de Guatemala; a la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA) y sus asociaciones de base (ASODIRP, ASOSELNOR y KATBALOM); al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

por el financiamiento del proyecto a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en Guatemala; y al Centro Universitario del Norte CUNOR-USAC a través del Departamento de Estudios de Postgrado.

BIBLIOGRAFÍA

- Afoakwa, E. O. (2014). *Cocoa production and processing technology* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16546>
- Afoakwa, E. O. (2016a). The chemistry of flavour development during cocoa processing and chocolate manufacture. In *Chocolate science and technology* (2nd ed., pp. 154-170). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118913758.ch8>
- Afoakwa, E. O. (2016b). Cocoa bean composition and chocolate flavour development. In *Chocolate science and technology* (2da ed., pp. 80-101). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118913758.ch5>
- Agrocadena de Cacao de Guatemala. (2016). *Plan estratégico de la agrocadena de cacao de Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt/download/enac16-25.pdf>
- Ali, N. A., Baccus-Taylor, G. S. H., Sukha, D. A., y Umaharan, P. (2016). *Exploring genetic diversity and postharvest processing management towards genetic branding*. Cocoa Research Centre.
- Amoa-Awua, W. K. (2015). Methods of cocoa fermentation and drying. In R. F. Schwan & G. H. Fleet (Eds.), *Fermented Foods and Beverages Series: Cocoa and coffee fermentations* (pp. 71-102). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17536>
- Andersson, M., Koch, G., y Lieberei, R. (2006). Structure and function of the seed coat of *Theobroma cacao* L. and its possible impact on flavour precursor development during fermentation. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 80(1), 48-62. <https://ojs.openagrar.de/index.php/JABFQ/index>
- García González, E., Serna Murillo, A. M., Córdoba Pantoja, D. A., Marín Aricapa, J. G., Montalvo Rodríguez, C., y Ordoñez Narváez, G. A. (2019). Estudio de la fermentación espontánea de cacao (*Theobroma cacao* L.) y evaluación de la calidad de los granos en una unidad productiva a pequeña escala. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 6(1), 41-51. <https://doi.org/10.23850/24220582.1635>
- Hernández Hernández, C., López Andrade, P. A., Ramírez Guillermo, M. A., Guerra Ramírez, D., y Caballero Pérez, J. F. (2016). Evaluation of different fermentation processes for use by small cocoa growers in Mexico. *Food Science & Nutrition*, 4(5), 690-695. <https://doi.org/10.1002/fsn3.333>
- Medina Müller, E. M. (2012). *Impacto del programa de incentivos forestales en la Ecorregión Lachuá, Guatemala* Centro Agronómico Tropical]. Turrialba, Costa Rica. <http://www.sidalc.net/repdoc/A8967e/A8967e.pdf>
- Nielsen, S. S. (2017). *Food analysis* (5ta ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5>
- Ochoa, W. (2015). *Línea base de cadena del cultivo de cacao*. Proyecto "Fortalecimiento de la productividad de la micro, pequeña y mediana empresa". Ministerio de Economía. Gobierno de Guatemala. 85 p.
- Papalexandratou, Z., Vrancken, G., De Bruyne, K., Vandamme, P., y De Vuyst, L. (2011). Spontaneous organic cocoa bean box fermentations in Brazil are characterized by a restricted species diversity of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria. *Food Microbiology*, 28(7), 1326-1338. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.06.003>
- Ruiz, A. (2015) *Mejoramiento de la transformación primaria del cacao*. (Contrato 083-2015-BRIFF 8000-GT). Proyecto "Fortalecimiento de la productividad de la micro, pequeña y mediana empresa". Ministerio de Economía. Gobierno de Guatemala. 93 p.
- Salguero, B. (2015). Análisis de la situación actual y diagnóstico de la cadena de valor de cacao. Proyecto "Fortalecimiento de la productividad de la micro, pequeña y mediana empresa". Ministerio de Economía. Gobierno de Guatemala. 81 p.
- Say, E., y Villalobos, M. (2012). *Sistemas agroforestales con cacao, competitividad, ambiente y cultura: una oportunidad para mejorar la cadena productiva y la calidad de vida de familias productoras en el país, la visión del CATIE -MAP*. Proyecto Cacao Centroamérica. <https://cadenacacaoca.info/>
- Umaña Calderón, M. E. (2013). *Anteproyecto de una planta de procesamiento para la elaboración de un producto tradicional y un producto funcional obtenido a partir del grano de cacao (Theobroma cacao L.) fermentado y no fermentado* Universidad de Costa Rica]. San José, Costa Rica. <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/>
- Wood, G. R. (2001). From harvest to store. In G. R. Wood & R. A. Lass (Eds.), *Cocoa* (4ta ed., pp. 444-504). Blackwell Science. <https://doi.org/10.1002/9780470698983.ch13>

EVALUACIÓN DEL PROCESO FERMENTACIÓN DE CACAO EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA

Josué Bocel
jibocel@uvg.edu.gt,

Isabel Alonzo
ialonzo@uvg.edu.gt,

Donovan Gómez
degomez@uvg.edu.gt,

Patricia Palacios
ppalomo@uvg.edu.gt,

Ana Silvia Colmenares
asruiz@uvg.edu.gt,

Edwin De León
edeleon@uvg.edu.gt,

Rolando Cifuentes
rcifuen@uvg.edu.gt

**Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios
- CEEA**

RESUMEN

En Guatemala no se cuenta con estudios relacionados con el procesamiento primario del cacao en las diferentes zonas productoras del país. Con este estudio se buscó sistematizar el proceso de fermentación de grano de cacao en baba en varias asociaciones de la región norte, así como realizar un monitoreo de temperatura, pH y grados Brix a lo largo del proceso. Se contó con la participación de los centros de acopio de las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, APODIP, ADEMAYACH y ADIOESMAC. Se realizó una consulta a cada asociación sobre el proceso de fermentación y se estableció una prueba de fermentación en varios centros de acopio. El proceso de fermentación sigue las mismas etapas. Incluye la limpieza de las cajas de madera no resinosa, cobertura del interior, tapado de las cajas que contienen la baba, volteos a las 48, 96, 120, 144 y 168 h y pruebas de corte para la finalización del proceso. Las principales diferencias entre centros de acopio son la infraestructura de la unidad de fermentado, volumen de las cajas para fermentación, materiales para cobertura interior y tapado de las cajas, así como el tiempo real del proceso. El grano de cacao en baba utilizado como materia prima es muy variable en cuanto a los parámetros iniciales de pH, temperatura y grados brix, indicando que en algunos casos el proceso de fermentación ha iniciado en los sacos de entrega del material. Hay una separación del cacao orgánico y del cacao con manejo convencional. Se estableció que el tiempo real de fermentación varió de 5 a 8 días, con un tiempo modal de 7. El pH y los grados Brix de la masa de cacao fueron mayores al final del proceso con relación al valor inicial de cada parámetro. La dinámica de la temperatura durante el proceso de fermentación siguió un patrón similar entre centros de acopio. Existe diferencia en el número de horas en que se alcanzan los 50°C en las cajas de fermentación, variando de 60 a más de 130 h. La temperatura varía en los diferentes puntos de la masa de cacao en fermentación, siendo mayor a la altura de 2/3 de la base de la caja y en la posición intermedia entre la orilla y el centro del plano horizontal. Se encontró diferencia significativa entre asociaciones para temperatura mínima y máxima, en tanto que no se encontró diferencia para la temperatura media. Se espera que estos resultados sean de utilidad para el diseño de mejoras en el proceso de fermentación del cacao en la región.

PALABRAS CLAVE: cacao, fermentación, temperatura, procesamiento primario, pH y grados brix.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE COCOA FERMENTATION PROCESS IN THE NORTHERN REGION OF GUATEMALA

In Guatemala there are no studies related to the primary processing of cocoa in the different producing areas of the country. The objectives of this study were to systematize the fermentation process of cocoa beans in slime in various associations in the northern region, as well as to monitor temperature, pH and Brix degrees throughout the process. The collection centers of the

KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, APODIP, ADEMAYACH and ADIOESMAC associations participated. Each association was consulted about the process and a fermentation trial was established in several collection centers. The fermentation process follows the same stages. It includes cleaning the non-resinous wooden boxes, covering the inside of the box, covering the boxes containing the slime, turning at 48, 96, 120, 144 and 168 hours and cutting tests for the completion of the process. The main differences between collection centers are the infrastructure of the fermentation unit, volume of the fermentation boxes, materials for interior covering and lidding of the boxes, as well as the completion time of the process. The cocoa slime used as raw material is highly variable in terms of the initial values of pH, temperature and Brix degrees, indicating that in some cases the fermentation process has started in the delivery bags. There is a separation of organic cocoa and cocoa with conventional management. It was established that the fermentation time varied from 5 to 8 days, with a modal time of 7. The pH and Brix degrees of the cocoa mass were higher at the end of the process in relation to the initial value of each parameter. The temperature dynamics during the fermentation process followed a similar pattern between collection centers. There is a difference in the number of hours in which 50°C is reached in the fermentation boxes, varying from 60 to more than 130 hours. The temperature varies at different points in the fermenting cocoa mass, being greater at the height of 2/3 of the base of the box and in the intermediate position between the edge and the center of the horizontal plane. A significant difference was found between associations for minimum and maximum temperature, while no difference was found for mean temperature. These results are expected to be useful for the design of improvements in the fermentation process of the cocoa slime in the region.

KEY WORDS: cocoa, fermentation, temperature, primary processing, pH and brix degrees.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es originario del continente americano, específicamente de la región amazónica de Sudamérica y cierta región del área de Mesoamérica comprendida entre los países de México y Guatemala. Este fruto se convirtió en bebida sagrada para las culturas precolombinas Azteca y Maya (Guzmán, 2016). Actualmente, los ocho países con mayor producción son: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador y Malasia, los cuales representan alrededor del 90% de la producción mundial.

En 2014 el área cultivada con cacao en Guatemala era de 4,410 hectáreas distribuidas en Alta Verapaz (31%), Suchitepéquez (31%), San Marcos (25%) y los demás departamentos de la república (13%), entre los cuales se encuentran Petén, Izabal, Quiché y Retalhuleu. El país posee un gran potencial de producción de cacao de alta calidad el cual es demandado por la industria chocolatera (MAGA, 2016).

El cultivo de cacao es una actividad desarrollada principalmente por pequeños y medianos productores, con modalidades de producción caracterizadas como convencional y fino de aroma. En 2015 Guatemala fue calificado con un potencial de producción del 50% de cacao fino de aroma el cual es cotizado en un rango de precios entre \$3,500 y \$4,000 dólares americanos por tonelada (Pangán & Oliver, 2017).

El 96% de la producción de granos de cacao en Guatemala está dirigido principalmente a la industria artesanal de chocolate de taza y es altamente consumido en el país, mientras que el 4% restante se va a exportación (Banguat,

n.d.). Del total de las exportaciones de cacao en grano el 40% se dirige a Estados Unidos y el 100% de estas exportaciones se catalogan como cacao fino de aroma (International Trade Center, n.d.). Esta experiencia de exportación es relativamente reciente en el país, ya que se empezó a llegar al mercado estadounidense a partir del 2008, con un incremento marcado en 2013 cuando algunos grupos productores iniciaron sus exportaciones directas a Estados Unidos. Estos grupos son Fundación Laguna Lachúa (FUNDALACHUA) y Federación de Cooperativas de las Verapaces (FEDECOVERA) quienes proyectan aumentar anualmente el flujo de capital por exportación a mercados diferenciados de Estados Unidos (MAGA, 2016).

La cadena de cacao está conformada por actores directos divididos en 5 eslabones identificados de la siguiente manera: preproducción (viveros), producción, transformación primaria (beneficiado), transformación secundaria y comercialización. La transformación primaria consiste en la fermentación y secado del grano, por lo que a veces esta etapa se incluye en el eslabón de producción. En Guatemala este proceso suele ser realizado por las organizaciones productoras que cuentan con infraestructura básica para esta labor, así como algunas organizaciones que proporcionan asistencia técnica puntual a grupos productores. Estas organizaciones se caracterizan como de segundo nivel, ya que acopian la producción de grano en baba de un grupo de productores con sus parcelas cercanas al centro de acopio. Su objetivo es hacer un fermentado y secado conjunto buscando mejorar y unificar calidades, para situar la producción en segmentos de mercado que así lo requieran (MAGA, 2016).

El proceso de fermentación es una etapa crucial en el desarrollo de los precursores del aroma del chocolate. En las etapas de fermentación y secado se desarrollan los precursores del aroma y del sabor, por lo que es importante controlar la fermentación para garantizar la inocuidad y evitar el crecimiento de hongos formadores de ocratoxinas. Los factores que influyen en el proceso de fermentación son: variedad del cacao, la temperatura, aireación, y la frecuencia del volteo. Un mal proceso de fermentación puede causar moho, sabor ácido, amargo o astringente excesivo (CAOBISCO/AEC/FCC, 2015).

El proceso de fermentación es un proceso simple que se practica diferente según la región. Pero independientemente del método empleado se debe efectuar en un espacio cubierto y adecuadamente protegido contra lluvias, vientos y luz solar directa. Este proceso debe efectuarse inmediatamente o cuando mucho durante las primeras seis horas después de retirarse los granos del fruto (CAOBISCO/AEC/FCC, 2015). Por lo general las pochas de cacao se parten y se extrae a mano los granos de cacao en baba. Estos granos se agrupan y algunos los colocan en cajas de madera con cubiertas de materiales diversos por ejemplo plástico, hojas de plátano, costales, etc. Estos montones se dejan reposar por algunos días y es ahí donde tiene lugar la fermentación de los granos (John et al., 2020).

Los intervalos de volteo o remezcla de la masa de fermentación, al igual que el momento óptimo para detener el proceso cambia según la variedad de cacao. Sin embargo, para la mayoría de las variedades de tipo *Forastero* y *Trinitario* el primer volteo se realiza a las 48 horas. El segundo volteo suele realizarse a las 96 horas y el momento óptimo para detener la fermentación suele ser entre las 120 y 168 horas (CAOBISCO/AEC/FCC, 2015). La tasa de fermentación de los granos de cacao suele estar entre el 65% y 85%. Para asegurarse que el lote en fermentación está listo se realiza una prueba de corte donde al menos 80% de los granos debe tener el porcentaje mínimo de fermentación (Pangán & Oliver, 2017).

Existen algunos indicadores del proceso de fermentación que determinan que este se está llevando a cabo correctamente,

uno de ellos es la temperatura. Durante este proceso se produce una reacción exotérmica, incrementando la temperatura. Durante los primeros días de fermentación la temperatura llega hasta los 45 a 50°C, luego comienza a descender lentamente y vuelve a subir al realizar la segunda remoción, llegando al final hasta los 48 -50°C. Otro indicador es el pH el cual varía durante el proceso, el primer día el pH decrece lentamente pero durante el tercer y cuarto día se produce otra disminución alcanzando un valor de aproximadamente 4.75, al final de la fermentación el rango de pH suele mantenerse entre 4.5 a 5.5 (Erazo, 2019).

El diseño del fermentador influye directamente sobre las características físicas y químicas del grano de cacao. Al utilizar cajas de fermentación cuadradas se obtienen temperaturas más altas en la masa de cacao y son alcanzadas en menor tiempo. También se obtiene un mayor porcentaje de granos fermentados y los valores de pH son más bajos a comparación de una caja de fermentado rectangular (Graziani et al., 2003).

En la región de Cobán la temperatura ambiente varía entre 12 a 28°C. La época templada es de aproximadamente dos meses (de marzo a mayo); en esta época la temperatura máxima promedio suele ser de 27°C. la temporada fresca dura aproximadamente tres meses desde noviembre hasta febrero, en donde la máxima temperatura promedio es de 24°C. Debido a que la cosecha de cacao es casi todo el año, se debe tomar en cuenta la fluctuación de temperatura anual y diaria para adaptar el proceso de beneficiado (Weather Atlas, n.d.).

En Guatemala no se cuenta con estudios relacionados con el procesamiento primario del cacao en las diferentes zonas productoras del país. Se considera importante conocer los procesos de fermentado y secado del cacao a fin de mejorar la eficiencia de este y la calidad final del cacao a procesar.

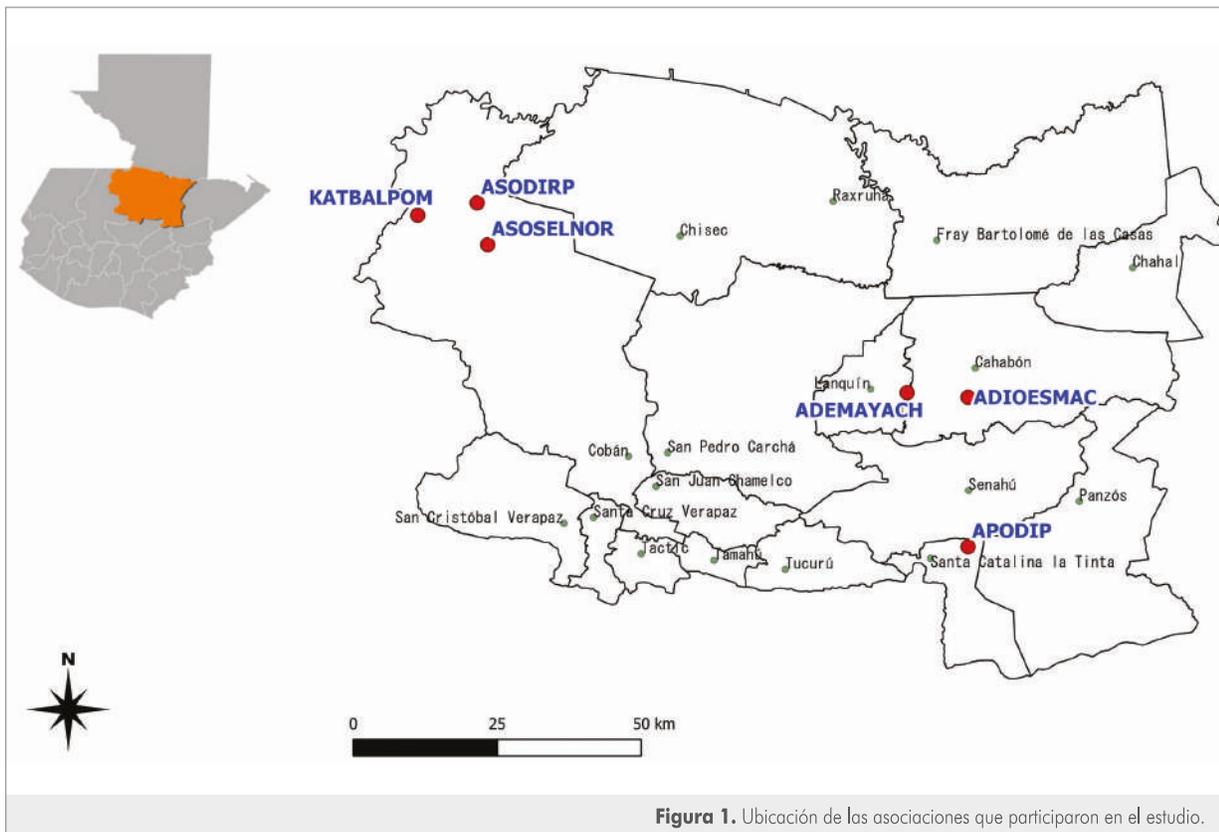
Con este estudio se buscó sistematizar el proceso de fermentación de cacao en varias asociaciones de la región norte, así como realizar un monitoreo de temperatura, pH y grados brix a lo largo del proceso realizado por cada asociación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en las subregiones Lachuá, Cahabón y Polochic ubicadas en el departamento de Alta Verapaz. En la subregión de Lachuá (Cobán) participaron las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR, ubicadas

en las aldeas Salacuim, Rocja Pomtilá y Faisán I, respectivamente. En Cahabón participaron las asociaciones ADEMAYACH y ADIOESMAC, ubicadas en la aldea San Juan Chivité y Tzalamtun. En Polochic participó la asociación APODIP ubicada en Aldea Campur, Santa Catalina La Tinta (Figura 1).



Sistematización del proceso de fermentación

Para la documentación del proceso de fermentación se realizó una visita a los centros de acopio que participaron en el estudio. Se realizaron consultas a los encargados de los centros de acopio a fin de comprender a detalle el proceso de fermentación y se sistematizó el proceso que realizaba cada asociación. También se realizaron algunas mediciones del proceso de fermentado. En este proceso participaron los centros de acopio de las 6 asociaciones.

Monitoreo del proceso de fermentación

En esta evaluación participaron 5 de las 6 asociaciones. En las asociaciones de KATBALPOM y ASODIRP se utilizaron 3 cajas de fermentación y en las asociaciones ASOSELNOR, APODIP y ADEMAYACH se utilizó una sola caja debido a la poca disponibilidad de material en los centros de acopio.

Para propósitos del monitoreo, se partió del registro de las dimensiones internas y externas de las cajas utilizadas en el proceso de fermentación.

Se procedió con la medición del pH, grados Brix y temperatura de la materia prima contenida en los sacos utilizados para entrega del material en el centro de acopio. La medición del pH, grados brix y temperatura en los sacos de materia

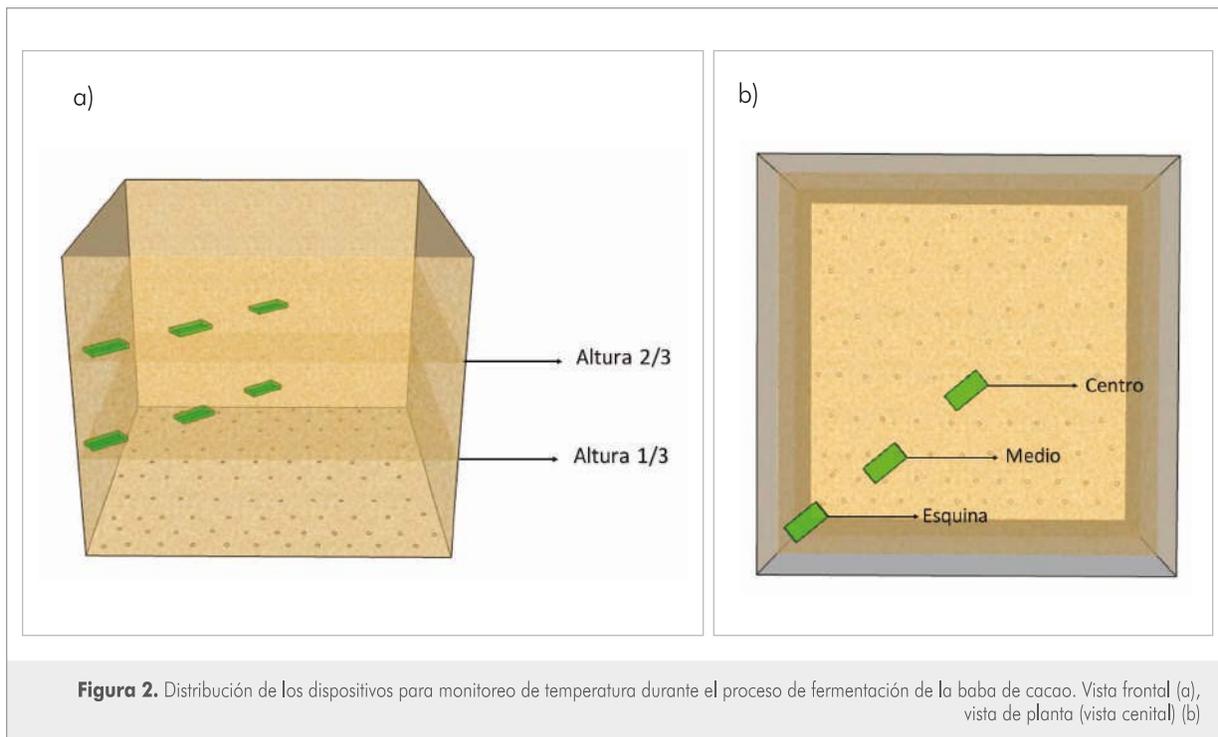
prima se realizó insertando directamente los dispositivos en la masa de grano de cacao en baba.

Luego se llevó a cabo el llenado de las cajas tal cual lo hace cada centro de acopio con cada corrida de fermentación. Para conocer la dinámica del pH, grados Brix y temperatura se realizaron mediciones de cada parámetro a lo largo del proceso.

Para las determinaciones de pH y grados Brix se extrajeron 3 muestras del material ubicado en la porción media de la caja a cada 24 horas. Una vez iniciado el proceso de fermentación, las mediciones se realizaron de las muestras extraídas a cada 24 horas insertando los dispositivos directamente en la muestra de baba de cacao fermentada.

Para cada una de las mediciones se utilizaron dispositivos digitales.

Para el monitoreo de temperatura se utilizaron medidores LogTag modelo Trix-8, los cuales tienen un rango de medición de 40°C a 85°C y una precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Cada medidor de temperatura registró una lectura a cada 5 minutos. Esto equivale a 288 lecturas en 24 horas. Se utilizaron 6 medidores de temperatura por caja de fermentación colocados a 1/3 y a 2/3 de altura de la masa de cacao (Figura 2). Una vez concluido el proceso, los datos de temperatura fueron



transferidos del dispositivo a la computadora por medio del software LogTag Analyzer.

Para determinar el final del proceso de fermentación se realizó la prueba de corte. Esta prueba consistió en tomar 10 granos de cacao al azar a partir del tercer volteo y cortar cada semilla longitudinalmente para evaluar el color del grano, la muerte del embrión y la apariencia física del mismo. Lo ideal para determinar una correcta fermentación del grano es que el embrión esté muerto, el color debe ser café oscuro y el aspecto debe ser similar a la de un riñón. El proceso se consideró finalizado cuando el 80% de los granos alcanzó las características indicadas.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos generados durante el monitoreo del proceso de fermentación se realizó utilizando el software InfoStat, versión 2016e, (www.infostat.com.ar). Se realizó análisis de varianza para 1 o más factores. La discriminación entre tratamientos se hizo de acuerdo con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Los factores evaluados en los análisis de temperatura incluyeron la asociación (5 asociaciones), altura de colocación de los dispositivos (1/3 y 2/3 dentro de la caja de fermentación) y posición del dispositivo en el plano horizontal (esquina, intermedio y centro).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del proceso de fermentación

El material es adquirido por los centros de acopio a los productores agremiados en cada asociación. La edad de las plantaciones y el cultivar de cacao varía entre productores y subregiones. En el centro de acopio no hay una separación de la baba por tipo de cultivar de cacao. Se trata de una mezcla de materiales.

En lo que si hay una separación del tipo de cacao es con relación al manejo en campo, separando el cacao orgánico del cacao con manejo convencional.

A continuación, se presenta un resumen del proceso de fermentación del cacao en baba realizado por cada asociación.

1. Proceso de fermentación del cacao en baba en la asociación APODIP

Descripción

- Este centro de acopio posee instalaciones formales y específicas para el proceso de fermentación. Estas instalaciones están hechas de bloques, torta de cemento y techo de lámina, posee ventanas con reja y puerta de metal.



- El área de fermentación es una estructura hecha con láminas de policarbonato para permitir el ingreso de la luz y mantener el calor encerrado durante el proceso de fermentación.



- El proceso de volteo es escalonado ya que se encuentra adaptado a la inclinación del terreno. Esta metodología permite que los volteos se lleven a cabo con mayor rapidez y eficiencia. Las cajas poseen orificios para el drenaje de la baba fermentada para que el proceso se lleve a cabo sin inconvenientes.
- El proceso de fermentación inicia con la limpieza de los cajones para eliminar impurezas y restos de semilla del proceso anterior. Esta Asociación no cubre las paredes internas de la caja durante el proceso de fermentación.
- Se procede a realizar el llenado de cacao en baba del cajón superior, y se cubre con sacos de polipropileno para que se mantenga el calor dentro de la caja.
- Pasadas las primeras 48 horas se realiza el primer volteo. Esto con el fin de garantizar uniformidad en el proceso de fermentación. Se van quitando las tablas que posee la caja en la parte frontal y con la ayuda de una herramienta de madera similar a una pala se traslada la masa de cacao a otra caja iniciando con la masa de cacao de la parte superior de la caja. Esto para asegurar que el material que estaba en la parte superior pase a la parte inferior.
- El siguiente volteo se realiza al completar otras 48 horas desde el primer volteo, utilizando la metodología descrita. Posteriormente se realizan otros 3 volteos a cada 24 horas cada uno. En total se hacen 5 volteos a las 48, 96, 120, 144 y 168 horas. Al finalizar este proceso se realiza una prueba de corte con 10 granos de los cuales 8 deben estar fermentados. Al dar por concluida esta fase se traslada el cacao en carretas de metal para el proceso de secado del grano fermentado.



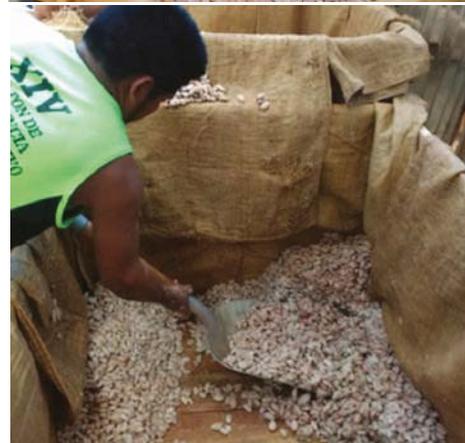
2. Proceso de fermentación del cacao en baba en la asociación ADEMAYACH

Descripción

- ADEMAYACH posee un área específica para el proceso de fermentación. Esta estructura está elaborada con láminas de zinc y en su interior el piso está elaborado por una torta de cemento en donde se encuentran los cajones de fermentación. Posee también una bodega para almacenar el cacao fermentado y seco.



- El proceso inicia con la limpieza de los cajones de madera, revisando los orificios para que no se obstruya el drenaje de baba. Se procede a colocar sacos de propileno en la parte interna de la caja para mantener el calor. Luego se llena el cajón con cacao en baba y se cubre con costales de polipropileno.
- Los volteos son horizontales, es decir, los cajones se encuentran uno al lado de otro para trasladar el material con facilidad en cada volteo. Este traslado se realiza con la ayuda de una pala metálica. Únicamente poseen 2 cajones por lo que antes de cada volteo se vuelve a verificar que los orificios no estén obstruidos. Los primeros 2 volteos se realizan a cada 48 horas y los siguientes 3 volteos cada 24 horas. En total se hacen 5 volteos a las 48, 96, 120, 144, 168 horas. Para determinar la finalización del proceso se hace una prueba de corte de 10 granos de cacao, donde 8 deben estar fermentados para dar por concluida esta fase.



3. Proceso de fermentación del cacao en baba en la asociación ADIOESMAC

Descripción

- ADIOESMAC cuenta con un área específica para el proceso de fermentación. La estructura está construida con parales de metal, láminas de zinc y piso de cemento.



- El proceso de fermentación inicia con la limpieza de los cajones. Una vez limpios se cubre la parte interna de la caja con hojas de plátano. Se procede a llenar el cajón con cacao en baba y se cubre con hojas de plátano y plástico transparente para asegurar que el calor se mantenga durante el proceso.
- Los volteos son horizontales. Se coloca un cajón vacío al lado del cajón con material para trasladar con facilidad el cacao a la siguiente caja y los traslados se realizan con una cubeta plástica de 5 galones para evitar dañar el grano. Los primeros 2 volteos se realizan a cada 48 horas y los 3 siguientes volteos a cada 24 horas. En total se hacen 5 volteos a las 48, 96, 120, 144 y 168 horas.
- Para determinar la finalización del proceso se realiza una prueba de corte con 10 granos, de los cuales 8 deben estar fermentados.



4. Proceso de fermentación del cacao en baba en la asociación ASODIRP

Descripción

- ASODIRP posee un espacio para el proceso de fermentación construido con parales de madera, láminas de zinc y tablas en algunas paredes. Las cajas de fermentación se encuentran en su interior colocadas directamente sobre el suelo.



- El proceso de fermentación inicia con la limpieza de los cajones y verificación que los agujeros no estén obstruidos. Se procede a llenar los cajones con cacao en baba y se cubre con hojas de plátano para asegurar que la temperatura interna se mantenga. Esta asociación no cubre las paredes internas de las cajas durante el proceso de fermentación.
- Los primeros 2 volteos se realizan a cada 48 horas y los siguientes 3 volteos cada 24 horas. Al finalizar se realizan 5 volteos a las 48, 96, 120, 144 y 168 horas.
- Para dar por finalizado el proceso se realiza una prueba de corte con 10 granos de los cuales 8 deben estar fermentados.



5. Proceso de fermentación del cacao en baba en la asociación KATBALPOM

Descripción

- KATBALPOM posee un centro de acopio hecho de block con una torta de cemento. El techo está hecho de láminas de zinc y poseen área específica de fermentación.



- El proceso de fermentación inicia con la limpieza de los cajones. Se cubren las paredes internas del cajón con hojas de maxán y se procede a llenar el cajón con cacao en baba. Se cubre por completo la masa de cacao con más hojas de maxán y se colocan sacos de polipropileno para mantener el calor interno durante el proceso.
- El sistema de volteo es en forma horizontal, verificando que siempre haya una caja vacía al lado de una caja llena y se realiza con la ayuda de una cubeta plástica de 5 galones para no dañar el grano. Los primeros 2 volteos se realizan a cada 48 horas y los siguientes 3 volteos cada 24 horas. En total serán 5 volteos a las 48, 96, 120, 144 y 168 horas hasta que el proceso se culmine.
- Para dar por finalizado el proceso se realiza la prueba de corte con 10 granos de los cuales al menos 8 deben estar fermentados.



6. Proceso de fermentación del cacao en baba en la asociación ASOSELNOR

Descripción

- ASOSELNOR cuenta con un área designada para el proceso de fermentación, la cual tiene paredes de block, piso de cemento y techo de lámina de policarbonato.



- El proceso de fermentación inicia con la limpieza de los cajones y la verificación que los orificios no estén obstruidos. Se procede a llenar los cajones con cacao en baba y se cubre con costales de polipropileno para asegurar que el calor se mantenga dentro del cajón. ASOSELNOR no cubre las paredes internas de los cajones de fermentación durante el proceso.
- Esta asociación lleva un registro de la temperatura de la masa de cacao en fermentación. Los volteos son de forma horizontal y los primeros 2 volteos se realizan a cada 48 horas y a partir del 3er volteo cada 24 horas. En total se harán 5 volteos a las 48, 96, 120, 144 y 168 horas.
- Para determinar que el cacao se ha fermentado correctamente se realiza una prueba de corte con 10 granos por caja, de las cuales 8 deben estar fermentadas.



Monitoreo del proceso de fermentación

• Características de las cajas y del producto procesado

En las 5 asociaciones se utilizaron cajas de madera para la fermentación del cacao en baba. Las cajas se construyen principalmente del árbol de San Juan (*Vochysia guatemalensis* J.D. Smith.) o Laurel (*Laurus nobilis*) ya que son maderas no resinosas que no afectan las características del cacao a fermentar. Las cajas tienen perforaciones de aproximadamente 1.2 cm de diámetro para permitir el drenaje de líquidos. La cantidad de agujeros en la base de las cajas fue de 108 ± 3 .

En el Cuadro 1 se presentan detalles de las cajas de madera. También se incluye la cantidad inicial de materia prima (cacao en baba), cantidad de grano fermentado y cantidad de grano seco resultado de los procesos de fermentación y secado en cada asociación.

Se puede apreciar que cada asociación utiliza diferentes dimensiones de caja, por lo que el volumen y capacidad de carga es variable. En esta evaluación, cada asociación manejó diferente carga en función de la disponibilidad de materia prima. Esto indica que la altura de la masa de baba

de cacao que maneja cada centro de acopio depende de la disponibilidad de materia prima. En periodos de alta producción y entrega frecuente de baba de cacao, la altura del material a fermentar está a unos pocos centímetros de la altura de la caja.

Una vez concluido el proceso de fermentación el grano de cacao fermentado es transferido a la unidad de secado con que cuenta cada centro de acopio. En promedio, por cada 1.2 ± 0.05 lbs de baba se produjo una libra de cacao fermentado, y por cada libra de grano seco se requieren 2.24 ± 0.08 lbs de baba o 1.87 ± 0.13 lbs de cacao fermentado. Esto es congruente a lo reportado por Moreno et al (1989). La variabilidad de estos factores de conversión entre asociaciones es pequeña.

• Homogeneidad de la materia prima

El grano de cacao en baba presentó diferentes valores de pH, grados Brix y temperatura entre los sacos (Cuadro 2). Esto fue consistente en cada uno de los centros de acopio, e indica que el material inicial utilizado para el llenado de cajas es altamente variable y que en algunos casos ya había iniciado el proceso de fermentación.

Cuadro 1. Detalle de cajas de madera y masa inicial y final de cacao en baba, fermentado y seco.

Asociación	Dimensiones de la parte externa de caja		Dimensiones de la parte interna de caja		Altura de carga (cm)		Masa de cacao (lbs/caja)			Relación ((lbs/caja)/(lbs/caja))		
	LxAxH ¹ cm	Vol m ³	LxAxH cm	Vol m ³	Inicial	Final	En baba	Fermentado	Seco	Baba/ ferm	Ferm/ seco	Baba/ seco
Katbalpom	92x102x87	0.82	89x98x83	0.72	78	76	1201	949	572	1.27	1.66	2.1
Asodirp	82x88x85	0.61	80x82x83	0.54	78	76	1038	844	460	1.23	1.83	2.26
Apodip	99x99x77	0.75	95x95x75	0.68	53	50	1278	1106	573	1.16	1.93	2.23
Ademayach	106x105x84	0.93	100x93x76	0.71	36	35	566	486	246	1.16	1.98	2.3
Asoselnor	84x85x83	0.59	80x78x81	0.51	70	66	1010	844	437	1.2	1.93	2.31
									Media	1.2	1.87	2.24

¹ Largo x ancho x alto.

Cuadro 2. Valor medio¹ de los parámetros pH, grados Brix y temperatura de la materia prima inicial.

Asociación	pH			Grados Brix			Temperatura °C		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
KATBALPOM	3.99 ± 0.44 b	3.2	4.5	17.9 ± 2.51 a	15.1	20.8	33.4 ± 2.31 b	29.0	37.4
ASODIRP	3.71 ± 0.23 b	3.4	3.9	16.8 ± 0.89 a	15.8	17.4	31.4 ± 1.45 b	30.0	32.9
ASOSELNOR	5.69 ± 0.31 a	5,4	6,1	16.6 ± 2.26 a	12,6	17,9	34.3 ± 0.4 a	33,7	34,8
APODIP	3.76 ± 0.55 b	3,1	4,6	15.2 ± 1.58 a	12,5	17,0	32.4 ± 0.92 b	31,1	33,8
ADEMAYACH	3.88 ± 0.96 b	3,1	5,7	16.7 ± .74 a	14,5	18,5	27.9 ± 0.85 b	26,5	29

¹ Valores con la misma letra de cada columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Los valores de pH encontrados en todos los casos, con excepción de ASOSELNOR, son congruentes con la literatura que evidencia la presencia de ácidos de acuerdo con lo reportado por Ventura et al (2014). En ASOSELNOR se encontró un mayor valor del pH, lo cual es un indicador del inicio de la fermentación que conduce al agotamiento del ácido cítrico que provoca la disminución en la acidez.

En general, el valor inicial de los parámetros medidos en la baba de cacao en las diferentes asociaciones fue: pH 4.15 ± 0.88 ; grados brix 16.6 ± 2.1 y temperatura 32.0 ± 2.6 grados centígrados.

Los valores de pH y temperatura fueron estadísticamente diferentes entre asociaciones ($p < 0.05$), no así para grados Brix (Cuadro 2). El valor del pH y la temperatura en los sacos de materia prima procesados en la asociación ASOSELNOR fueron más altos que los valores de las otras asociaciones. Esto es indicativo que el proceso de fermentación ya se había iniciado previo al vaciado de la materia prima a las cajas de fermentación. Esto sugiere que la condición inicial de pH y temperatura varía no solo dentro de cada centro de acopio, sino también entre asociaciones.

Es importante mencionar que, con excepción de ASOSELNOR, los valores iniciales de pH encontrados son menores de 4. De acuerdo a la literatura, esta reducción rápida del pH da como consecuencia una disminución en los precursores del sabor y mayor acidez del producto final (Camu et al., 2008). Sin embargo, los cacaos finos de aroma se caracterizan por una rápida disminución de pH resultado de la fermentación rápida y producción de ácido acético que asegura la muerte del embrión en un período de tres días (Enríquez, 2010).

- **pH, grados brix y temperatura durante el proceso de fermentación**

El tiempo de fermentación varió de 5 a 8 días, con un tiempo modal de 7 días (Cuadro 3). El pH de la masa de cacao se incrementó ligeramente al final (pH 4.3) del proceso con

relación al valor del pH inicial (pH 3.9) de la baba de cacao. De acuerdo con la prueba de t , no hay diferencia estadísticamente significativa entre los dos valores de pH ($p > 0.05$).

En el caso de los grados brix, los valores también fueron menores al inicio (18.6) y mayores al final (22.1) del proceso. Los valores fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

El aumento del pH se atribuye a que en el proceso fermentación las levaduras consumen azúcares simples, producen etanol y pequeñas cantidades de energía. Inmediatamente el etanol es transformado a ácido acético. Las bacterias del ácido láctico convierten el ácido cítrico, la glucosa y otros carbohidratos de la baba de cacao en ácido láctico. Esto ocasiona que el pH al final del proceso se incremente (El Salous, 2019).

En general, por cada libra de cacao fermentado se requirieron 1.2 ± 0.05 lbs de cacao en baba.

La dinámica de la temperatura durante el proceso de fermentación se presenta en la Figura 3. Las reducciones de temperatura en determinadas horas se deben a la actividad de volteo del cacao a las 48, 96, 120, 144 y 168 h. Cada valor en la curva representa el promedio de 6 lecturas obtenidas con sensores colocados a diferente altura y posición en el plano horizontal de la masa de cacao (Figura 2).

Se aprecia que la máxima temperatura es de aproximadamente 50 °C. Este valor se alcanzó en las asociaciones KATBALPOM y APODIP entre las 60 y 72 h, en ASOSELNOR y ADEMAYACH entre 115 a 130 h y en ASODIRP hasta el final del proceso. Alcanzar la temperatura máxima en el menor tiempo posible como en el caso de las asociaciones KATBALPOM y APODIP, es importante para generar cacao de buena calidad.

Cuadro 3. Valores inicial y final de la masa de cacao, pH y grados brix durante la fermentación.

Asociación	Tiempo (días)	Inicio			Final			lbs inicio/ lbs final
		Masa (lbs/caja)	pH	Brix	Masa (lbs/caja)	pH	Brix	
KATBALPOM	7	1201	3.0	18.5	949	3.5	19.2	1.27
ASODIRP	7	1038	3.8	14.4	844	4.1	26.0	1.23
ASOSELNOR	8	1010	5.3	18.3	844	5.1	20.7	1.20
APODIP	5	1278	3.7	13.4	1106	ND	18.6	1.16
ADEMAYACH	7	566	3.9	18.5	486	4.3	26.0	1.16
	Media	1019	3.9	18.6	846	4.3	22.1	1.20

ND: no determinado por fallos en medidor portátil

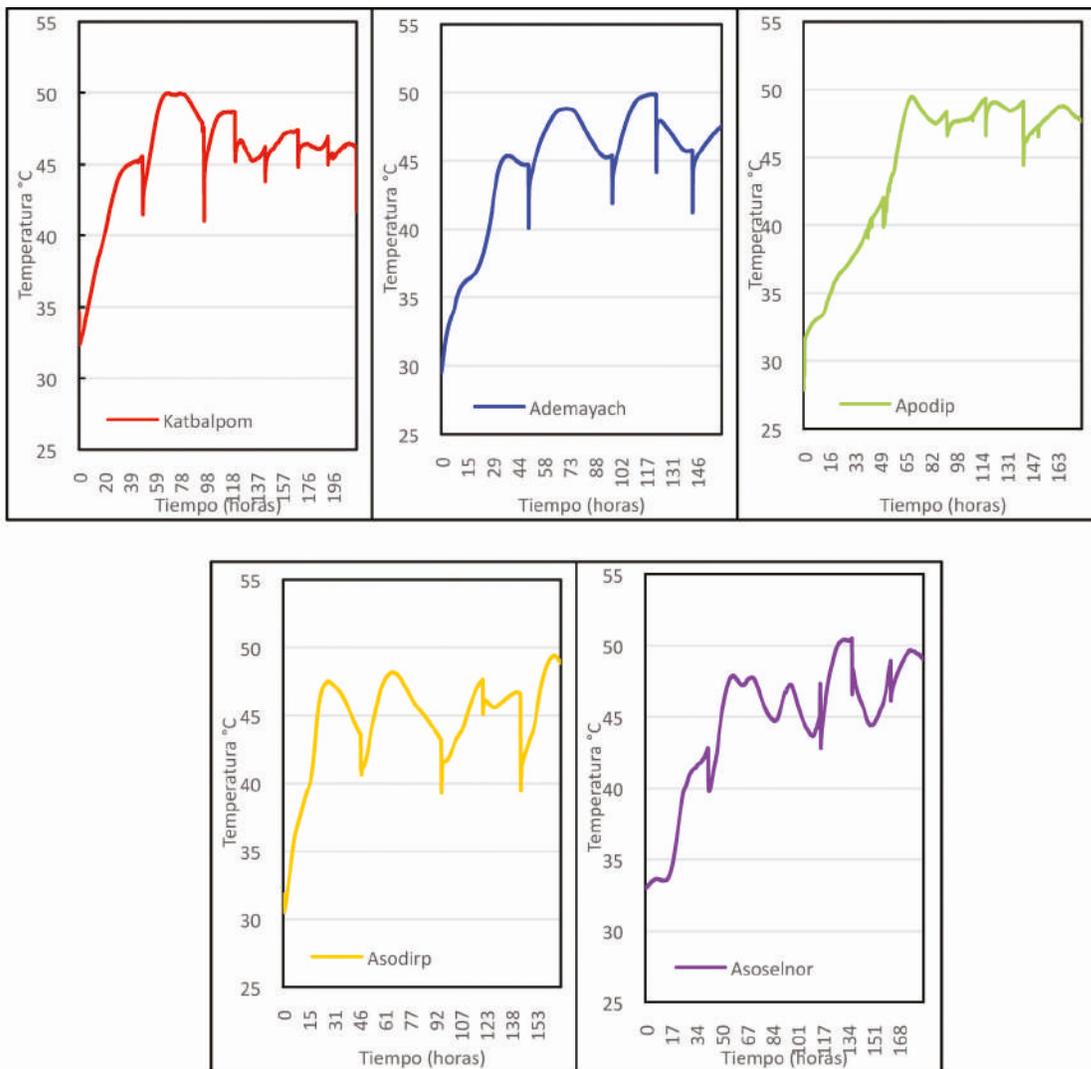


Figura 3. Dinámica de temperatura durante el proceso de fermentación de cacao de cada asociación.

• Homogeneidad de la temperatura dentro de la caja de fermentación

De acuerdo con los resultados del Cuadro 4, en las 5 asociaciones se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las dos alturas en las cuales se colocaron los dispositivos, así como la posición de estos en el plano horizontal ($p < 0.05$).

El efecto de la interacción fue significativo en 3 asociaciones, lo cual sugiere que la temperatura que se registró en cada posición de esas cajas de fermentación varió según la altura en la que se encontraban algunos dispositivos. Estos resultados indican que la temperatura difiere en cada punto de la masa de cacao a lo largo del proceso de fermentación, y que el volteo que se realiza en cada centro de acopio no solo sirve para oxigenar el sistema sino también para colocar la masa de cacao en diferentes posiciones dentro de la caja.

De acuerdo con la separación de medias, en 4 de las 5 asociaciones la temperatura a 2/3 de altura de la base de la caja fue significativamente superior a la temperatura registrada a 1/3 de altura de la base de la caja ($p < 0.05$) (Figura 2). Esto significa que la mayor temperatura se registró en la porción de cacao que estaba más cerca de la entrada de aire.

Con relación a la posición de los dispositivos sobre el plano horizontal de cada altura, en las 5 asociaciones la temperatura registrada en el dispositivo colocado entre la orilla y el centro del plano horizontal (posición intermedia) fue significativamente mayor a los otros dos puntos (centro y orilla de la caja).

La dinámica de la temperatura en las diferentes alturas y posiciones en cada asociación se presentan en las Figuras 4 y 5, respectivamente.

Cuadro 4. Separación de medias¹ de temperaturas registradas de acuerdo con la altura y posición de dispositivos según asociación.

Efecto	Asociación				
	KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	APODIP	ADEMAYACH
Altura en la caja					
1/3 de la base	44.87 b	43.22 b	43.74 b	44.94 a	44.29 b
2/3 de la base	46.37 a	46.96 a	44.89 a	44.16 b	45.21 a
Posición en la caja					
Orilla	45.59 b	44.80 a	44.02 b	44.19 b	43.92 c
Intermedio	46.22 a	44.67 a	45.48 a	45.47 a	45.38 a
Centro	45.05 c	44.29 b	ND	43.99 b	44.96 b

¹ Medias con la misma letra dentro de cada factor (altura y posición) para cada asociación no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$); ND: no determinado.

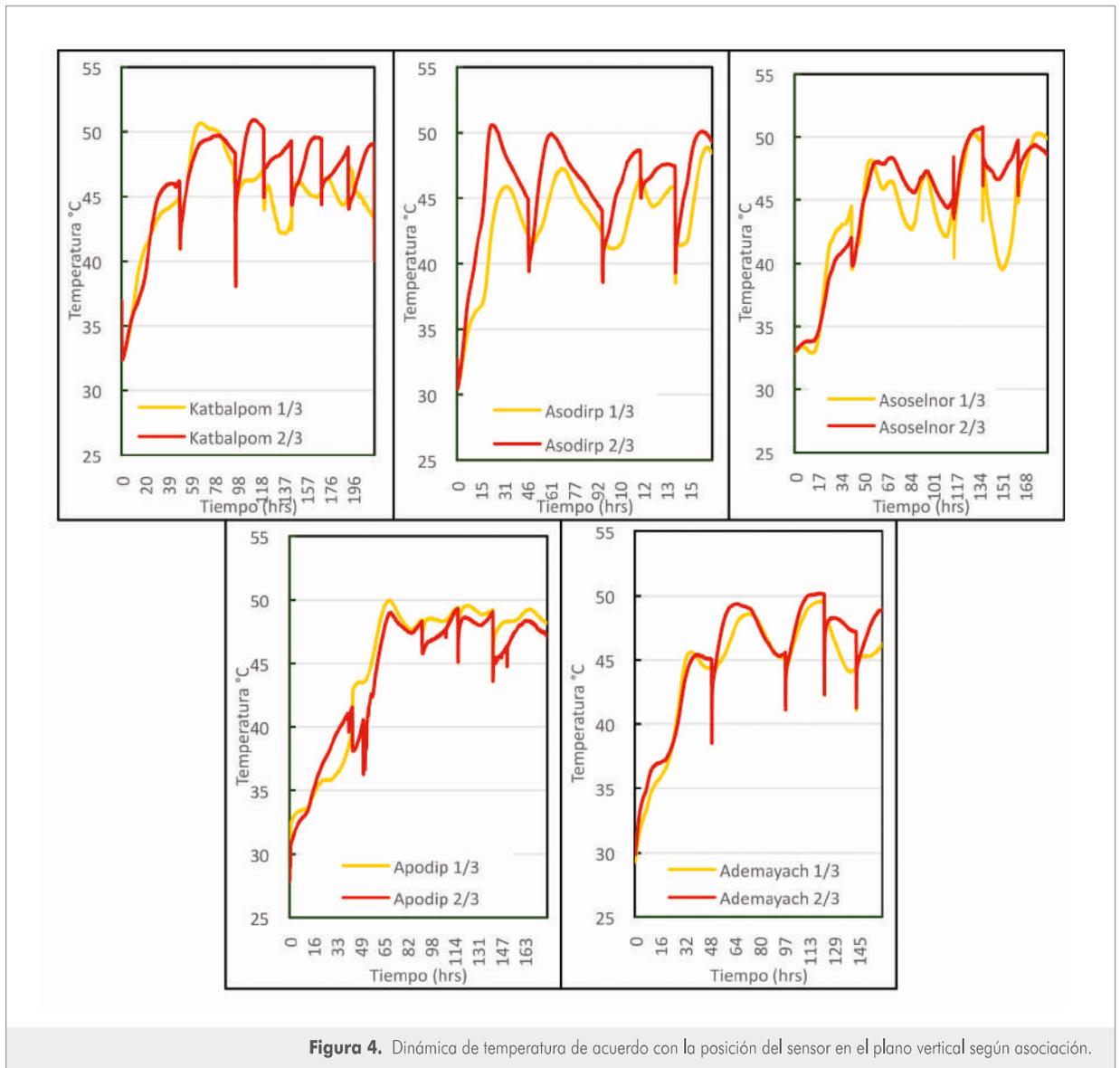


Figura 4. Dinámica de temperatura de acuerdo con la posición del sensor en el plano vertical según asociación.

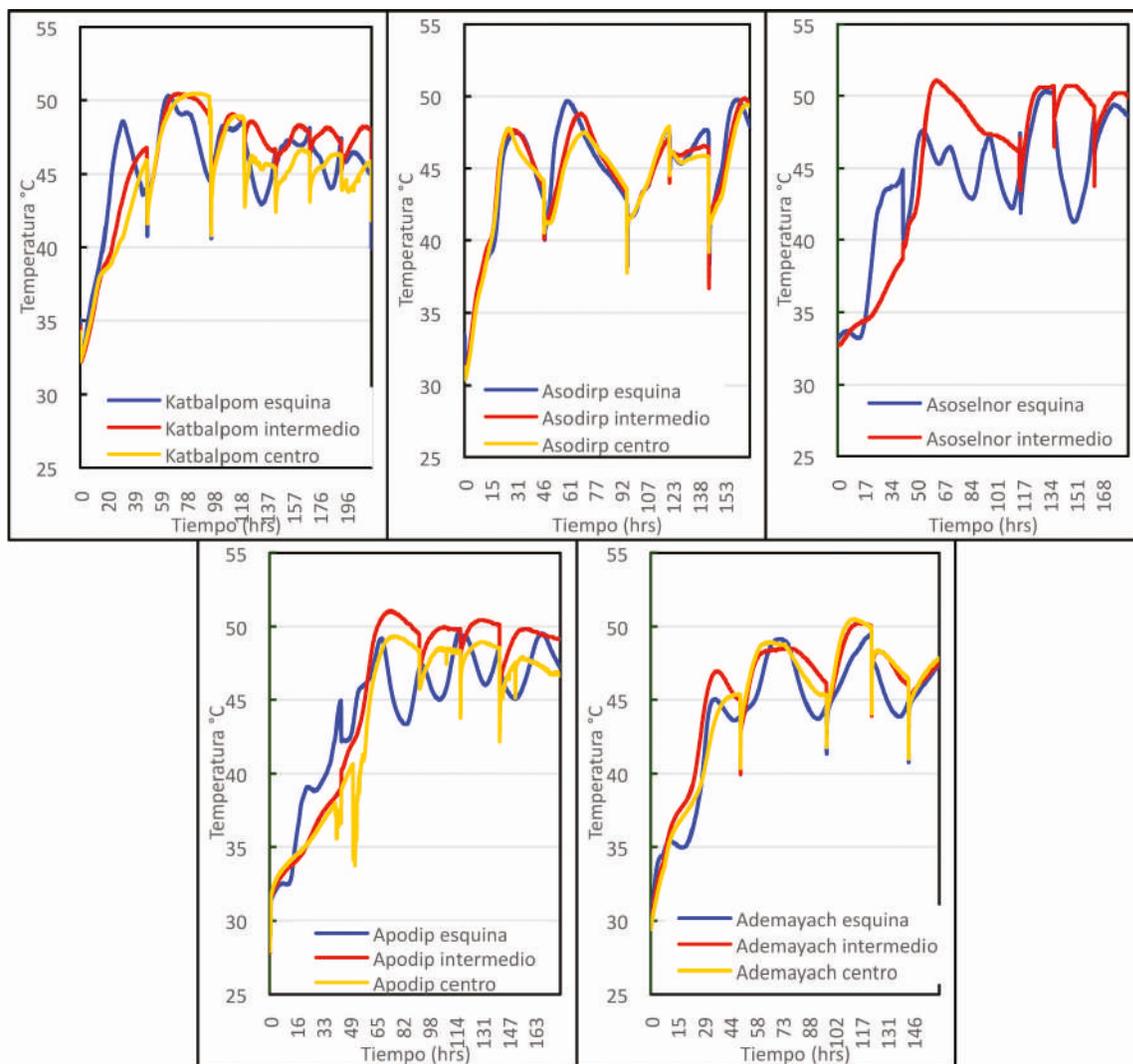


Figura 5. Dinámica de temperatura de acuerdo con la posición de los dispositivos en el plano horizontal según asociación.

En promedio (Figura 6), los resultados de las 5 asociaciones indican que la temperatura a 2/3 de la base de la caja presentó un mayor valor con relación a la temperatura a 1/3 de la base. Con relación a la posición sobre el plano horizontal, la posición intermedia superó a la temperatura registrada en las posiciones de orilla y centro.

La variación de temperatura en los estratos está directamente relacionada con la actividad biológica. El calor es producto de la descomposición del etanol, por ello es posible observar que el estrato 2/3 presenta temperaturas mayores en comparación al estrato 1/3, por estar expuesta a una entrada constante de oxígeno. Al realizar los distintos volteos la temperatura general disminuye, pero al introducir oxígeno al

proceso la temperatura incrementa incentivando a la actividad biológica.

Mientras más rápido se alcancen altas temperaturas es posible asegurar una buena fermentación. El calor es evidencia del proceso de oxidación del etanol y generación del ácido acético, que asegura la muerte del germen, así como la producción de intermediarios de sabores de chocolate producto de la hidrólisis de material orgánico de los granos de cacao, mediada por la acidez.

• Variación de la temperatura entre asociaciones

Para el análisis se utilizaron los valores de temperatura media, mínima y máxima registrada por los dispositivos colocados en las cajas y se manejaron como una repetición por dispositivo.

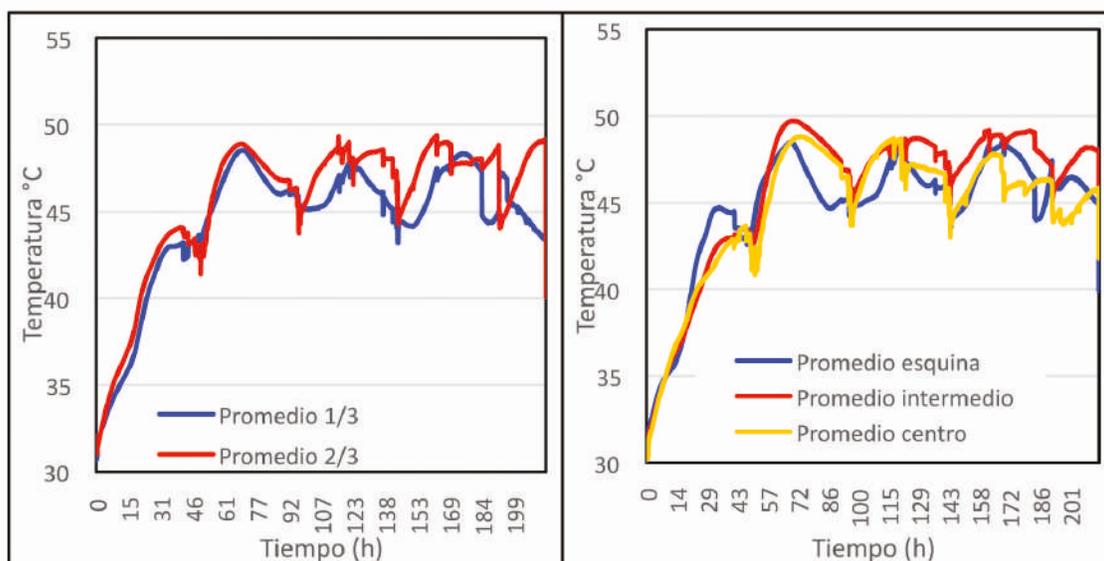


Figura 6. Dinámica de la temperatura promedio registrada en las 5 asociaciones en función de la ubicación de los dispositivos.

Cuadro 5. Valores¹ promedio de temperatura registradas en las 5 asociaciones.

Asociación	Temperatura °C		
	Media	Min	Max
KATBALPOM	45.62 ± 1.13 a	32.33 ± 0.23 a	51.23 ± 0.53 a
ASODIRP	44.59 ± 1.52 a	30.43 ± 0.21 b	49.92 ± 0.81 b
ASOSELNOR	44.50 ± 0.89 a	32.97 ± 0.31 a	50.77 ± 0.42 ab
APODIP	44.55 ± 1.06 a	27.18 ± 1.62 c	50.13 ± 0.98 b
ADEMAYACH	44.75 ± 0.84 a	29.53 ± 0.39 b	50.08 ± 0.78 b

¹ Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

Cuadro 6. Valores¹ de temperatura registrados por caja de fermentación.

	KATBALPOM			ASODIRP		
	Temp Media	Temp Min	Temp Max	Temp Media	Temp Min	Temp Max
Caja A	45.62 a	32.33 a	51.23 a	44.59 b	30.43 c	49.92 a
Caja B	45.81 a	31.55 a	52.52 a	46.50 a	31.15 b	50.47 a
Caja C	44.31 a	30.70 a	53.42 a	46.32 a	32.33 a	50.62 a

¹ Medias con igual letra dentro de cada variable no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

De acuerdo con el cuadro 5, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre asociaciones ($p < 0.05$) para temperatura mínima y máxima, en tanto que no se encontró diferencia significativa para temperatura media ($p > 0.05$).

Se observan más de 5°C de diferencia entre los valores de temperatura mínima entre asociaciones en relación con los otros dos parámetros en donde la diferencia de temperaturas es inferior a 1.5 °C. Esto puede deberse a los microclimas existentes en cada región, a las instalaciones y al material que utilizan para cubrir las cajas de fermentación.

- **Variación de la temperatura entre cajas manejadas simultáneamente**

En KATBALPOM y en ASODIRP se manejaron 3 cajas de fermentación por asociación en forma simultánea.

Utilizando los valores de temperatura media, mínima y máxima en cada caja como una repetición en cada asociación (Cuadro 6), no se encontró diferencia estadística entre las tres cajas de KATBALPOM ($p > 0.05$), pero si se encontró diferencia significativa entre las cajas de ASODIRP para las variables temperatura media y temperatura mínima ($p < 0.05$). En ASODIRP no se encontró diferencia para temperatura máxima ($p > 0.05$). En esta última asociación una de las 3 cajas registró menores valores de temperatura. Esto indica que en general, el manejo de las cajas en la Asociación KATBALPOM fue similar entre cajas, en tanto que en ASODIRP una de las cajas fue manejada en forma diferente a las otras dos.

Con relación a la temperatura en diferentes puntos de las cajas, se encontró diferencia altamente significativa para los factores altura, posición y su interacción en todas las cajas de las dos asociaciones ($p < 0.05$) (Cuadro 7). Esto confirma nuevamente que la temperatura es diferente en los distintos puntos de la masa de cacao en fermentación.

Consistentemente la temperatura a una altura a 2/3 sobre la base de la caja fue estadísticamente superior a la temperatura a 1/3 de la base en todas las cajas de ambas

asociaciones ($p < 0.05$). Adicionalmente, la temperatura en la posición intermedia en el plano horizontal de cada altura fue superior a la temperatura en la orilla y del centro en 5 de las 6 cajas ($p < 0.05$). Esto confirma los resultados obtenidos en las otras 3 asociaciones en donde utilizaron únicamente una caja.

La dinámica de la temperatura media según la altura y posición de los dispositivos en las cajas de fermentación de las dos asociaciones se presenta en las Figuras 7 y 8 para las asociaciones KATBALPOM y ASODIRP, respectivamente.

Se observa que en la dinámica de temperatura para en el estrato 2/3 se registraron temperaturas más altas con relación al estrato 1/3 a lo largo de todo el proceso. Las altas temperaturas que oscilan por encima de los 50°C se mantuvieron a lo largo de varias horas durante el proceso, lo cual es positivo.

En cuanto a la gráfica de monitoreo de temperatura por posición (esquina, intermedio y centro) la temperatura máxima fue superior a los 50 °C en todos los casos. Ese valor de temperatura se alcanzó a los 2.3, 2.4 y 2.5 días para cada posición, respectivamente. Hubo una disminución general de temperatura a partir del cuarto día hasta la finalización de la fermentación. Esta disminución se debe a que la actividad biológica disminuye, van disminuyendo los procesos biológicos que generen energía lo que se traduce en disminución de las temperaturas.

En ASODIRP, la tendencia de mayor temperatura en el estrato 2/3 es similar a lo observado en Katballpom. Este comportamiento de temperaturas altas puede atribuirse a una mayor actividad biológica por un alto suministro de oxígeno del ambiente exterior. Con relación a la posición de los dispositivos medidores de temperatura se observan temperaturas promedio que no superaron los 50°C. El descenso general de la temperatura a partir del segundo volteo es evidente por la disminución de la actividad biológica.

Cuadro 7. Separación de medias¹ de temperaturas registradas de acuerdo con altura y posición de dispositivos.

Efecto	KATBALPOM			ASODIRP		
	Caja A	Caja B	Caja C	Caja A	Caja B	Caja C
Altura en la caja						
1/3 de la base	44.87 b	44.44 b	41.11 b	43.22 b	45.84 b	45.64 b
2/3 de la base	46.37 a	47.18 a	46.44 a	46.96 a	47.16 a	47.01 a
Posición en la caja						
Orilla	45.59 b	45.06 c	42.95 c	44.80 a	46.22 c	46.03 b
Intermedio	46.22 a	46.22 a	46.84 a	44.67 a	46.73 a	46.10 b
Centro	45.05 c	46.14 a	44.40 b	44.29 b	46.54 b	46.83 a

¹ Medias con la misma letra dentro de cada factor (altura y posición) y caja no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

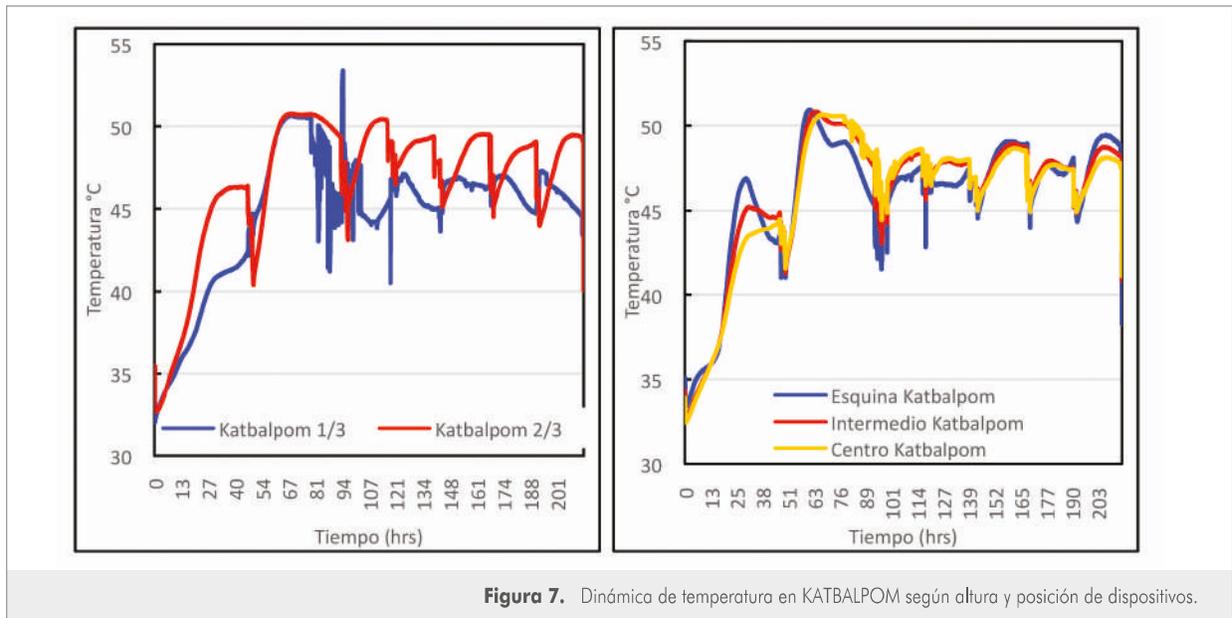


Figura 7. Dinámica de temperatura en KATBALPOM según altura y posición de dispositivos.

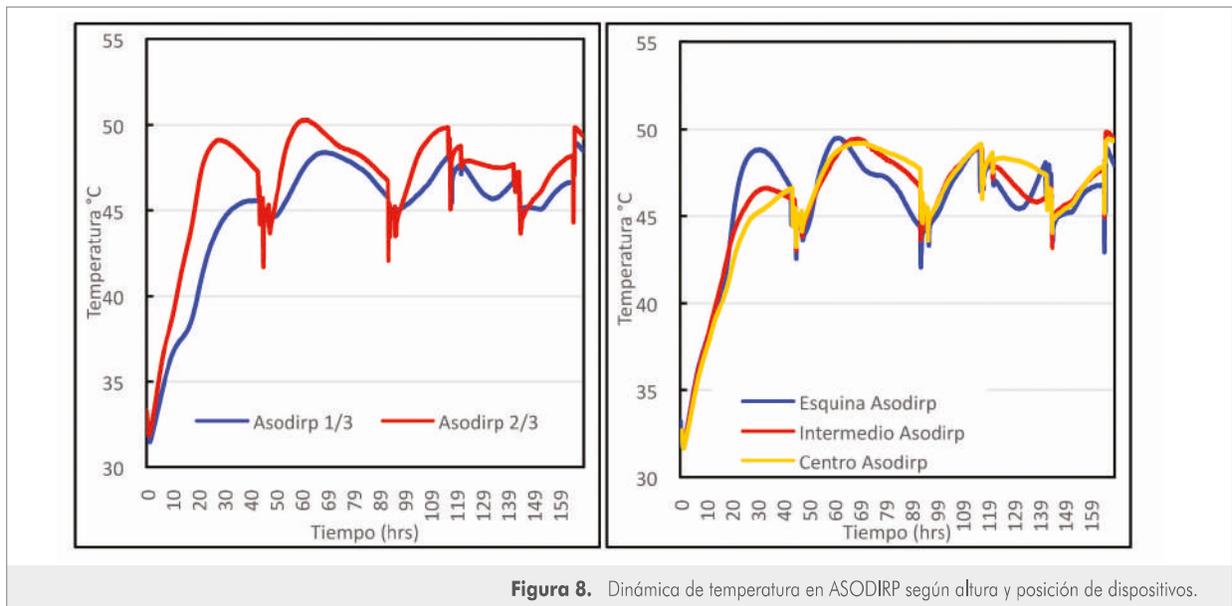


Figura 8. Dinámica de temperatura en ASODIRP según altura y posición de dispositivos.

CONCLUSIONES

- En general, el proceso de fermentación realizado en los diferentes centros de acopio sigue las mismas etapas. Esto incluye la limpieza de las cajas, cobertura de las paredes, tapado de las cajas que contienen el cacao en baba y volteos generales a las 48, 96, 120, 144 y 168 h. Esto último supone un proceso de fermentación de 7 días.
- Las principales diferencias son la infraestructura de la unidad de fermentado, volumen de las cajas, materiales para cobertura y tapado de las cajas y longitud del proceso.
- Para la fermentación todos los centros de acopio utilizan cajones de madera no resinosa como la madera de los árboles de San Juan (*Vochysia guatemalensis* J.D. Smith.) y Laurel (*Laurus nobilis*). Los cajones varían en sus dimensiones internas y externas. El volumen de cacao que almacenan en su interior va desde los 0.51 - 0.72 m³.
- El cacao en baba utilizado como materia prima en los diferentes centros de acopio es muy variable en cuanto a los parámetros iniciales de pH, temperatura y grados Brix, indicando que en algunos casos el proceso de fermentación ha iniciado en los sacos de entrega del material.
- No existe una separación de la baba de cacao en función del cultivar de cacao. La principal separación está en función del manejo de la plantación en campo separando el cacao orgánico vs cacao con manejo convencional.
- El tiempo de fermentación varió de 5 a 8 días, con un tiempo modal de 7. El pH de la masa de cacao se incrementó ligeramente al final (pH 4.3) del proceso con relación al valor del pH inicial (pH 3.9). Estadísticamente esa diferencia no es significativa.
- El valor de los grados Brix fue significativamente menor al inicio del proceso (18.6) y mayor al final (22.1) del mismo.
- La dinámica de la temperatura durante el proceso de fermentación del cacao siguió un patrón similar entre centros de acopio. La temperatura se reduce durante el proceso de volteo, pero posteriormente vuelve a subir.
- Los centros de acopio difieren en el número de horas en que se alcanzan los 50°C en las cajas de fermentación. En KATBALPOM y APODIP se alcanzó a las 60-72 h, en ASOSELNOR y ADEMAYACH a las 115 - 130 h y en ASODIRP cerca del final del proceso. En general, a partir de la hora 24 de iniciado el proceso, la temperatura se mantuvo en un rango de 40 a 50°C.
- La temperatura varía en los diferentes puntos de la masa de cacao en fermentación. Los valores mayores de temperatura se obtuvieron a la altura de 2/3 de la base de la caja y en la posición intermedia entre la orilla y el centro del plano horizontal.
- La temperatura (promedio, mínima y máxima) en cajas manejadas simultáneamente dentro del mismo centro de acopio fue estadísticamente similar en KATBALPOM pero se encontró diferencia significativa en los valores de temperatura mínima y máxima entre las cajas de ASODIRP.
- Se encontró diferencia significativa entre asociaciones para temperatura mínima y máxima, en tanto que no se encontró diferencia para la temperatura media. En los valores de temperatura mínima hay diferencia superior a los 5°C entre asociaciones y entre máximas y promedios hay diferencias inferiores a 1.5°C, posiblemente debido al microclima de la unidad de fermentación y los materiales para el tapado de las cajas.

AGRADECIMIENTOS

A los centros de acopio y a las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, ADEMAYACH, APODIP y ADIOESMAC que apoyaron el estudio realizado en sus instalaciones.

Al coordinador y técnicos de campo (Carlos Caal, Denis Medina, Luis Morales, Diana López, Keni Ixim y Alejandro Tec) y encargados de los centros de acopio (Tomás Sacrab, Inocente Caal, Evaristo Chub, Denis Choc y Luis Arturo Tún) que apoyaron con el montaje de las pruebas y con el monitoreo del proceso de fermentación.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Banguat. (n.d.). *Exportaciones de Cacao en Guatemala*. Retrieved July 13, 2021, from: https://www.banguat.gob.gt/webform/consulta_nuestra_informacion
- 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: Heap fermentation versus chocolate production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(13), 2288-2297. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3349>
- CAOBISCO/AEC/FCC. (2015). Cacao en Grano: Requisitos de Calidad de la Industria del Chocolate y del Cacao. In *Revista Brasileira de Medicina* (Vol. 69, Issue 12). [http://www.cocoaquality.eu/data/Cacao en Grano Requisitos de Calidad de la Industria Apr 2016_es.pdf](http://www.cocoaquality.eu/data/Cacao%20en%20Grano%20Requisitos%20de%20Calidad%20de%20la%20Industria%20Apr%202016_es.pdf)
- El Salous, A. (2019) Acceleration of cocoa fermentation through the action of bacteria (*Acetobacter acetii*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) [https://www.revistaespirales.com article view html](https://www.revistaespirales.com/article/view/html)
- Enríquez, G. (2010). Cacao orgánico: Guía para productores ecuatorianos (2a ed.). Quito, Ecuador: INIAP. (Manual no. 54).
- Erazo, C. (2019). Diseño de un fermentador y secador solar piloto, para dos variedades de cacao (*Theobroma cacao* L), en el cantón El Empalme provincia Guayas. In *Universidad Internacional SEK*. [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3361/1/FERMENTACION DE CACAO.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3361/1/FERMENTACION%20DE%20CACAO.pdf)
- Graziani, L., Ortiz, L., Alvarez, N., & Trujillo, A. (2003). *Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera*. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000200005
- Guzmán, V. (2016). *Diagnostico de la Cadena de Cacao*. 1-32. <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/9810.pdf>
- International Trade Center. (n.d.). *Trade Map - List of supplying markets for the product imported by United States of America in 2020*. Retrieved July 13, 2021, from: https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry.aspx?nyppm=1%7C842%7C%7C%7C1806%7C%7C%7C4%7C1%7C1%7C1%7C1%7C2%7C1%7C1%7C1
- John, W. A., Böttcher, N. L., Behrends, B., Corno, M., D'souza, R. N., Kuhnert, N., & Ullrich, M. S. (2020). Experimentally modelling cocoa bean fermentation reveals key factors and their influences. *Food Chemistry*, 302(July 2019), 125335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125335>
- MAGA. (2016). *Plan Estratégico de la Agrocadena de Cacao en Guatemala*. 22. http://www.colombiainteligente.org/phocadownload/Objetivos/Documento_Estrategia_Colombia_Inteligente_V2.0.pdf
- Moreno, L. J., & Sánchez, J. (1989). *Beneficio del cacao*. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola FHIA. Honduras.
- Pangán, A., & Oliver, W. (2017). *Plan de negocios para el establecimiento de una exportadora de cacao fino de aroma en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala*. [Tesis de grado de licenciatura]. Universidad Zamorano, Honduras.
- Ventura, M., María, A., González, J., Rodríguez, O., & Almonte, J. (2014). Caracterización de los atributos de calidad del cacao (*Theobroma cacao* L.) del municipio de Castillo. *Revista Agropecuaria y Forestal APF*, 3(1), 55-60.
- Weather Atlas. (n.d.). *Previsión meteorológica y climática de Cobán, Guatemala Weather Atlas*. Retrieved July 14, 2021, from: <https://www.weather-atlas.com/es/guatemala/coban-el-tiempo-en-mayo>.

EFECTO DE LA ALTURA DE LA MASA DE CACAO EN BABA SOBRE EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN, TEMPERATURA, pH Y GRADOS BRUX

Josué Bocel
jibocel@uvg.edu.gt,

Patricia Palacios
ppalomo@uvg.edu.gt,

Donovan Gómez
degomez@uvg.edu.gt,

Isabel Alonzo
ialonzo@uvg.edu.gt,

Rolando Cifuentes
rcifuen@uvg.edu.gt

**Centro de Estudios Agrícolas
y Alimentarios - CEAA**

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de la altura de la masa de cacao en baba sobre el tiempo de fermentación y sobre la temperatura, el pH y los grados brix. El estudio se llevó a cabo en el centro de acopio de la asociación KATBALPOM, ubicado en Cobán, Alta Verapaz. Se realizaron dos ensayos. Uno en el año 2019 en donde se evaluaron las alturas de carga de 41.5 y 83 cm y el otro en el año 2020 en donde se evaluaron las alturas 30, 50, 70 y 83 cm. Las cajas de madera utilizadas presentaron en promedio dimensiones internas (largo x ancho x alto) de 102 cm x 97cm x 84 cm, y 108 ± 3 orificios de drenaje de 1.2 cm de diámetro. Los valores iniciales de pH (pH 3.92 en 2019 y 4.02 en 2020), grados Brix (18.6° en 2019 y 14.2° en 2020) y temperatura (31.2°C en 2019 y 28.1°C en 2020) en los sacos de materia prima variaron entre años. La dinámica de la temperatura a lo largo del proceso de fermentación fue similar entre las diferentes alturas de masa de cacao en los dos años. La diferencia en la temperatura promedio entre alturas a lo largo del proceso varió de 0.5°C en 2019 a 0.9°C en 2020. La temperatura a 2/3 de la altura de la masa de cacao fue mayor con relación a la temperatura del cacao en el estrato inferior de la caja. La máxima temperatura en el ensayo de 2019 (49°C) se alcanzó aproximadamente a las 60 horas de iniciado el proceso en tanto que para el año 2020 (50°C) se alcanzó entre las 60 a 78 horas. El efecto de la altura de carga sobre el pH fue mayor en el ensayo 2020. La altura de carga de 30 cm presentó un pH menos ácido (pH 4.24) en comparación a las alturas de 50 (pH 4.02), 70 (pH 4.08) y 83 (pH 3.78) cm. Con base en el ensayo 2019, los grados Brix se incrementaron ligeramente al final del proceso. El porcentaje de grados Brix fue similar entre las alturas de 41.5 (19.3°) y 83 (19.7°) cm. La aparición de granos fermentados ocurrió a partir de las 72 horas de iniciado el proceso. En el año 2019 se alcanzó el 100% de granos fermentados en las muestras colectadas a las 192 horas para las dos alturas evaluadas. Sin embargo, en el año 2020 el 100% de granos fermentados de la muestra se alcanzó con la altura de carga de 83 cm a las 144 h, en tanto que para las otras alturas se llegó al 90% de granos fermentados en ese período. Los resultados indican que, basados en los parámetros evaluados, se puede utilizar cualquiera de las alturas de la masa de cacao evaluadas utilizando cajas de madera con dimensiones similares a las utilizadas en este estudio. Se espera que los resultados sean de utilidad para mejorar el proceso de fermentación del cacao en la región y la calidad del producto final.

PALABRAS CLAVE: Cacao en baba, fermentación del cacao, dinámica de temperatura, pH, grados Brix.

ABSTRACT

EFFECT OF THE HEIGHT OF THE COCOA MASS IN SLIME ON THE FERMENTATION TIME, TEMPERATURE, pH AND BRUX DEGREES

The objective of this study was to know the effect of the height of the cocoa mass in slime on the fermentation time and on temperature, pH and Brix degrees. The study was carried out at the KATBALPOM association collection center, located in Cobán,

Alta Verapaz. Two trials were conducted. One in 2019 where the loading heights of 41.5 and 83 cm were evaluated and the other in 2020 where the heights of 30, 50, 70 and 83 cm were evaluated. The wooden boxes used had internal dimensions (length x width x height) of 102 cm x 97 cm x 84 cm, and 108 ± 3 drainage holes of 1.2 cm in diameter. The initial values of pH (pH 3.92 in 2019 and 4.02 in 2020), Brix degrees (18.6° in 2019 and 14.2° in 2020) and temperature (31.2 °C in 2019 and 28.1 °C in 2020) in the bags of raw material varied between years. The temperature dynamics throughout the fermentation process was similar between the different heights of cocoa mass for both trials. The difference in the average temperature between heights throughout the process varied from 0.5 °C in 2019 to 0.9 °C in 2020. The temperature at 2/3 of the height of the cocoa mass was higher in relation to the temperature of the cocoa in the lower layer of the box. The maximum temperature (49 °C) in year 2019 was reached approximately 60 hours after starting the process, while for the year 2020 (50 °C) it was reached between 60 and 78 hours. The effect of the loading height on the pH was greater in the 2020 trial. The loading height of 30 cm presented a less acidic pH (pH 4.24) compared to the heights of 50 (pH 4.02), 70 (pH 4.08) and 83 (pH 3.78) cm. Based on the 2019 trial, the Brix degrees increased slightly at the end of the process. The percentage of Brix degrees was similar between the heights of 41.5 (19.3°) and 83 (19.7°) cm. The appearance of fermented grains occurred 72 hours after starting the process. In 2019, 100% of fermented grains were reached in the samples collected at 192 hours for the two heights evaluated. However, in 2020, 100% of the fermented beans in the sample were reached with the loading height of 83 cm at 144 h, while for the other heights, 90% of the fermented beans were reached in that period. The results indicate that, based on the evaluated parameters, any of the evaluated cocoa mass heights can be used when using wooden boxes with dimensions like those used in this study. The results are expected to be useful to improve the fermentation process of cocoa in the region and the quality of the final product.

KEY WORDS: Cocoa slime, cocoa fermentation, temperature dynamics, pH, Brix degrees.

INTRODUCCIÓN

El cacao es un cultivo de importancia ancestral, económica y cultural en Guatemala. Desde el punto de vista del desarrollo tecnológico e industrial, su avance en el país ha sido lento.

La producción mundial está distribuida entre los países de América Central, América del Sur, el Caribe, África, Asia y Oceanía en donde se encuentran tierras de bosques húmedos tropicales (Batista, 2009). Los ocho países con mayor producción son: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador y Malasia, los cuales representan alrededor del 90% de la producción mundial.

A nivel local, los departamentos con mayor producción de cacao son Alta Verapaz (31%), Suchitepéquez (31%) y San Marcos (25%), que en conjunto representan el 87% de la producción nacional. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en el país se cultivan alrededor de 4,340 hectáreas (MAGA, 2016).

El proceso de transformación primaria del cacao en baba incluye las etapas de fermentación y secado. De acuerdo con Bocel et al. (2022), a nivel local la etapa de fermentación es realizada por todos los grupos consultados en Alta Verapaz, y la diferencia es la infraestructura y la forma en que los centros de acopio llevan a cabo este proceso.

Según Graziani et al. (2003), la calidad del grano de cacao depende de varios factores, entre ellos la variedad y el proceso de fermentación. Durante la fermentación los granos se someten a altas temperaturas provocadas por levaduras y bacterias que invaden el mucílago. Esto resulta en la muerte del embrión y la eliminación del mucílago, dejando las semillas limpias y promoviendo la eliminación de una serie de ácidos amargos indeseables, logrando el desarrollo del aroma, sabor y color que son características organolépticas típicas de un buen cacao (Batista, 2009).

El proceso de fermentación según Graziani et al. (2003) tarda aproximadamente 5 días, mientras que Rivera Fernández et al (2012) y Castillo Ramos (2019) indican que el tiempo del proceso es de 5 a 7 días. Cacao móvil (n.d) menciona que el proceso de fermentación se completa entre los 6 a 8 días. Tomando como base esa información, se puede indicar que el proceso de fermentación lleva de 5 a 8 días, dependiendo de las condiciones en que se lleva a cabo el proceso.

De acuerdo con Castillo Ramos (2019), durante el tiempo de fermentación se realizan tres volteos. El primero a las 48 horas contadas desde el momento en que se colocan los

granos a fermentar y el segundo y tercer volteo a cada 24 horas a partir del volteo anterior. Estos volteos se hacen de un cajón a otro usando baldes plásticos o palas. La fermentación suele realizarse en espacios cerrados con el fin de mantener una temperatura lo más uniforme posible.

Las cajas de fermentación son cajas de madera y suelen ser de 86 cm x 82 cm x 82 cm con un grosor de 2 cm. Este tipo de fermentador es el más utilizado debido a la facilidad de construcción y los buenos resultados que se obtienen al finalizar el proceso; así mismo, permite mantener la temperatura de la masa evitando caídas de temperatura por las noches. También para evitar pérdida de calor suelen taparse los granos con hojas de plátano o costales de propileno (Castillo Ramos, 2019).

Reyes y Capriles (2000) mencionan que existen algunos indicadores en la fermentación. Entre estos se encuentran aumentos de temperatura la cual se encuentra por sobre los 36°C. El mucílago que cubre el grano comienza a perderse y cambia su color de blanco a rojo claro o rosado. El grano se hincha y al cortar un grano escurre un líquido rojizo. Al realizar un corte longitudinal del grano se observa un color pálido en el centro rodeado por un tono café oscuro.

La metodología aplicada en el proceso de fermentación puede influenciar el efecto final del fermentado sobre el grano de cacao. Vargas et al. (1989) indican que el tipo de fermentador empleado tiene efectos positivos o negativos en el cacao según se escoja, mientras que, Puziah et al. (1998) indican que el volumen de la masa y el volteo de los granos son factores importantes para tomar en cuenta en este proceso. Graziani et al. (2003) indican que el diseño del fermentador influye sobre las características físicas y químicas del grano de cacao, siendo las cajas cuadradas más eficientes que las rectangulares, ya que mantienen una mayor temperatura y pH más bajo.

En los diferentes centros de acopio de Alta Verapaz, la fermentación es un proceso que lleva de 5 a 8 días. Se utilizan cajas de madera de árboles no resinosos como el árbol de San Juan (*Vochysia guatemalensis*) que varían en volumen dependiendo del centro de acopio (Bocel et al. 2022).

A nivel local, no se cuenta con estudios relacionados con la fermentación del cacao en baba. Con este estudio se buscó conocer el efecto de la altura de la carga de cacao sobre el tiempo de fermentación, la temperatura, el pH y los grados brix.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en la subregión Lachuá localizada en el norte del municipio de Cobán en el departamento de Alta Verapaz. Participó la asociación KATBALPOM ubicada en la aldea Salacuim (Figura 1).

Materia prima

La asociación KATBALPOM adquiere el cacao en baba de sus productores agremiados. Los cultivares de cacao plantados en la región son variados, al igual que la edad de las plantaciones. Al recibir la materia prima, en el centro de

acopio no se realiza ninguna separación por cultivar, por lo que se trata de una mezcla de materiales. Sin embargo, sí existe una separación de cacao bajo producción convencional y cacao bajo producción orgánica.

Ensayos de fermentación

En este estudio se realizaron dos ensayos. Las cajas utilizadas en cada ensayo fueron las que usualmente utilizan en el centro de acopio. Estas tienen 108 ± 3 agujeros de 1.2 cm de diámetro al fondo de la caja para el drenaje de líquidos (Figura 2). Las cajas utilizadas tienen dimensiones similares (Cuadro 1).

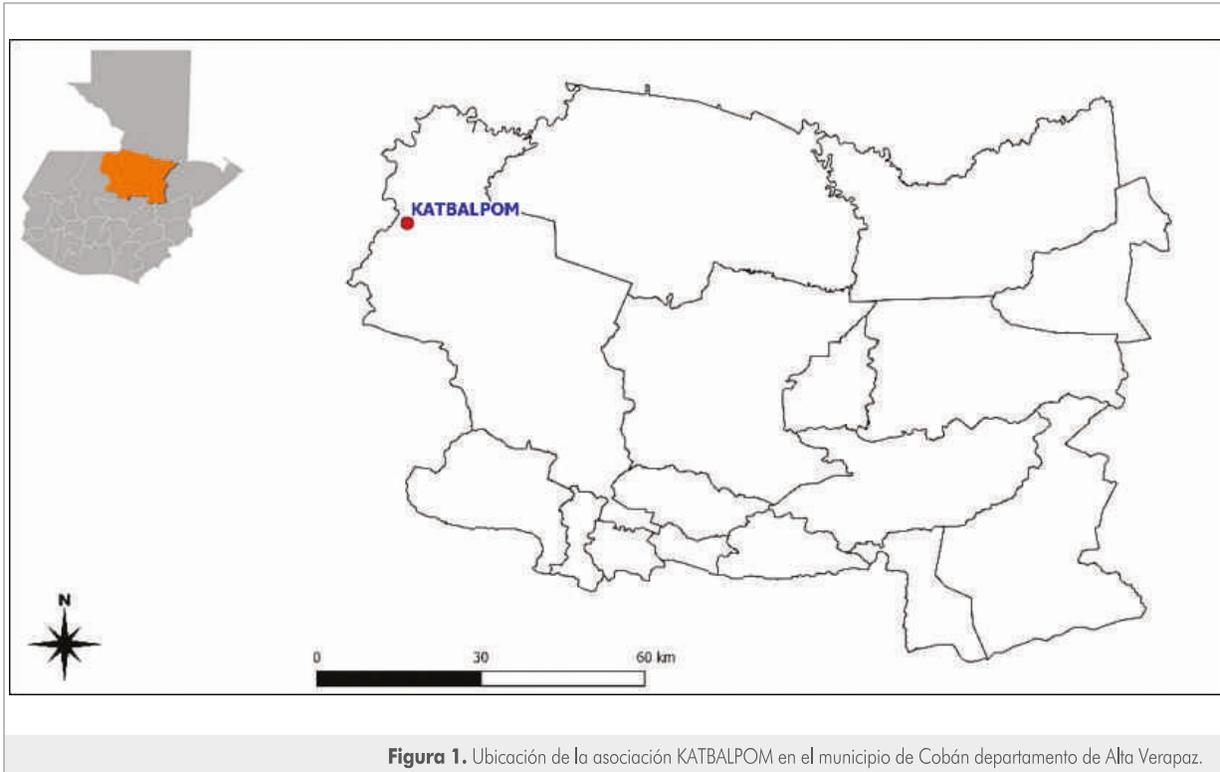


Figura 1. Ubicación de la asociación KATBALPOM en el municipio de Cobán departamento de Alta Verapaz.

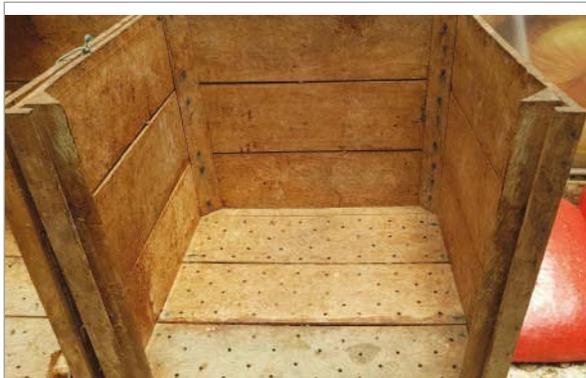


Figura 2. Panorámica del fondo de una caja de madera en donde se aprecian los orificios de drenaje.

El primer ensayo se realizó en el año 2019 y las alturas de masa evaluadas fueron de 41.5 cm y 83 cm; es decir 50% y 100% de llenado. El segundo ensayo se llevó a cabo en el año 2020. Se utilizaron alturas de 30, 50, 70 y 83 cm.

Monitoreo del pH, grados Brix y temperatura

La medición del pH, grados Brix y temperatura se realizó tanto en la materia prima contenida en los sacos utilizados

para entrega del material en el centro de acopio, así como en las cajas de fermentación a lo largo del proceso.

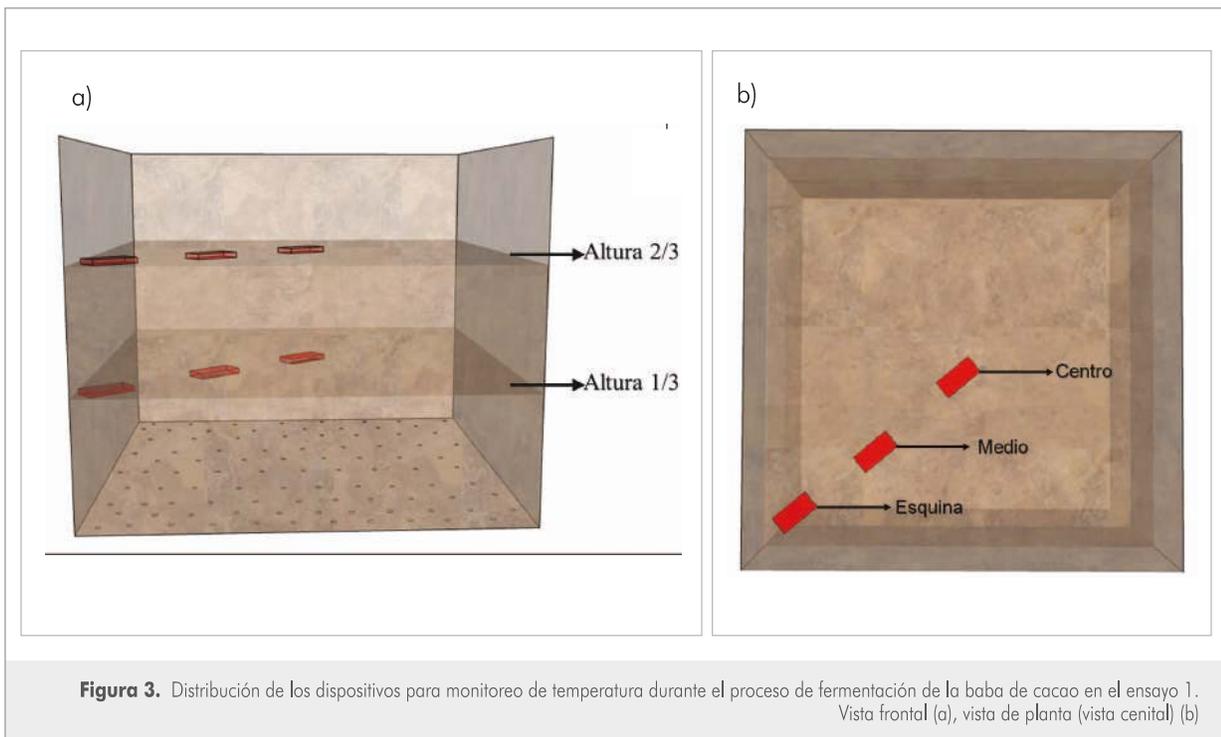
Una vez iniciado el proceso de fermentación, las mediciones de pH y grados brix se realizaron a partir muestras extraídas en cada volteo. Para cada una de las mediciones se utilizaron dispositivos digitales que se insertaron directamente en la baba de cacao.

En los dos ensayos se registró la temperatura durante todo el proceso utilizando medidores LogTag modelo Trix-8 con lecturas a cada 5 minutos en 2019 y a cada 15 minutos en el año 2020. Una vez concluido el proceso, los datos de temperatura fueron transferidos de cada dispositivo al ordenador por medio del software LogTag Analyzer.

Para poder monitorear la temperatura, se colocaron dispositivos en las alturas de 1/3 y 2/3 de la masa de cacao a partir de la base de la caja de fermentación. Sobre el plano horizontal de cada altura de monitoreo, se colocaron 3 dispositivos en el ensayo 1 y 2 dispositivos en el ensayo 2 (Figura 3).

Manejo del proceso de fermentación

Una vez transferida la masa de cacao a la altura de masa deseada, el cacao en baba se cubrió con costales de polipropileno que se sujetaron a presión en las orillas de la caja y en algunos casos con reglas de madera según fue necesario.



En los dos ensayos se realizaron volteos y colecta de muestra a las 48, 96, 120 y 144 horas de iniciado el proceso. En el ensayo 1 se realizaron volteos adicionales a las 168 y 192 horas.

Al llegar el momento de volteo se utilizó una cubeta plástica para trasladar el cacao a una caja vacía que se colocó a la par de la caja que contenía el cacao en baba. El objetivo del volteo es rotar la ubicación de los granos de cacao en la caja de fermentación evitando que los granos se fermenten en una sola ubicación y a la vez airear la masa de cacao.

Para determinar el final del proceso de fermentación se realizó una prueba de corte o prueba de fermentación. La prueba consistió en tomar 10 granos de cacao al azar en cada volteo y cortar cada semilla longitudinalmente para evaluar el color del grano, la muerte del embrión y la apariencia física del mismo. Lo ideal para determinar una correcta fermentación del grano es que el embrión esté muerto, el color debe ser

café oscuro y el aspecto debe ser similar al de un riñón. Al tener un valor igual o mayor a 8 granos de 10 correctamente fermentados, es decir por encima del 80%, se consideró que el proceso de fermentación había culminado.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat, versión 2016e, (www.infostat.com.ar). Se realizó análisis de varianza para 1 o más factores. La discriminación entre tratamientos se hizo de acuerdo con la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 0.05.

Los factores evaluados en los análisis de temperatura incluyeron la altura de la masa de cacao, altura de colocación de los dispositivos (1/3 y 2/3 dentro de la caja de fermentación) y posición del dispositivo en el plano horizontal (esquina, intermedio y centro en el ensayo 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de las cajas, materia prima y cacao beneficiado

Se presentan detalles de las cajas de madera utilizadas, así como cantidades de la materia prima y del producto fermentado y secado en cada ensayo realizado (Cuadro 1).

Las cajas utilizadas en el centro de acopio presentan ligeras diferencias en cuanto a sus dimensiones externas e internas. El volumen efectivo de las cajas varió de 0.72 m³ a 0.78 m³ para alcanzar el 100% de su capacidad.

En promedio, datos de los años 2019 y 2020, por cada 1.31 lbs de cacao en baba se produjo una libra de cacao fermentado, y por cada libra de cacao seco se requirieron 2.24 lbs de cacao en baba o 1.74 lbs de cacao fermentado.

Las razones cacao en baba/cacao fermentado y cacao fermentado/cacao seco variaron entre años. La razón cacao en baba/cacao fermentado fue mayor en el ensayo 1 (1.39) con relación al valor del año 2020 (1.26). Sin embargo, la conversión de cacao fermentado a cacao seco fue menor en el año 2019 (1.48) en comparación al valor del año 2020 (1.86). Esto indica que en el año 2019 se obtuvo un mejor rendimiento del beneficiado (relación cacao en baba/grano seco 2.02 en ensayo 1 y 2.3 en ensayo 2) y que el tipo de materia prima pudo haber jugado un papel importante en la diferencia entre años.

Homogeneidad de la materia prima

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de los valores determinados para cada parámetro medido en el material inicial utilizado para el llenado de cajas en los estudios realizados.

En el año 2019 se encontró diferencia estadísticamente significativa únicamente para los valores de temperatura inicial ($p < 0.05$), no así para pH y grados brix (Cuadro 2). La temperatura media en los sacos utilizados para el llenado de la caja con altura de 83 fue 32.4 °C y la de la caja a 41.5 cm de altura 30 °C (Cuadro 2).

En el año 2020 no se encontró diferencia significativa para los parámetros pH ($p > 0.05$), grados brix ($p > 0.05$) y temperatura ($p > 0.05$) entre las cajas con altura de carga 30 y 70 cm (Cuadro 2). Es decir, que el material de inicio fue estadísticamente similar.

Los resultados de los años 2019 y 2020 indican que la materia prima que llega al centro de acopio es variable y podría estar asociada al tiempo transcurrido desde la extracción de la baba del fruto de cacao hasta su entrega en el centro de acopio, así como el cultivar de cacao utilizado por los productores.

Cuadro 1. Detalle de las cajas utilizadas e información sobre la materia prima y producto fermentado y secado.

Altura de carga cm	Dimensiones de la parte externa de caja		Dimensiones de la parte interna de caja		Altura de carga (cm)		Masa de Cacao (lbs/caja)			Relación ((lbs/caja)/(lbs/caja))		
	LxAxH ¹ cm	Vol m ³	LxAxH cm	Vol m ³	Inicial	Final	En baba	Fermentado	Seco	Baba/ferm	Ferm/seco	Baba/seco
Año 2019												
41	100.5x95.5x88	0.84	97x97x83	0.78	41.5	37	573.2	464.9	275.3	1.23	1.69	2.08
83	104x95x87	0.86	99x88x83	0.72	83	76	1316	850.1	673.4	1.55	1.26	1.95
Año 2020												
30	101x97x89	0.87	96x90.5x83.5	0.73	30	28	854	680	370	1.26	1.84	2.31
50	102x95.6x88	0.85	98x89.5x87	0.76	50	47	954	740	391	1.29	1.89	2.44
70	100x96x87.6	0.84	96x92x83.5	0.73	70	67	1180	955	532	1.24	1.8	2.22
83	102x96.4x88.1	0.85	97.8x92x83	0.75	83	80	1600	1268	652	1.26	1.94	2.45

¹ Largo x ancho x alto.

Cuadro 2. Resumen de valores¹ de pH, grados Brix y temperatura durante años 2019 y 2020.

Altura de carga (cm)	pH			Grados Brix			Temperatura °C		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Año 2019									
41	3.92 ± 0.10 a	3.81	4.04	19.1 ± 1.35 a	17.5	20.5	30.0 ± 0.61 b	29.2	30.7
83	3.92 ± 0.51 a	3.42	4.90	18.2 ± 1.09 a	17.1	20.3	32.4 ± 0.93 a	30.8	33.6
Año 2020									
30	4.02 ± 0.14 a	3.85	4.21	13.8 ± 2.0 a	11.2	16.2	28.2 ± 0.8 a	27.2	29.3
70	4.06 ± 0.22 a	3.69	4.38	14.6 ± 1.6 a	12.0	16.3	27.9 ± 1.24 a	25.4	29.4

¹ Medias con la misma letra dentro de cada factor y año no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 3. Valor inicial y final de los parámetros determinados durante los ensayos de fermentación 2019 y 2020.

Altura de carga (cm)	Tiempo de fermentación (días)	Inicio			Final			lbs inicio/ lbs final
		Masa (lbs/caja)	pH	Brix	Masa (lbs/caja)	pH	Brix	
Año 2019								
41	8	573.2	3.92	19.01	464.9	4.08	19.3	1.23
83	8	1316.0	3.92	18.21	850.1	4.06	19.7	1.55
Año 2020								
30	6	854	4.02	17.10	680	4.24	nd ¹	1.26
50	6	954	4.26	14.58	740	4.02	nd	1.29
70	6	1180	4.06	17.20	955	4.08	nd	1.24
83	6	1600	3.89	13.78	1268	3.78	nd	1.26

¹nd: no determinado.

Valor inicial y final de pH y grados Brix

El tiempo total para la fermentación de las distintas alturas de masa de cacao fue de 8 días en el año 2019 y 6 días en el año 2020 (Cuadro 3). El tiempo de fermentación no fue influenciado por la altura de la masa de cacao en baba dentro de cada año.

En el ensayo del 2019, el pH de la masa de cacao se incrementó ligeramente al final del proceso con relación al valor del pH inicial de la baba de cacao. En el caso de los grados Brix, los valores también fueron menores al inicio y ligeramente mayores al final del proceso. La diferencia entre los valores iniciales y finales para el año 2019 fue significativa únicamente para el pH ($p < 0.05$).

Los valores iniciales de pH para el año 2020 (pH 4.06) fueron similares al valor final (pH 4.03).

Dinámica de temperatura año 2019

La dinámica de la temperatura durante el proceso de fermentación en el año 2019 se presenta en la Figura 4. Los valores representan el promedio de lecturas en diferentes estratos y posiciones en la caja de fermentación, con integración a cada 5 minutos, teniendo en algunos casos, más de 2 mil lecturas a lo largo del tiempo de fermentación. En general, la temperatura alcanzó su valor máximo entre las 50 a 60 h de haberse iniciado el proceso de fermentación.

La caída de temperatura en diferentes segmentos de tiempo se debe a los momentos del volteo.

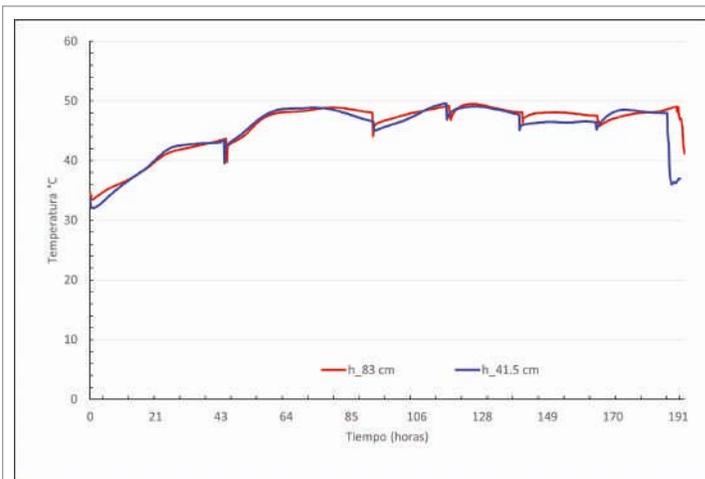


Figura 4. Dinámica de temperatura durante el proceso de fermentación en ensayo 1.

Al comparar entre alturas de carga se encontró diferencia significativa entre cajas. En promedio, la temperatura fue mayor por 0.5 °C en la caja con 83 cm de carga (45.8 °C) de cacao baba en comparación con la caja con el 50% de altura de carga (45.3 °C) ($p < 0.05$) (Cuadro 4).

Homogeneidad de la temperatura en alturas de carga de cacao año 2019

En las Figuras 5 y 6 se presenta la dinámica de la temperatura en las diferentes posiciones de cada una de las cajas manejadas en el año 2019.

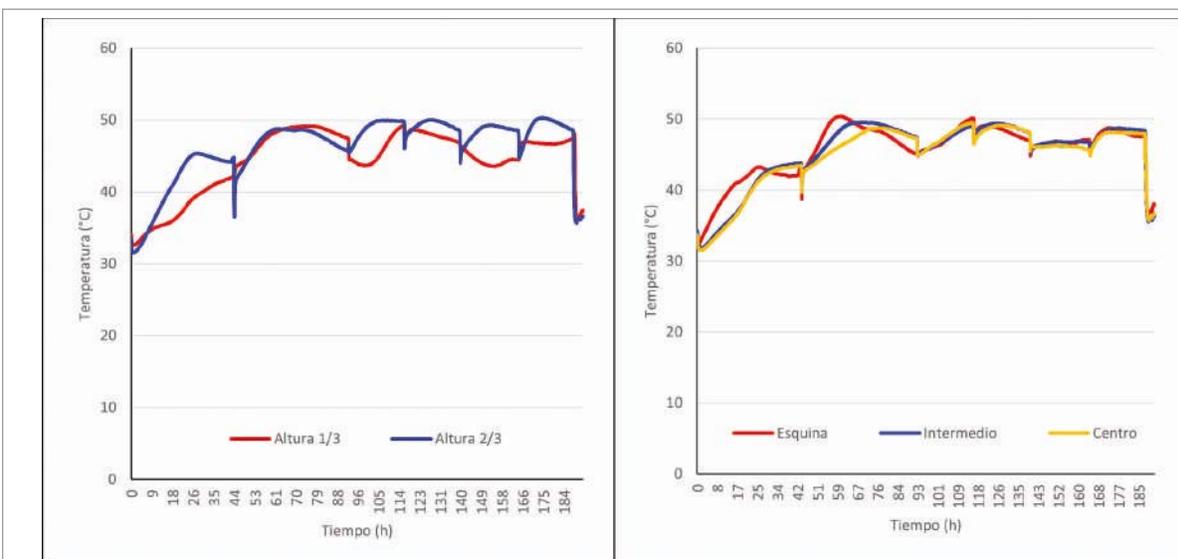


Figura 5. Dinámica de temperatura según altura y posición de dispositivos 2019, con masa de cacao en baba de 41.5cm de alto.

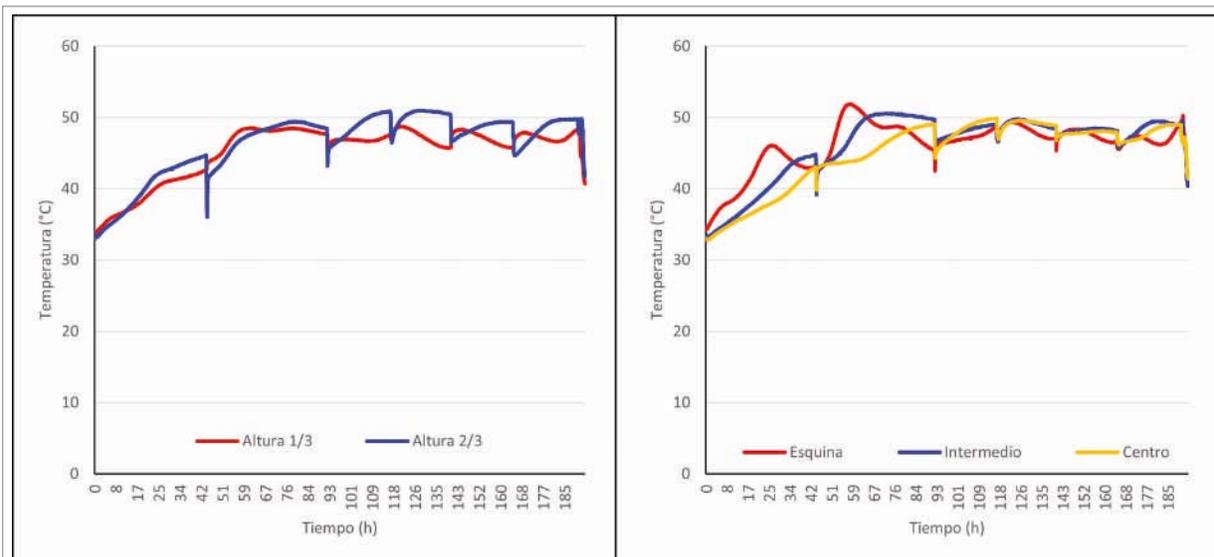


Figura 6. Dinámica de temperatura según altura y posición de dispositivos 2019, con masa de cacao en baba de 83 cm de alto.

Cuadro 4. Separación de medias¹ de temperatura en el ensayo 2019.

Factor	Temperatura °C	
	Altura de carga (cm)	
	41.5	83
Altura en la caja		
1/3 de la base	44.4 b	45.3 b
2/3 de la base	46.3 a	46.4 a
Posición en la caja		
Orilla	45.6 a	46.2 a
Intermedio	45.4 b	46.2 a
Centro	45.0 c	45.1 b

¹ Medias con la misma letra dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

datos de los años 2019 y 2020, por cada 1.31 lbs de cacao en baba se produjo una libra de cacao fermentado, y por cada libra de cacao seco se requirieron 2.24 lbs de cacao en baba o 1.74 lbs de cacao fermentado.

Las razones cacao en baba/cacao fermentado y cacao fermentado/cacao seco variaron entre años. La razón cacao en baba/cacao fermentado fue mayor en el ensayo 1 (1.39) con relación al valor del año 2020 (1.26). Sin embargo, la conversión de cacao fermentado a cacao seco fue menor en el año 2019 (1.48) en comparación al valor del año 2020 (1.86). Esto indica que en el año 2019 se obtuvo un mejor rendimiento del beneficiado (relación cacao en baba/grano seco 2.02 en ensayo 1 y 2.3 en ensayo 2) y que el tipo de materia prima pudo haber jugado un papel importante en la diferencia entre años.

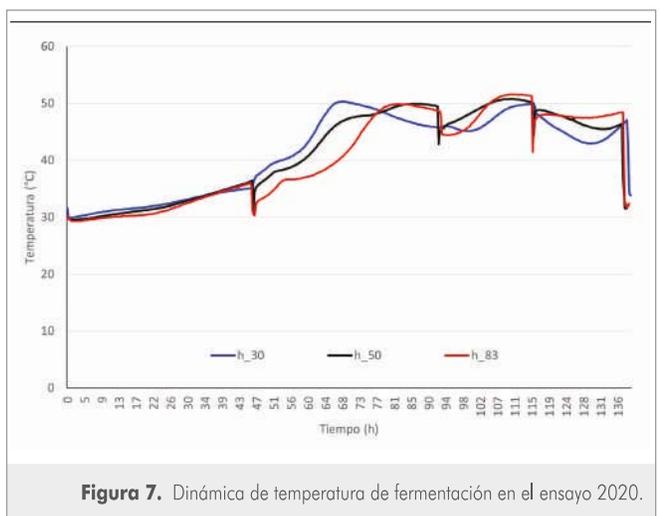
Homogeneidad de la materia prima

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de los valores determinados para cada parámetro medido en el material inicial utilizado para el llenado de cajas en los estudios realizados.

En el año 2019 se encontró diferencia estadísticamente significativa únicamente para los valores de temperatura inicial ($p < 0.05$), no así para pH y grados brix (Cuadro 2). La temperatura media en los sacos utilizados para el llenado de la caja con altura de 83 fue 32.4 °C y la de la caja a 41.5 cm de altura 30 °C (Cuadro 2).

En el año 2020 no se encontró diferencia significativa para los parámetros pH ($p > 0.05$), grados brix ($p > 0.05$) y temperatura ($p > 0.05$) entre las cajas con altura de carga 30 y 70 cm (Cuadro 2). Es decir, que el material de inicio fue estadísticamente similar.

Los resultados de los años 2019 y 2020 indican que la

**Figura 7.** Dinámica de temperatura de fermentación en el ensayo 2020.

materia prima que llega al centro de acopio es variable y podría estar asociada al tiempo transcurrido desde la extracción de la baba del fruto de cacao hasta su entrega en el centro de acopio, así como el cultivar de cacao utilizado por los productores.

Valor inicial y final de pH y grados Brix

El tiempo total para la fermentación de las distintas alturas de masa de cacao fue de 8 días en el año 2019 y 6 días en el año 2020 (Cuadro 3). El tiempo de fermentación no fue influenciado por la altura de la masa de cacao en baba dentro de cada año.

En el ensayo del 2019, el pH de la masa de cacao se incrementó ligeramente al final del proceso con relación al valor del pH inicial de la baba de cacao. En el caso de los grados Brix, los valores también fueron menores al inicio y ligeramente mayores al final del proceso. La diferencia entre los valores iniciales y finales para el año 2019 fue significativa únicamente para el pH ($p < 0.05$).

Los valores iniciales de pH para el año 2020 (pH 4.06) fueron similares al valor final (pH 4.03).

Cuadro 5. Valores de Temperatura¹ registrados en la masa de cacao según altura de carga en el año 2020.

Altura de carga (cm)	Temperatura °C		
	Media	Mínima	Máxima
30	41.3 ± 6.88 a	29.9	50.3
50	41.5 ± 7.57 a	29.5	50.7
83	40.6 ± 7.84 a	29.3	51.6

¹ Medias con la misma letra dentro de cada factor no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).



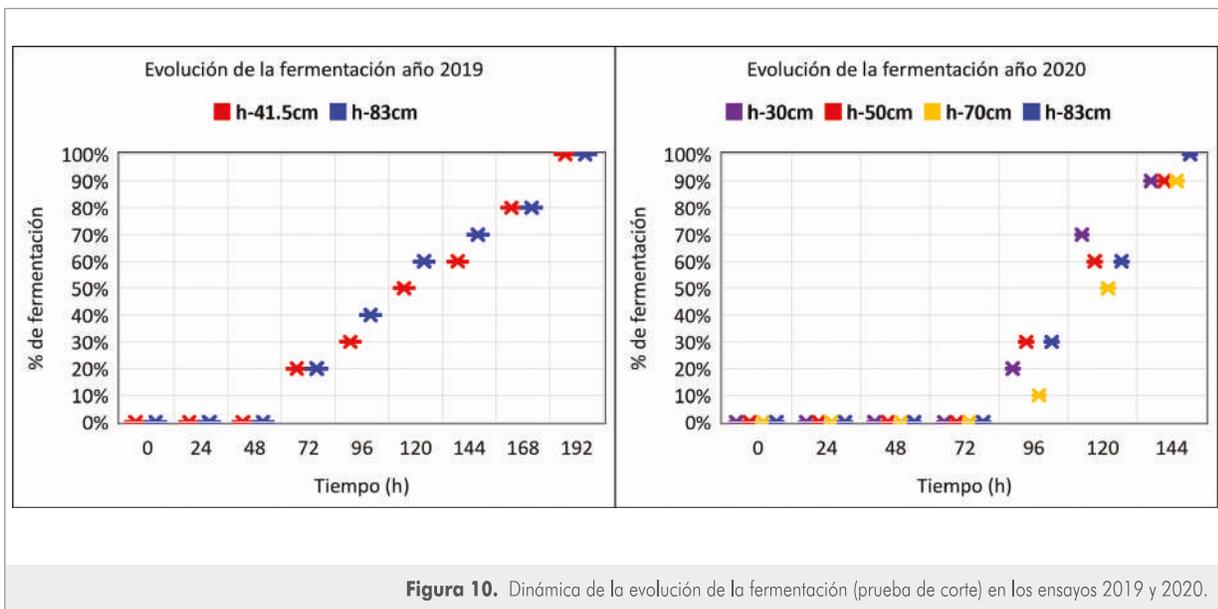
Figura 8. Prueba de fermentación para ensayo 2019. Volteos 0 (0 h), 1 (48 h), 2 (96 h), 3 (120 h), 4 (144 h), 5 (168 h) y 6 (192 h) (de izquierda a derecha).



Figura 9. Prueba de fermentación para ensayo 2020. Volteos 0 (0 h), 1 (48 h), 2 (96 h), 3 (120 h), 4 (144 h). (de izquierda a derecha).

En la Figura 10 se aprecia la evolución del porcentaje de fermentación. En el año 2019 la evolución de la fermentación llevó un tiempo de 8 días para llegar al 100% en las dos alturas de masa evaluadas. En el año 2020 el tiempo de fermentación llevó 6 días, con la diferencia que al final del

proceso se alcanzó el 100% de fermentación en la altura de masa de 83 centímetros y en las alturas restantes se alcanzó el 90% de fermentación. Seguramente con un tiempo más prolongado, similar al ensayo 1, se hubiera alcanzado el 100% de grano fermentado en las alturas de 30, 50 y 70 cm.



CONCLUSIONES

- El tiempo de fermentación varió de 6 días en el ensayo 2020 a 8 días en el ensayo 2019. El impacto de la altura de carga sobre el tiempo de fermentación en 2020 fue relativamente pequeño, en tanto que en el ensayo 2019 fue irrelevante.
- En relación con el pH en el año 2019 se observó que al final del proceso de fermentación el pH fue mayor (pH 4.05) al valor inicial (pH 3.92). En el año 2020 se observó que los valores de pH fueron similares al inicio y final del proceso, con valores de 4.06 y 4.03, respectivamente.
- El efecto de la altura de carga sobre el pH fue mayor en el ensayo 2020. La altura de carga de 30 cm presentó un pH menos ácido (pH 4.24) en comparación a las alturas de 50 (pH 4.02), 70 (pH 4.08) y 83 (pH 3.78) cm.
- Con base en el ensayo 2019, los grados Brix se incrementaron ligeramente al final del proceso. El porcentaje de grados Brix fue similar entre las alturas de 41.5 (19.3°) y 83 (19.7°) cm.
- En los 2 ensayos realizados, la dinámica de la temperatura fue relativamente independiente de la altura de carga de cacao en baba. La temperatura en las diferentes alturas siguió el mismo patrón.
- No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedio de temperatura entre alturas de carga evaluadas en los dos ensayos. La diferencia de temperaturas varió de 0.5 °C en 2019 a 0.9 °C en el año 2020.
- En promedio, la temperatura registrada a 2/3 de la altura de la masa de cacao fue estadísticamente superior por 1.5 °C en relación con la temperatura registrada a 1/3 de la base (44.9 °C) de la caja de fermentación. La temperatura en la parte central del eje horizontal de cada estrato tendió a ser menor que los valores determinados en la orilla y posición intermedia.
- La evolución del porcentaje de fermentación del cacao fue similar en el año 2019, es decir cada una de las alturas

de carga evaluadas se comportaron de forma similar. Las dos alturas evaluadas alcanzaron un 100% de grano fermentado.

- En el año 2020 únicamente la caja con una altura de carga de 83 cm alcanzó el 100% de grano fermentado a las 144 horas de haber iniciado el proceso de fermentación, en tanto que con las alturas 30, 50 y 70 cm se alcanzó el 90% de grano fermentado.

- En general, con base en la dinámica de la temperatura, valores de pH, grados Brix y el % de grano fermentado, la altura de carga de 30 a 83 cm parece tener un efecto relativamente pequeño en el proceso de fermentación, por lo que se puede utilizar cualquier altura de carga dentro de ese rango.

AGRADECIMIENTOS

Al centro de acopio y a la junta directiva de la asociación de KATBALPOM, que apoyaron el estudio realizado en sus instalaciones.

A los técnicos de campo (Carlos Caal, Denis Medina, Luis Morales y Leyda Méndez) y encargados del centro de acopio (Tomás Sacrab) que apoyaron con el montaje de las pruebas y con el monitoreo del proceso de fermentación.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Batista, L. (2009). *Guía Técnica El cultivo de Cacao*. <http://www.cedaf.org.do>
- Bocel, J., Alonzo, I., Gómez, D., Palacios P., Colmenares, A., De León, E. y Cifuentes, R. (2021). *Evaluación del proceso de fermentación de cacao en la región norte de Guatemala*. Rev. UVG (Este número, p. 73).
- Cacao Móvil. (n.d.). *El Secado del Cacao*. Retrieved August 19, 2021, from <https://www.cacaomovil.com/site/guide?id=18&articleId=42>
- Castillo Ramos, J. M. (2019). *Diseño de un fermentador orientado a mejorar el proceso de fermentación del cacao criollo blanco de Piura (Tesis de Máster en Ingeniería Mecánico- Eléctrica con Mención en Automática y Optimización)*. Universidad de Pura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
- Graziani, L., Ortiz, L., Alvarez, N., & Trujillo, A. (2003). *Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera*. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000200005
- MAGA. (2016). *Plan Estratégico de la Agrocadena de Cacao en Guatemala. 2016-2025*. http://www.colombiainteligente.org/phocadownload/Objetivos/Documento_Estrategia_Colombia_Inteligente_V2.0.pdf
- Puziah, H., Jinap, S., Sharifah, K., y Asbi, A. (1998). Effect of mass and turning time on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentration during cocoa fermentation. *J. Sci. Food Agric.*
- Reyes, H., y Capriles de Reyes, L. (2000). *El cacao en Venezuela, Moderna Tecnología para su Cultivo*. <https://es.scribd.com/doc/23271157/Cacao-REYES>
- Rivera Fernández, R. D., Barrera Álvarez, A. E., Guzmán Cedeño, Á. M., Medina Quinteros, H. N., Casanova Ferrín, L. M., Peña Galeas, M. M., & Nivela Morante, P. E. (2012). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo nacional. *Ciencia y Tecnología*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.18779/cyt.v5i1.165>
- Vargas, V., Soto, J., y Enríquez, G. (1989). *Métodos de fermentación de cacao para pequeños productores en seis localidades de Costa Rica. Pruebas de calidad. Memoria. Seminario regional sobre tecnología post cosecha y calidad mejorada del cacao*. IICA. 20-21 julio. Turrialba. Costa Rica.

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE CACAO EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA

Josué Bocel
jbocel@uvg.edu.gt,

Ana Silvia Colmenares
asruiz@uvg.edu.gt,

Donovan Gómez
degomez@uvg.edu.gt,

Isabel Alonzo
ialonzo@uvg.edu.gt,

Edwin De León Rangel
edeleon@uvg.edu.gt,

Edwinth Rodríguez
eerodriguez@uvg.edu.gt,

Rolando Cifuentes
rcifuen@uvg.edu.gt

**Centro de Estudios Agrícolas y
Alimentarios -CEAA**

RESUMEN

Con este estudio se buscó sistematizar el proceso de secado del cacao fermentado, así como realizar un monitoreo de la temperatura y humedad a lo largo del proceso en los centros de acopio. La evaluación se llevó a cabo en 3 centros de acopio ubicados en Lachuá (asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOLSEÑOR), 2 en Cahabón (asociaciones ADEMAYACH y ADIOESMAC) y 1 en Polochic (asociación APODIP), localizados en el departamento de Alta Verapaz. Se realizaron visitas de campo en donde se hicieron observaciones y consultas a los encargados de los centros de acopio y algunos miembros de la Junta Directiva de las asociaciones. Para el monitoreo de la temperatura se colocaron varios dispositivos electrónicos en las camas de secado y se registró la humedad del grano para conocer la evolución del secado. Se determinó que en la región se utilizan estructuras de secado muy diversas. Las mesas de secado son construidas con madera, pero la superficie de contacto con el grano de cacao puede ser de madera corrida, sarán o malla. El grosor de la capa de cacao que se maneja durante el secado es variado, incluyendo grosores de 2 centímetros en ASODIRP hasta 6 centímetros en KATBALPOM. El tiempo de secado varía de 6 a 11 días, lo cual está en función del microclima de la región, la estructura y el manejo del cacao fermentado durante el secado. La temperatura fluctuó de mesa a mesa dentro de la misma estructura de secado y también de acuerdo con el nivel y posición de los dispositivos sobre la mesa y la capa de cacao. En promedio, se determinaron valores relativamente más altos de temperatura en el centro de la mesa (34.6 °C) en comparación con las orillas (33.9 °C), así como sobre la capa de cacao (34.1 °C) en relación con la temperatura registrada entre la capa de cacao (33.8 °C). Existe diferencia significativa en la temperatura promedio registrada en la masa de cacao a lo largo del proceso de secado entre asociaciones, cuyos valores fueron de 32.4°C en KATBALPOM a 36.8°C en APODIP. Algunas asociaciones no utilizan dispositivos para medición de la humedad del grano y se basan en métodos cualitativos como el sonido del grano para concluir el proceso. Los resultados de este estudio permitieron identificar algunos puntos de mejora en el proceso de secado.

PALABRAS CLAVE: Cacao, proceso de secado del cacao, dinámica de secado, temperatura de secado, humedad del grano .

ABSTRACT

EVALUATION OF THE COCOA DRYING PROCESS IN THE NORTHERN REGION OF GUATEMALA

The objectives of this study were to systematize the cocoa drying process, as well as to monitor the temperature and moisture of the grain throughout the process carried out by the collection centers. The study was implemented in 3 collection centers located in Lachuá (KATBALPOM, ASODIRP and ASOLSEÑOR associations), 2 in Cahabón (ADEMAYACH and ADIOESMAC associations) and 1 in Polochic (APODIP association), all of them in the department of Alta Verapaz. Field visits, observations and consultations were made with the managers of the collection centers and some members of the Board of Directors of the

associations. To monitor the temperature, several electronic devices were placed in the drying beds and the grain moisture was recorded with a portable device to know the evolution of drying. It was determined that diverse drying structures are used in the region. The drying tables are made of wood, but the surface where the fermented cocoa comes into contact can be made of wood or plastic mesh. The thickness of the cocoa layer that is handled during drying varied from 2 centimeters in ASODIRP to 6 centimeters in KATBALPOM. The drying time takes between 6 to 11 days, which depends on the microclimate of the region, the drying structure and the handling process of the cocoa during drying. The temperature fluctuated between drying tables within the same drying structure and according to the level and position of the devices on the table and the cocoa layer. On average, relatively higher temperature values were determined in the center of the table (34.6 °C) compared to the edges (33.9 °C) as well as on the cocoa layer (34.1 °C) in relation to the temperature recorded within the layer of cocoa (33.8 °C). There are significant differences in the average temperature recorded in the cocoa mass in the drying process between associations whose values ranged from 32.36 °C in KATBALPOM to 36.75 °C in APODIP. Some associations do not use devices to monitor the moisture of the grain and rely on qualitative methods such as the sound of the grain to conclude the process. The results of this study allowed to identify some points of improvement of the drying process.

KEY WORDS: Cocoa, cocoa drying process, drying dynamics, drying temperature, grain moisture.

INTRODUCCIÓN

El cacao, *Theobroma cacao*, es una especie que crece en las regiones tropicales y sub-tropicales del mundo. El producto principal que proviene del grano de cacao es el chocolate, pero también son el licor de cacao, la manteca de cacao, torta de cacao y cacao en polvo. El negocio del chocolate a nivel mundial es de alrededor de 8 mil millones de dólares (CNUCED, 2016).

Los ocho países con mayor producción son Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador y Malasia, los cuales representan casi el 90% de la producción mundial. Por otro lado, los países con mayor consumo de cacao son Estados Unidos, Alemania, Francia, Inglaterra, Federación Rusa y Japón (CNUCED, 2016).

A nivel nacional, los departamentos con mayor producción de cacao son Alta Verapaz (31%), Suchitepéquez (31%) y San Marcos (25%), que en conjunto representan el 87% de la producción nacional. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), en el país se cultivan alrededor de 4,340 hectáreas (MAGA, 2016a).

La mayor parte de los productores cuentan con un área de producción menor a 1 hectárea y reportan un rendimiento medio de 0.28 TM/ha. La baja productividad se debe principalmente a la baja densidad de árboles por hectárea, la presencia de plagas, plantaciones viejas y baja disponibilidad financiera para la compra de insumos o limitaciones para acceder a asistencia técnica en la plantación (MAGA, 2016b).

En Guatemala la exportación de cacao es relativamente reciente. Accedió primero a El Salvador en el año 2002 y a partir del 2008 a Estados Unidos, con un incremento de exportaciones hacia este mercado en el año 2013. En el norte del país se han creado algunas asociaciones con el fin de apoyar a los pequeños productores en el proceso de beneficiado del cacao para así poder unificar el cacao de la región y poder exportarlo (MAGA, 20216a).

El beneficiado del cacao incluye la fermentación y el secado del grano fermentado. En la región de Cobán y Quiché existe gran diversidad de prácticas de beneficiado, lo que ocasiona que el cacao producido no sea de calidad homogénea y afecte su aceptación en el mercado internacional (MAGA, 2016b).

Está ampliamente documentado que la fermentación y secado del grano son cruciales para la calidad del chocolate. La fermentación consiste en una serie de cambios fisicoquímicos que generan el desarrollo del sabor y aroma a chocolate. Durante este proceso existe una relación entre microorganismos y variaciones de temperatura, pH y humedad con la formación de alcoholes, ácidos y compuestos polifenólicos que matan el embrión, disminuyen el sabor amargo y producen reacciones bioquímicas que forman el chocolate (Teneda Llerena, 2016).

El secado del cacao es el proceso del beneficiado en el que se elimina el exceso de humedad de los granos por calentamiento y se completa la formación del aroma y sabor

a chocolate. Al finalizar la primera etapa de la transformación primaria, la fermentación, el grano queda con un contenido de humedad de aproximadamente 60%, que debe ser reducido hasta un valor entre 7 a 8%. Esto evita el desarrollo de mohos que deterioran la calidad y a la vez facilita el almacenamiento, transporte, manejo y comercialización del cacao (Ortiz de Bertorelli et al., 2004).

Durante el proceso de secado continúa la fase oxidativa de la fermentación, por lo que este juega un papel importante en la disminución de la astringencia, amargor y acidez del grano, así como en el desarrollo del color marrón a partir de los compuestos fenólicos (Rivera Fernández et al., 2012).

El proceso de secado se hace generalmente por lotes ya sea de forma natural tendido al sol o de forma artificial a través de equipos con inyección de aire caliente o deshidratación en horno. Si este proceso se lleva a cabo al sol se realiza durante 4 a 6 días, dependiendo de las condiciones climáticas, hasta lograr obtener granos crujientes cuando estos son apretados unos contra otros y/o cuando estos alcanzan una tonalidad marrón al realizar un corte transversal (Jiménez et al., 2016).

En América Latina se han identificado tres métodos de secado en cacao. Un tipo es el secado a la sombra, el cual es un método no tan común. Se da en lugares de clima seco y con fuertes vientos que favorecen la aireación de los granos. Para esto se utilizan estructuras como galerías. Sin embargo, este método es muy lento y puede favorecer el desarrollo de hongos.

El segundo método es el secado artificial, el cual se utiliza cuando las condiciones climáticas no son óptimas para secado al aire libre o cuando las cantidades de producción son excesivas. Este método depende de corriente eléctrica y

mantiene un secado usualmente a 80°C para evitar la retención de la acidez (IICA, 2017).

El tercer método es el secado al sol el cual es el más utilizado por los productores. Los granos de cacao se tienden en tarimas en lugares de grandes extensiones donde se tenga una iluminación favorable y se pueda eliminar el agua presente en el grano. Este método, a pesar de no generar costos por consumo energético, es extensivo en tiempo y mano de obra, además de las dependencias de las condiciones climáticas. Los primeros dos días se debe realizar el secado controlado, que consiste en extender los granos de cacao con un espesor de 10 cm aproximadamente y se suele remover a cada hora. A partir del tercer día, el secado se realiza en capas de granos más delgadas hasta lograr un valor de humedad del 7% (IICA, 2017).

En Guatemala el secado de cacao también suele realizarse al sol en donde los productores colocan plásticos de color negro sobre el suelo y esparcen el cacao para que reciba sol directo. Existe también la modalidad de utilizar estructuras tipo galera con techo de protección. Estas estructuras tienen camas de madera en donde se coloca el cacao (USAID, 2013).

El país no cuenta con estudios relacionados con la transformación primaria del cacao en las diferentes zonas productoras del país, por lo que es importante conocer los procesos de secado del cacao en las distintas regiones. Esto con la finalidad de mejorar la eficiencia del proceso y promover la mejora de la calidad del grano.

Con este estudio se buscó sistematizar el proceso de secado de cacao en varias asociaciones de la región norte del país, así como realizar un monitoreo de la temperatura y humedad a lo largo del proceso realizado por cada asociación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en el año 2019 en las subregiones Lachuá, Cahabón y Polochic ubicadas en el departamento de Alta Verapaz. En la subregión de Lachuá (Cobán) participaron las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y

ASOSELNOR, ubicadas en las aldeas Salacuim, Rocja Pomtilá y Faisán I, respectivamente. En Cahabón participaron las asociaciones ADEMAYACH y ADIOESMAC, ubicadas en las aldeas San Juan Chivité y Tzalamtun. En Polochic participó la asociación APODIP ubicada en Aldea Campur, Santa Catalina La Tinta (Figura 1).

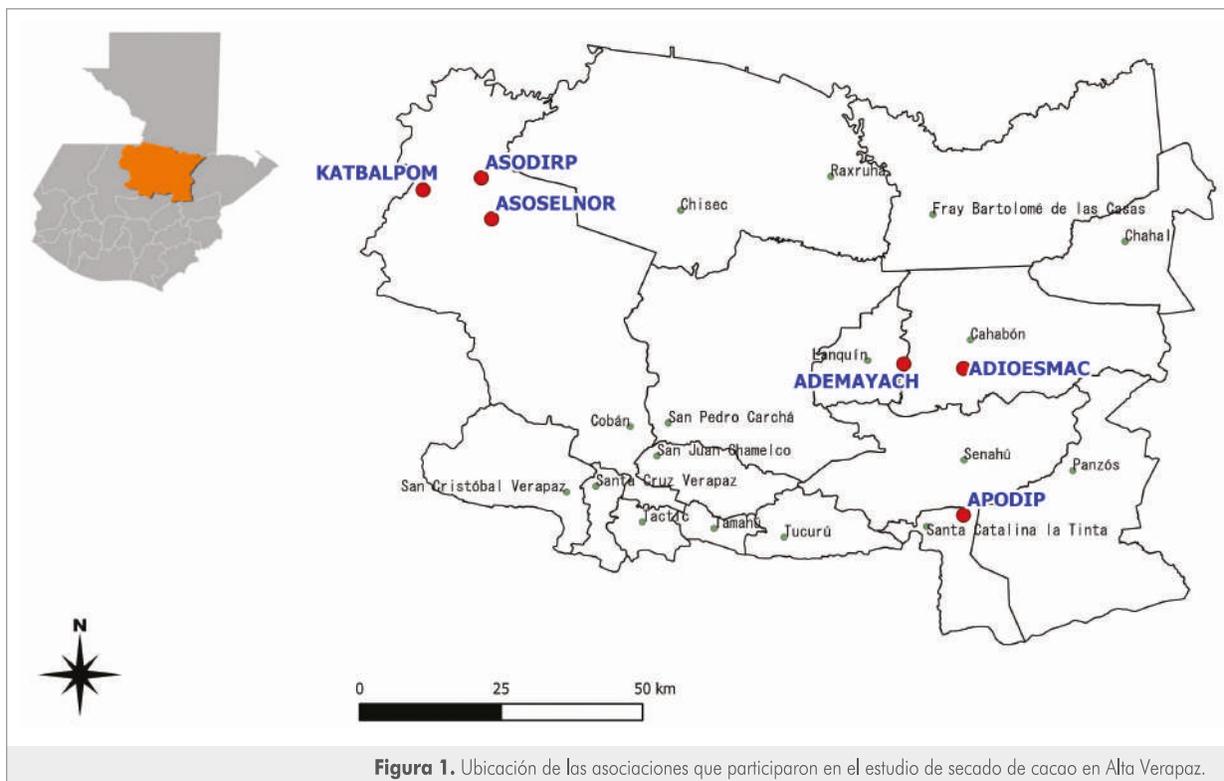


Figura 1. Ubicación de las asociaciones que participaron en el estudio de secado de cacao en Alta Verapaz.

Sistematización del proceso de secado

La sistematización del proceso de secado se realizó en las 6 asociaciones que participaron en el estudio. Para ello se realizaron visitas a los centros de acopio. Durante las visitas de campo se realizaron consultas a los encargados de los centros de acopio y a algunos miembros de la junta directiva a fin de documentar el proceso de secado.

Monitoreo del proceso de secado

Las actividades de secado se realizan inmediatamente después de haber finalizado el proceso de fermentación del grano.

La evaluación del secado se realizó en 5 de las 6 asociaciones. Participaron las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, ADEMAYACH Y APODIP.

En la asociación KATBALPOM se monitoreó el secado de 3 cajas de grano fermentado separando el material en distintas mesas de secado. En las asociaciones restantes se monitoreó una caja de grano fermentado en una mesa de secado.

Para propósitos del diagnóstico, se partió del registro de las dimensiones de las mesas de secado, el grosor de la capa de cacao que se utiliza en cada asociación y el registro de las distintas características de los secadores como los materiales utilizados para la construcción de las mesas de secado y la estructura en general.

Al realizar el traslado del grano fermentado a las mesas de secado se siguió la metodología de manejo de cada

asociación. Esto significa que cada asociación usó el grosor de la capa de cacao que regularmente utiliza.

A lo largo del proceso de secado del grano se realizó el monitoreo de la temperatura. La temperatura sobre las mesas de secado se midió por medio de dispositivos LogTag modelo Trix-8, los cuales tienen un rango de medición de -40°C a 85°C y una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Cada medidor de temperatura registró una lectura a cada 5 minutos. Esto equivale a 288 lecturas en 24 horas. Se utilizaron 5-6 medidores de temperatura por mesa de secado colocados en distintas posiciones (esquina y centro de la mesa) y niveles de colocación (entre y sobre la capa de cacao) (Figura 2). Una vez concluido el proceso, los datos de temperatura de cada dispositivo fueron transferidos al ordenador por medio del software LogTag Analyzer.

La temperatura y humedad relativa del ambiente dentro de la unidad de secado se midió a cada 24 horas con dispositivos digitales. En el caso de las asociaciones KATBALPOM y ASODIRP también se colocaron 2 dispositivos para el registro de esos parámetros a cada 5 minutos.

Para saber el final del secado se determinó la humedad del grano a cada 24 horas después de iniciado el proceso. Esta medición se realizó con un dispositivo digital portátil (Figura 3). La prueba de humedad de grano consistió en tomar una muestra de cacao cerca de los dispositivos colocados para medición de temperatura. Se dio por concluido el proceso de secado cuando la muestra registró un contenido de humedad de aproximadamente 7.5%.

Vista superior de la ubicación de loggers en las camas de secado - KATBALPOM

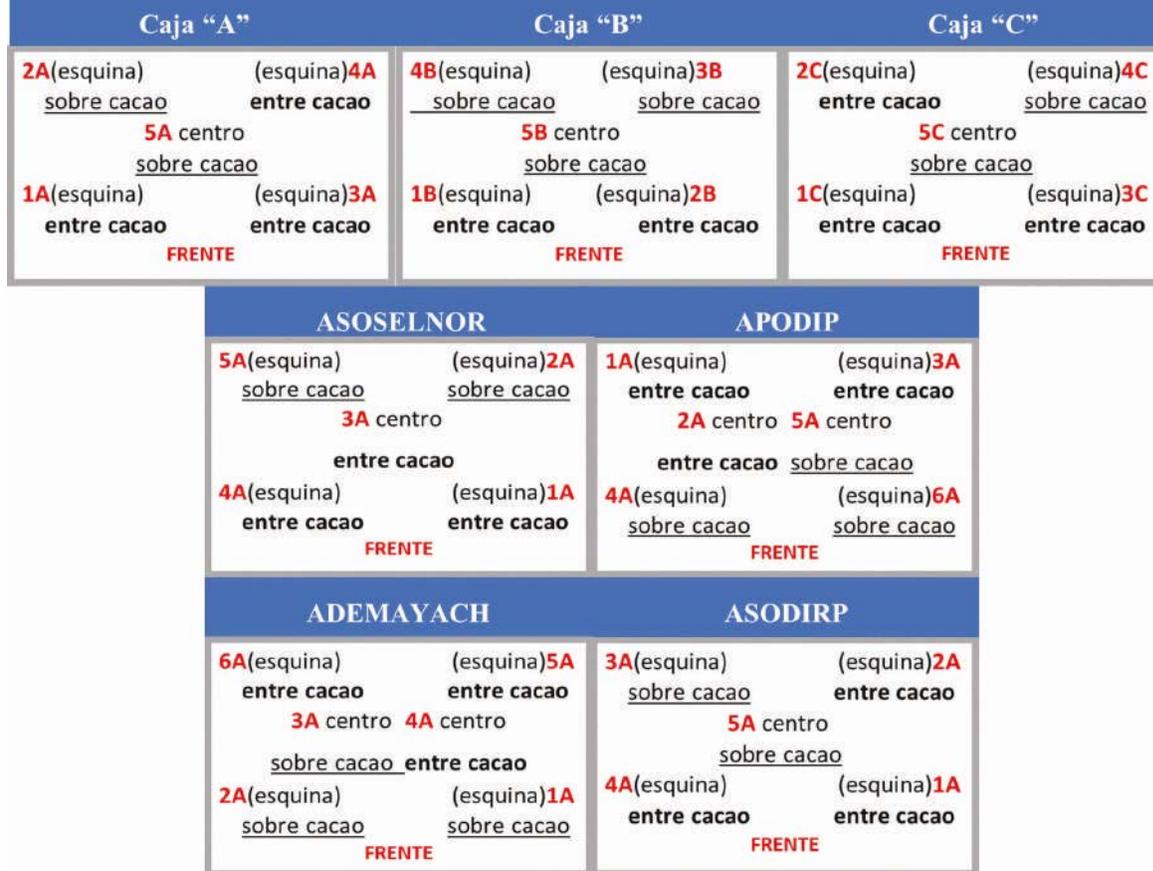


Figura 2. Distribución de los dispositivos para monitoreo de temperatura en las camas de secado.

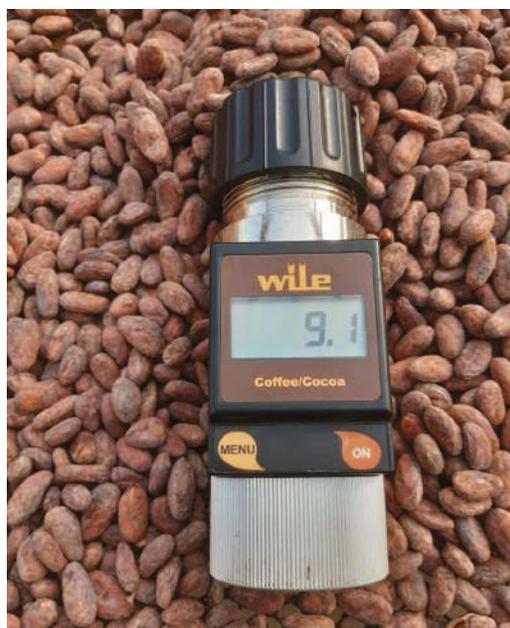


Figura 3. Dispositivos digitales utilizados para la medición de humedad del grano de cacao.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat, versión 2016e, (www.infostat.com.ar). Se realizó análisis de varianza para 1 o más factores. La discriminación entre tratamientos se hizo de acuerdo con la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 0.05.

Los factores evaluados en los análisis de temperatura incluyeron la asociación (5 asociaciones), nivel de colocación de los dispositivos (entre y sobre la capa de cacao) y posición del dispositivo en el plano horizontal (esquina y centro de la mesa).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción y monitoreo del proceso de secado

En el Cuadro 1 se presentan una breve descripción del proceso y las principales características de las unidades de secado utilizadas en las diferentes asociaciones.

Las unidades de secado tienen en común el uso lámina de policarbonato, pero existe variación en las cortinas laterales.

En algunos casos la cortina es de plástico y en otras es de policarbonato.

En el caso de la superficie que utilizan para el secado, esta varía de una asociación a otra, desde el uso de un patio de cemento, el uso de mesas construidas exclusivamente de madera, hasta la utilización de malla plástica gruesa sin madera corrida debajo para permitir una buena ventilación.

Cuadro 1. Características del proceso y de las unidades de secado de cacao en 6 centros de acopio de Alta Verapaz.

Asociación	Unidad de secado	Dimensiones de la mesa LxAxH ¹ m	Mesas por unidad de secado	Grosor de la capa de cacao cm	
KATBALPOM	<p>Estructura de techo de policarbonato y cortinas plásticas laterales. Las mesas de secado tienen malla plástica gruesa, con orificios grandes, sin ningún tipo de madera corrida debajo. El suelo está impermeabilizado con una torta de cemento.</p> <p>El proceso de secado inicia inmediatamente después de finalizar el proceso de fermentación. Se pasa el cacao de las cajas de fermentación a las mesas en las estructuras de secado. Se acostumbra a secar el cacao bajo el sol directo en el último día de secado antes de dar por concluido el proceso.</p> <p>Las remociones son frecuentes al inicio del proceso de secado, y a medida que los días de secado transcurren estas van disminuyendo.</p> <p>El monitoreo de la humedad de grano se realiza por medio de un medidor de humedad de grano. Al marcar una lectura de aproximadamente 7.5% se da por concluido el proceso.</p>	    <p>Mesa con malla sin madera corrida</p>	16x2x0.8	2	5 a 6

Cuadro 1. Características del proceso y de las unidades de secado de cacao en 6 centros de acopio de Alta Verapaz.

Asociación	Unidad de secado	Dimensiones de la mesa LxAxH ¹ m	Mesas por unidad de secado	Grosor de la capa de cacao cm
<p data-bbox="277 317 548 478">Estructura de techo y laterales fijos de policarbonato. Las mesas de secado cuentan con malla plástica con orificios pequeñas y cuentan con madera corrida debajo. El suelo no está impermeabilizado.</p> <p data-bbox="277 491 548 709">El proceso de secado inicia con el traslado del cacao fermentado directamente de las cajas a las mesas ubicadas en las estructuras de secado. El proceso de secado dura aproximadamente una semana, dependiendo de las condiciones del clima de la región.</p> <p data-bbox="277 722 548 884">Durante el proceso de secado se le aplican remociones al cacao, siendo estas más frecuentes en los primeros días del proceso, y a medida que transcurren los días de secado estas van disminuyendo.</p> <p data-bbox="277 896 548 1058">El monitoreo de la humedad del grano lo realizan por medio de un dispositivo electrónico con escala específica para cacao. Al alcanzar 7.5% de humedad de grano se da por finalizado el proceso de secado.</p>	   <p data-bbox="886 722 1084 772">Mesa de madera con malla tipo sarán</p>	16x2x0.8	2	2 a 3
<p data-bbox="277 1081 548 1268">Estructura tipo invernadero. Cuenta con techo y laterales fijos de policarbonato. Las mesas de secado cuentan solamente con madera corrida y no cuentan con malla. El suelo está impermeabilizado con torta de cemento</p> <p data-bbox="277 1281 548 1528">Durante el proceso de secado se realizan trabajos de remoción utilizando un rastrillo de madera. Se atribuye que la poca circulación de aire en el secador se debe a que la mesa tiene un fondo de madera corrida y por ello se observan con frecuencia problemas de crecimiento de hongos.</p> <p data-bbox="277 1541 548 1682">Entre las mediciones que realizan de forma rutinaria están la temperatura y la humedad relativa en el ambiente interno de la unidad de secado, así como la humedad del grano.</p> <p data-bbox="277 1694 548 1856">El medidor de humedad de granos es un dispositivo digital que se utiliza para monitorear el estado del secado el cual debe estar en aproximadamente 7.5% para dar por finalizado el proceso.</p>	  <p data-bbox="922 1281 1039 1310">Mesa de madera</p>	16x2x0.8	2	4 a 5

Cuadro 1. Características del proceso y de las unidades de secado de cacao en 6 centros de acopio de Alta Verapaz.

Asociación	Unidad de secado	Dimensiones de la mesa LxAxH ¹ m	Mesas por unidad de secado	Grosor de la capa de cacao cm
<p>ADEMAYACH</p> <p>La estructura consiste en una galera que cuenta únicamente con techo de policarbonato y cortinas plásticas, colocan el cacao sobre un plástico negro grueso, y debajo del plástico se tiene una torta de cemento.</p> <p>El cacao se traslada de las cajas de fermentación a ser expuesto directamente a la radiación solar utilizando un nylon negro grueso para evitar el contacto del grano con el suelo. El proceso de exposición directa al sol consiste en 1 o 2 días y el proceso finaliza sobre la torta de cemento del secador.</p> <p>Para dar por concluido el proceso de secado se realiza el monitoreo del estado del grano por medio del sonido que este emite al golpear la madera del secador. No se utilizan dispositivos para el monitoreo de la humedad del grano.</p>	 <p>Piso de cemento</p>	5x10x0.05	1	4 a 5
<p>ASOSELNOR</p> <p>Estructura de techo de policarbonato y cortinas plásticas laterales. Las mesas de secado tienen malla plástica con orificios pequeños, y además cuentan con madera corrida debajo de la malla. El suelo está impermeabilizado con una torta de cemento.</p> <p>Los productores indican que el cacao sale del proceso de fermentación con un 55% de humedad. Con los secadores se debe llegar a un 7% medido por medio de un medidor de humedad portátil.</p> <p>Las personas consultadas indicaron que el mayor problema durante el proceso de beneficio del cacao se encuentra en el área de secado debido a que el proceso puede tomarles entre 9 a 31 días. Esto se traduce en pérdidas por contaminación con hongos y un retraso en la producción.</p> <p>Para determinar si se ha completado el secado, los productores realizan una práctica en donde evalúan el sonido del cacao al caer sobre la mesa de secado, es decir, no utilizan ningún instrumento de medición de humedad de grano.</p>	 <p>Mesa de madera con malla tipo sarán</p>	16x2x0.8	2	4 a 5

Cuadro 1. Características del proceso y de las unidades de secado de cacao en 6 centros de acopio de Alta Verapaz.

Asociación	Unidad de secado		Dimensiones de la mesa LxAxH ¹ m	Mesas por unidad de secado	Grosor de la capa de cacao cm	
ADIOESMAC	<p>La estructura está hecha con madera con techo de policarbonato, laterales fijos de plástico y mesas de madera corrida con malla tipo sarán de color negro para permitir una mejor ventilación.</p> <p>El cacao fermentado se traslada al secador y se le aplican remociones a determinadas horas del día, siendo estos más frecuentes en los primeros días de secado, y a medida que avanza el proceso de secado el número de remociones van disminuyendo.</p> <p>El monitoreo de la humedad de grano la realiza por medio de un medidor de humedad de grano. Se da por concluido el proceso de secado en cuanto el dispositivo marca una humedad de 7.5%.</p> <p>Es importante mencionar que en la asociación no solo cuentan con el secado por medio de estructuras, sino también utilizan el método de secado directo al sol. Esto, dependiendo de la disponibilidad de cacao en la región.</p> <p>Durante la visita se observó que el secado al sol se realiza directamente sobre un patio de cemento sin la utilización de sarán o plásticos.</p>		 <p>Piso de cemento</p>	16x2x0.8	2	2 a 3

¹ Largo x ancho x alto.

Dinámica del proceso de secado

El tiempo de secado en las distintas asociaciones y regiones varió de 6 a 11 días (Cuadro 2).

Los tiempos para el secado del cacao dependieron del microclima durante el proceso de secado, el tipo de estructura y también del grosor de la capa de cacao fermentado que se manejó durante el proceso. En los centros de acopio, los grosores de la capa de cacao variaron de 2 a 6 centímetros.

La asociación APODIP cuenta con una unidad de secado completamente cubierta por láminas de policarbonato, manteniendo altas temperaturas durante el día, lo que ayudó a reducir el tiempo de secado a 6 días.

ASODIRP fue la asociación que manejó el grosor más delgado de la capa de cacao (2-3 cm). El tiempo de

secado se completó a los 8 días, a pesar de que en esa unidad de secado se registró el menor valor medio de temperatura.

Las condiciones de temperatura y humedad ambiental durante el proceso de secado fueron diferentes en cada región, variando de 35 °C a 43 °C y de 37 a 59 %, respectivamente. La relación entre esas dos variables a lo interno de las unidades de secada es inversa (r^2 0.91), es decir que altas temperaturas están asociadas a bajos niveles de humedad y viceversa. Durante el día la humedad relativa baja a medida que aumenta la temperatura y por la noche la humedad relativa se incrementa.

En general, por cada libra de cacao seco se requirieron 1.87 ± 0.13 lbs de cacao fermentado y 2.24 ± 0.08 lbs de cacao en baba. El centro de acopio de la asociación

KATBALPOM presentó la mejor tasa de conversión (1.66) de grano fermentado a grano seco.

Para determinar el avance del secado, diariamente se realizó la medición de la humedad del grano por medio de un medidor portátil, con la escala específica para grano de cacao. Los valores finales de humedad del cacao seco variaron de 7% (ASODIRP) a 7.97% (ADEMAYACH) (Figura 4). Dichos valores se encuentran dentro del rango aceptable, ya que el valor final ideal de humedad de un buen proceso de secado es de 7.5% (Hii et al., 2006).

La humedad inicial del cacao fermentado varía de 50 a 55%. Esto significa que durante los primeros 2 días de secado el cacao pierde entre 39 a 44% de humedad, a razón de aproximadamente 20% por día. La remoción de humedad

del grano a partir del día 2 es un proceso más lento. Los altos valores de humedad del grano durante los primeros dos días de secado están fuera del rango de registro de los dispositivos portátiles.

Es importante indicar que en la región de Lachuá (KATBALPOM, ASODEIP y ASOSELNOR) hubo algunos momentos de precipitación durante el secado, lo cual generó la absorción de humedad en el grano que se tenía en las unidades de secado. Esto repercutió en un retardo en el proceso de secado, tal como se observa en la Figura 4 para las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR entre los días 5 y 6. Ese aumento en el porcentaje de humedad puede causar daños en la calidad por crecimiento de hongos (Hii et al., 2006).

Cuadro 2. Detalles del proceso y condiciones para el secado de cacao en Alta Verapaz.

Asociación	Tiempo de secado (días)	Microclima en unidad de secado		Cacao en baba lbs	Cacao fermentado lbs	Cacao seco lbs	Relación ferm/seco
		Temp, Media (°C)	Hum. Relativa Media (%)				
KATBALPOM	11	41.08	44	1201	949	572	1.66
ASODIRP	8	34.97	59	1038	844	460	1.83
ASOSELNOR	10	42.82	44	1278	1106	573	1.93
APODIP	6	43.13	37	566	486	246	1.98
ADEMAYACH	7	40.00	45	1010	844	437	1.93
Media	8.2	40.40	46	1018.60	845.8	457.6	1.87

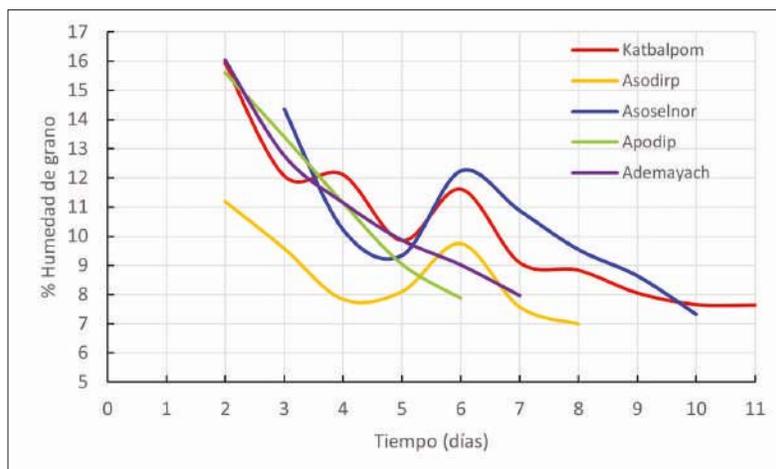


Figura 4. Pérdida de humedad del grano de cacao durante el secado en Alta Verapaz.

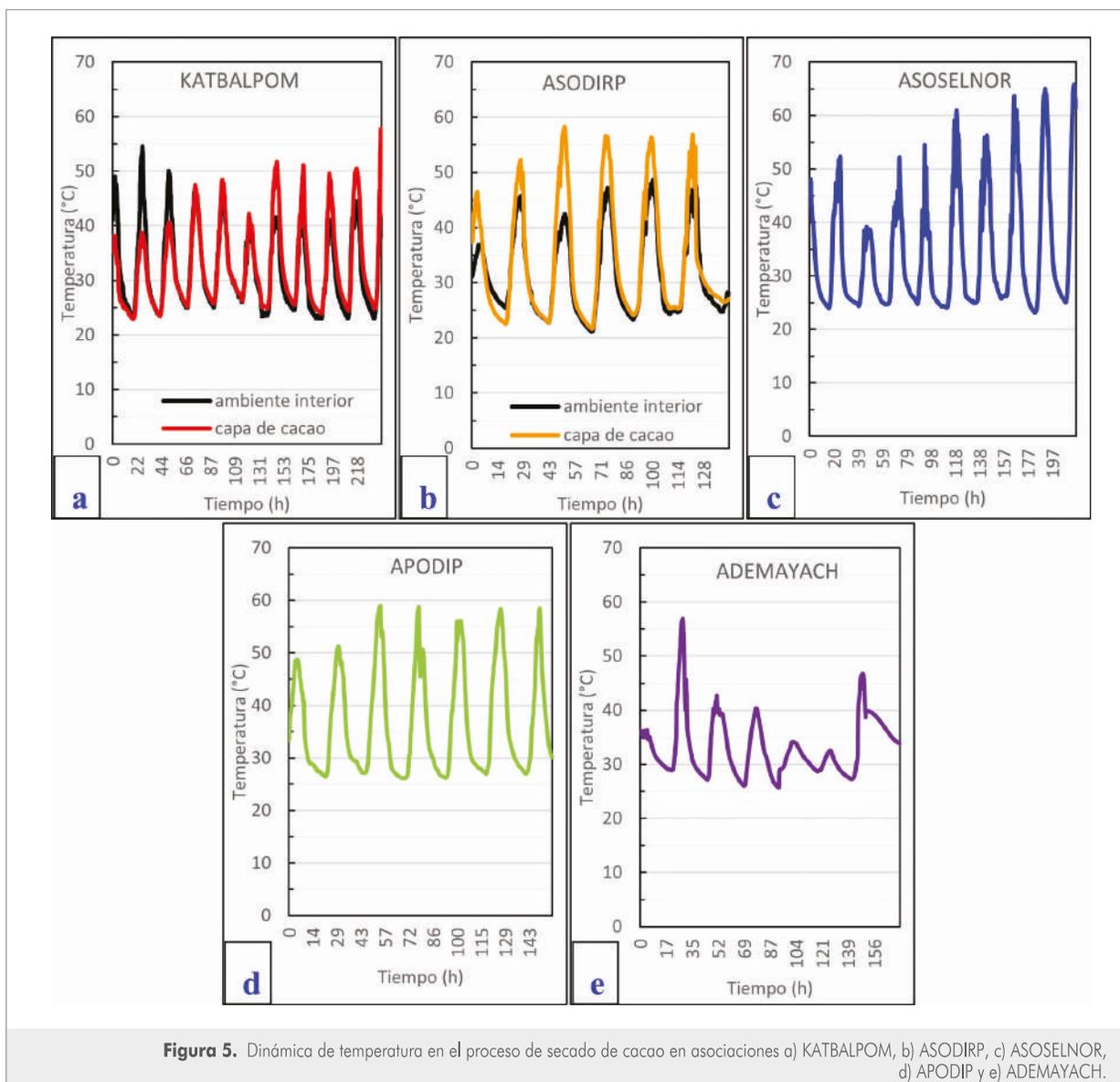
Dinámica de la temperatura durante el secado en los centros de acopio

La dinámica de la temperatura durante el tiempo de secado para cada centro de acopio se presenta en la Figura 5. El ciclo de baja y alta temperatura corresponden a las horas del día en el ciclo de 24 h, siendo la temperatura mayor durante el día y baja durante la noche. Este mismo patrón también se registra en la temperatura del ambiente de la unidad de secado (Figuras 5a y 5b).

En el centro de acopio de KATBALPOM (Figura 5a) la temperatura del ambiente de la unidad de secado es mayor a la temperatura media de la capa de cacao durante los primeros 2 días y posteriormente tiende a ser menor que la temperatura en la capa de cacao. En el caso de ASODIRP

(Figura 5b), la temperatura del ambiente de la unidad de secado consistentemente fue menor que la temperatura en la capa de cacao durante el tiempo de secado. Esto podría ser el resultado del grosor de la capa inicial de cacao. En KATBALPOM el grosor de la capa de cacao es de 5 a 6 cm, en tanto que en ASORDIP es de 2 a 3 cm (Cuadro 1).

Se observan diferencias en los picos de temperaturas máximas alcanzadas durante el día. Esto se atribuye principalmente al microclima de cada región de estudio y al tipo de estructura. En ASOSELNOR se observan picos de temperatura máximos por encima de los 60°C a diferencia del resto de asociaciones que presentan temperaturas máximas por debajo de ese valor. Los valores representan el promedio de 5 lecturas en diferente nivel y posición.



De acuerdo con el Cuadro 3, en promedio existe diferencia altamente significativa ($p < 0.05$) entre los valores de temperatura en el microambiente de la unidad de secado en las diferentes asociaciones. Los mayores valores de temperatura se registraron en la Asociación APODIP y los menores valores en KATBALPOM. Estas diferencias en la temperatura están directamente relacionadas con las condiciones climáticas de cada región y los distintos tipos de materiales utilizados para la construcción de las unidades para secado.

Homogeneidad de temperatura en diferentes puntos de la capa de cacao durante el secado

De acuerdo con el Cuadro 4, en las asociaciones KATBALPOM, APODIP y ADEMAYACH se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los niveles de colocación de los dispositivos, los cuales fueron entre el cacao y sobre el cacao. En las asociaciones restantes la diferencia no fue significativa.

Excepto en la asociación ADEMAYACH, la temperatura tendió a ser mayor en los dispositivos colocados sobre la cama de secado con una diferencia promedio de $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}$ arriba del valor de temperatura registrada entre la capa de cacao (Cuadro 4).

En cuanto a la posición de colocación de los dispositivos en el plano horizontal (Cuadro 4), únicamente en KATBALPOM y en ASODIRP se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$).

En las otras tres asociaciones no se encontraron diferencias en los valores de temperatura.

Cuadro 3. Separación de medias¹ de temperatura ambiente dentro de las unidades de secado.

Asociación	Temperatura $^{\circ}\text{C}$
APODIP	36.75 ± 10.02 a
ASODIRP	33.89 ± 10.63 b
ASOSELNOR	34.24 ± 10.93 b
ADEMAYACH	33.20 ± 5.52 c
KATBALPOM	32.36 ± 7.48 d

¹ Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

Consistentemente, el mayor valor de temperatura se registró en la posición central de la cama de cacao (Cuadro 4), con un promedio de $0.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ por arriba del valor de temperatura registrada en la orilla de la cama.

La dinámica de la temperatura en los diferentes niveles de colocación de los dispositivos (entre el cacao y sobre el cacao) y diferentes posiciones de colocación (esquina o centro) en cada asociación se presenta en las Figuras 6 y 7, respectivamente.

Cuadro 4. Valor medio¹ de temperatura según la colocación y posición de dispositivos en las mesas de secado del cacao.

	Asociación				
	KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	APODIP	ADEMAYACH
Nivel de colocación del dispositivo					
Entre la capa de cacao	32.47 a	33.45 a	34.08 a	35.81 b	33.08 b
Sobre la capa de cacao	31.31 b	33.90 a	34.30 a	37.69 a	33.31 a
Posición en la mesa de secado					
Orilla	31.31 b	33.90 b	34.08 a	36.70 a	33.17 a
Centro	33.07 a	35.21 a	34.45 a	36.85 a	33.25 a

¹ Medias con la misma letra dentro de cada factor (nivel o posición) no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

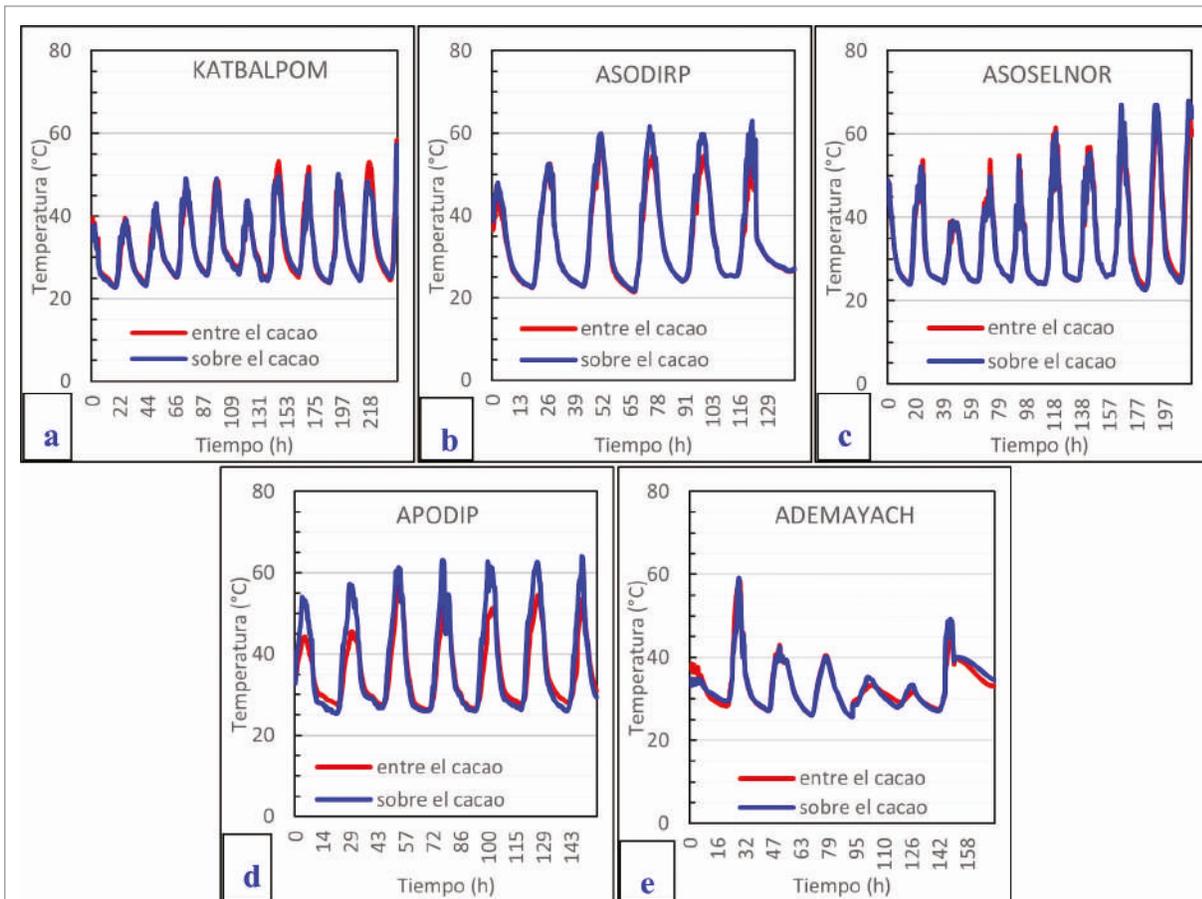


Figura 6. Dinámica de la temperatura con relación al nivel de colocación de los dispositivos en camas de secado de cacao en las asociaciones a) KATBALPOM b) ASODIRP c) ASOLSEÑOR d) APODIP y e) ADEMAYACH.

En promedio, los resultados de las 5 asociaciones indican que la temperatura de los dispositivos colocados sobre la capa de cacao presentó una mayor temperatura con relación a la temperatura de los dispositivos colocados entre la capa de cacao. Con relación a la posición de colocación sobre el plano horizontal, la posición del centro superó a la temperatura registrada en la posición de esquina.

Se encontró efecto de la interacción entre el nivel o posición de colocación de los dispositivos y la asociación ($p < 0.05$), lo cual indica que la temperatura dependió del punto de su registro en la cama de secado y de la asociación. Adicionalmente, en algunos casos la interacción entre el nivel y posición del dispositivo fue significativo. Es evidente que la temperatura no es homogénea en la cama de secado dentro y entre asociaciones.

Dinámica de temperatura en camas de secado manejadas simultáneamente

En la Figura 8 se presenta la dinámica de las temperaturas según mesa de secado para KATBALPOM. El desplazamiento de la mesa C hacia la izquierda es debido a que fue instalada unas horas antes de colocar las otras mesas, dentro del mismo día. Se observan pequeñas diferencias en la altura de los picos entre mesas, las cuales son estadísticamente significativas ($p < 0.05$). La medios de temperatura fueron de 32.36 ± 7.71 °C para la mesa A, 32.51 ± 8.31 °C para la mesa B y 33.16 ± 7.48 °C para la mesa C. La temperatura media de la mesa C fue estadísticamente superior al valor medio de las otras dos camas de secado.

Los anterior indica que la temperatura varía entre mesas de secado y el lugar de colocación del dispositivo de registro.

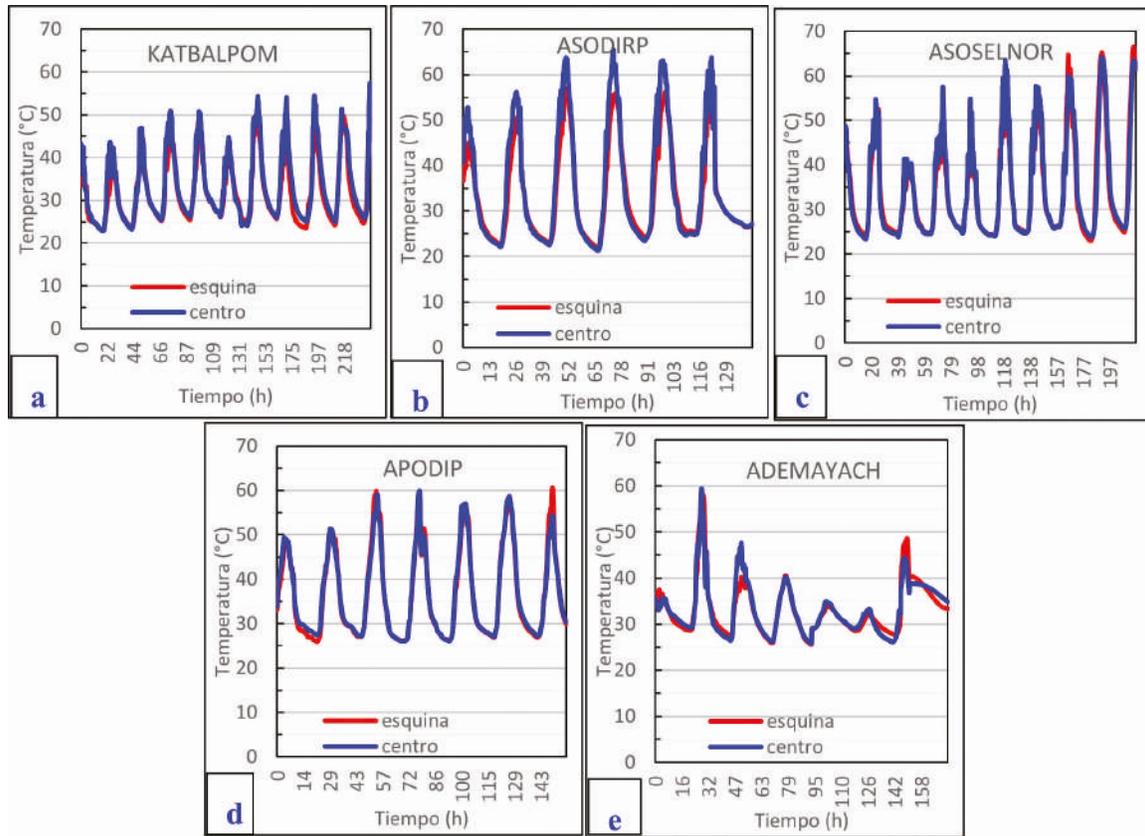


Figura 7. Dinámica de temperatura con relación a la colocación de los dispositivos sobre la mesa de secado de cacao en las asociaciones a) KATBALPOM b) ASODIRP c) ASOSELNOR d) APODIP y e) ADEMAYACH.

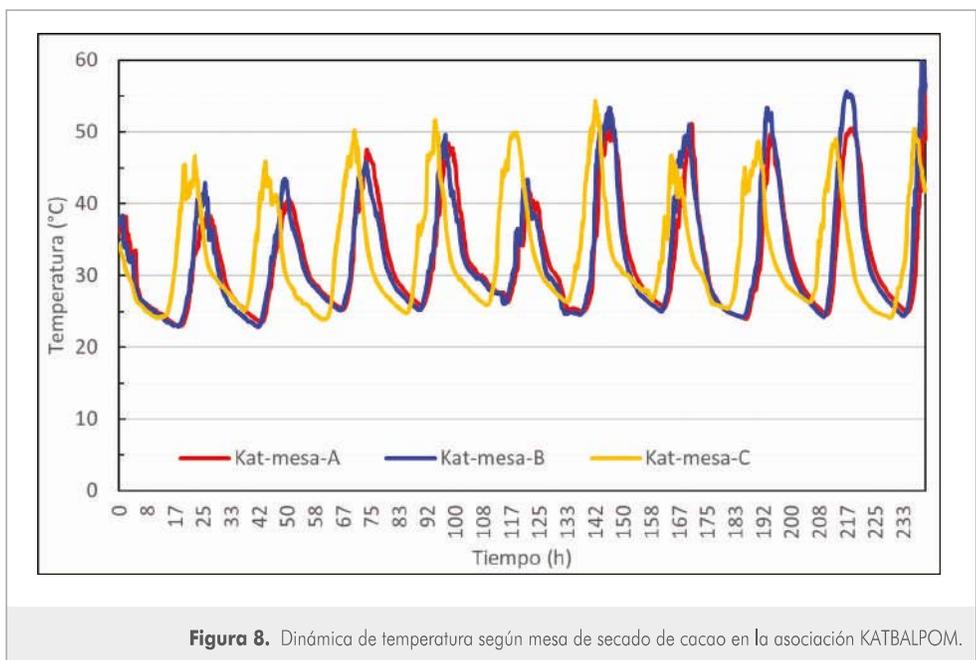


Figura 8. Dinámica de temperatura según mesa de secado de cacao en la asociación KATBALPOM.

CONCLUSIONES

- El tiempo de secado varió de 6 a 11 días, lo cual está en función del microclima de la región, la estructura y el proceso de manejo del cacao fermentado durante el secado.
- Las estructuras de secado convencional son muy diversas en cuanto a sus materiales de construcción. Los más utilizados son las láminas de policarbonato, madera y plástico transparente.
- La dinámica de la temperatura de secado y el tiempo de secado dependen fuertemente del microclima de la región y del ambiente de la unidad de secado.
- Las mesas de secado son construidas con madera, pero la superficie donde entra en contacto el cacao fermentado está construida con madera, sarán o malla. El suelo en algunos casos está impermeabilizado con cemento.
- El grosor de la capa de cacao en las mesas de secado es variable, desde grosores de 2 centímetros en ASODIRP hasta 6 centímetros en KATBALPOM, lo cual incide en el tiempo de secado.
- La temperatura fluctuó de mesa a mesa de secado dentro de la misma estructura de secado y también de acuerdo con el nivel y posición de los dispositivos sobre la mesa y la capa de cacao. En promedio, se reportaron valores relativamente más altos de temperatura en el centro de la mesa (34.6 °C) en comparación con las orillas (33.9 °C) así como sobre la capa de cacao (34.1 °C) en relación con la temperatura registrada entre la capa de cacao (33.8 °C).
- Existe diferencia significativa en la temperatura promedio registrada en la masa de cacao en proceso de secado entre asociaciones cuyos valores van de 32.36°C en KATBALPOM a 36.75°C en APODIP.
- Se identificaron algunos puntos de mejora del proceso de secado del cacao, incluyendo el uso de una malla debajo de la capa de cacao, uniformizar el grosor de la capa de cacao, el uso de un secador solar que proteja el cacao cuando el clima es muy húmedo, monitoreo de la temperatura y la humedad relativa en el microambiente de la unidad de secado así como el uso de dispositivos debidamente calibrados para el monitoreo de la humedad para llevar el cacao a un valor de 7.5%.

AGRADECIMIENTOS

A los centros de acopio y a las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ABOSELNOR, ADEMAYACH y APODIP que apoyaron el estudio realizado en sus instalaciones.

A los técnicos de campo (Carlos Caal, Denis Medina, Luis Morales, Diana López, Keni Ixim y Alejandro Tec) y encargados de los centros de acopio (Tomás Sacrab, Inocente Caal, Evaristo Chub, Denis Choc y Luis Arturo Tún) que apoyaron con el montaje de las pruebas y con el monitoreo del proceso de fermentación.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- CNUCED. (2016). Cacao: Un perfil de produit de base par INFOCOMM. https://unctad.org/system/files/official-document/INFOCOMM_cp02_Cocoa_fr.pdf.
- IICA. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao Buenas prácticas para América Latina. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*.
file:///C:/Users/usuario/Downloads/BVE17089191e.pdf.
- Hii, Ching, Rahman, R. , Jinap, S. y Man, YB. (2006). *Quality of cocoa beans dried using a direct solar dryer at different loadings*, J Sci Food Agric 86:1237-1243 (2006).
- Jiménez, J., Ortigón, N., y Ortega, E. (2016). *Análisis del proceso de deshidratación de cacao (Theobroma cacao L.) en túnel de secado continuo* Analysis of the dehydration process of cocoa (Theobroma cacao L.) in a continuous drying tunnel. 34(December). <https://doi.org/10.15446/agron.colomb>.
- MAGA. (2016a). *Plan Estratégico de la Agrocadena de Cacao en Guatemala. 2016-2025*.
<https://www.maga.gob.gt/download/estrategia-ca20.pdf>.
- MAGA. (2016b). *El Agro en Cifras 2016*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, MAGA. Guatemala.
- Ortiz de Bertorelli, L., Camacho, G., y Graziani de Fariñas, L. (2004). *Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao*. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000100003.
- Rivera Fernández, R. D., Barrera Álvarez, A. E., Guzmán Cedeño, Á. M., Medina Quinteros, H. N., Casanova Ferrín, L. M., Peña Galeas, M. M., y Nivelá Morante, P. E. (2012). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (*Theobroma cacao* L.) Tipo Nacional. *Ciencia y Tecnología*, 5(1), 7. Universidad técnica estatal de Quevedo. Ecuador.
<https://doi.org/10.18779/cyt.v5i1.165>.
- Teneda Llerena, W. F. (2016). Mejoramiento del proceso de fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Variedad Nacional y Variedad CCN51*, 140.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=664426>.
- USAID. (2013). *Uso actual y oferta de tecnologías sostenibles en las cadenas de valor del cacao en Guatemala para mejorar la seguridad alimentaria*. http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Informe_Guatemala.pdf.

EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA CACAO EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA

Josué Bocel
jibocel@uvg.edu.gt,

Donovan Gómez
degomez@uvg.edu.gt,

Ana Silvia Colmenares
asruiz@uvg.edu.gt,

Isabel Alonzo
ialonzo@uvg.edu.gt,

Edwin De León Rangel
edeleon@uvg.edu.gt,

Edwinth Rodríguez
eerodriguez@uvg.edu.gt,

Rolando Cifuentes
rcifuen@uvg.edu.gt

**Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios,
CEAA**

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue diseñar y evaluar un secador solar para complementar el proceso de secado en las distintas asociaciones productoras de cacao. La evaluación se llevó a cabo en Lachuá (asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR), Cahabón (asociación ADEMAYACH) y en Polochic (asociación APODIP), Alta Verapaz. El prototipo utilizado es un secador que utiliza como fuente de energía el calor de la radiación del sol de forma indirecta. La estructura cuenta con un colector de aire, cámara de secado utilizando bandejas y la salida de aire caliente húmedo. En cada una de las asociaciones se colocaron 2 secadores cuyo desempeño se comparó con el secado tradicional. Se realizaron 3 ensayos. En el primer ensayo el material fermentado se colocó directamente en la cámara de secado sin pasar por un proceso de aireación previo. En el segundo ensayo el material fermentado pasó por un proceso de aireación de 8 h simulando la condición del secado convencional. En uno de los secadores se colocó una carga de cacao fermentado similar a la carga del secado convencional para un área similar al de las bandejas de secado. En el otro secador se colocaron 2/3 de la carga convencional. En el tercer ensayo se utilizó una carga uniforme en los dos secadores y la diferencia consistió en que el cacao fermentado de un secador se trató igual al proceso del ensayo 1 y en el segundo secador se trató similar al ensayo 2. Ambos comparados con el tratamiento convencional. En todos los ensayos se colocaron muestras de 100g de cacao fermentado para monitorear la pérdida de peso del material como resultado de la pérdida de humedad. El tiempo de secado varió de 5 a 31 días (secado convencional en KATBALPOM, Lachuá), siendo 6 a 14 días el rango más común. El microclima de la región incidió en el tiempo de secado. Días con lluvia y alta humedad relativa prolongaron el tiempo de secado en el método convencional, especialmente en la asociación KATBALPOM. La pérdida de peso de la muestra control fue mayor cuando el cacao fermentado se sometió a un proceso de aireación de 8 horas simulando el tratamiento convencional. Sin embargo, la variación en el tiempo de secado para alcanzar 7.5% de humedad fue similar entre los diferentes secadores. En los tres ensayos no se encontró diferencia estadísticamente significativa en el valor medio de la temperatura registrada entre las bandejas de secado. Tampoco se encontró diferencia entre la carga de cacao utilizado entre secadores y el secado convencional. La máxima temperatura alcanzada en los secadores y el sistema convencional varió de 50 a 60 °C y la temperatura media varió de 29 a 33 °C. El tiempo de secado dependió principalmente del microclima de la región y de la estructura de secado. De acuerdo a los centros de acopio, los secadores evaluados complementan las actividades de secado y permiten obtener un cacao más limpio. Estas unidades podrían funcionar mejor en época de verano.

PALABRAS CLAVE: Cacao, secado de cacao, dinámica de secado, secador solar.

ABSTRACT

EVALUATION OF A SOLAR DRYER PROTOTYPE FOR COCOA IN THE NORTHERN REGION OF GUATEMALA

The objective of this study was to design and evaluate a solar dryer to complement the drying process in the different cocoa producing associations. The evaluation was carried out in Lachuá (KATBALPOM, ASODIRP and ABOSELNOR associations), Cahabón (ADEMAYACH association) and in Polochic (APODIP association), Alta Verapaz. The prototype used is a dryer that indirectly uses the heat of the solar radiation as an energy source. The structure consists of an air collector, a drying chamber using trays and an outlet for hot humid air. Two dryers were installed in each association and their performance was compared to traditional drying in 3 different trials. In the first trial, the fermented material was placed directly in the drying chamber without going through a previous aeration process. In the second trial, the fermented material passed through an 8-hour aeration process simulating the condition of conventional drying. A load of fermented cocoa similar to the load of conventional drying was placed in one of the dryers for an area similar to that of the drying trays. Two third parts of the conventional load was placed in the other dryer. In the last evaluation, a uniform load was used in the two dryers and the difference consisted in that the fermented cocoa of one dryer was treated the same as the process of test 1, and in the second dryer it was treated similar to that of trial 2. In the three trials, 100g of fermented cocoa were placed in a bag to monitor the weight loss of the material resulting from the loss of moisture. Drying time ranged from 5 to 31 days (conventional drying in KATBALPOM, Lachuá), with 6 to 14 days being the most common range. The microclimate of the region affected the drying time. Days with rain and high relative humidity prolonged the drying time in the conventional method, especially in the KATBALPOM association. The weight loss of the control sample was greater when the fermented cocoa was subjected to an 8-hour aeration process simulating the conventional treatment. However, the variation in drying time to reach 7.5% humidity was similar between the different dryers. In the three trials, no statistical difference was found in the mean value of the temperature recorded between the drying trays. Nor was there a difference between the load of cocoa used between dryers and conventional drying. The maximum temperature reached in the dryers and the conventional system ranged from 50 to 60 °C and the average temperature varied from 29 to 33 °C. The drying time depended mainly on the microclimate of the region and the drying structure. According to the collection centers, the dryers evaluated complement the drying activities and allow to obtain a cleaner cocoa. These units might work better during summer time.

KEY WORDS: Cocoa, coca drying, drying dynamics, solar dryer.

INTRODUCCIÓN

El cacao, *Theobroma cacao*, es un cultivo ancestral de importancia económica y cultural para el país (Rikolto, 2016).

Después de la cosecha es importante realizar la fermentación, en la cual los granos de cacao terminan con un porcentaje de humedad de entre 55 a 60%. Esta humedad debe reducirse mediante el secado a un valor entre 6 a 7% (Orna Chávez et al., 2018).

Durante el proceso de secado la temperatura debe alcanzar un rango de 40 - 60 °C. Para llevar a cabo el secado, este se realiza de forma natural aprovechando la radiación solar en un tiempo de 6 a 7 días. En algunos casos el secado se logra realizar de manera artificial con la ayuda de secadores tratando de optimizar el tiempo de secado (Orna Chávez et al., 2018).

El proceso de secado se basa en el movimiento de aire entre los granos para ayudar a disminuir la humedad. Los tiempos de secado varían dependiendo de las condiciones climáticas. El secado inicial debe ser lento por lo menos durante las primeras 48 horas y mover constantemente los granos. Si el secado queda incompleto, los granos quedarán húmedos y se puede desarrollar moho. Si el grano se seca a valores menores a 6%, la cáscara y el grano quedarán muy quebradizos (Cacao Móvil, n.d.).

El secado artificial utiliza métodos mecánicos para reducir el contenido de humedad de los granos de cacao. Este método es más costoso; sin embargo, resulta muy efectivo cuando las condiciones climáticas no son adecuadas para llevar a cabo el secado al sol (GrainPro, 2020).

Para que un secador funcione correctamente se deben tomar en cuenta el método por el cual se extrae el agua del grano y la eficiencia térmica para que se mantenga una temperatura interna adecuada que propicie la deshidratación. Otro factor para tomar en cuenta es el flujo de aire, el cual consiste en verificar que el agua en forma de vapor tenga un espacio en el secador por el cual salir, evitando que el ambiente se torne con altas temperaturas y alta humedad que generen moho en el cacao (Guachamín, 2008).

Entre los secadores más viables se encuentran secadores solares que tengan una estructura que aproveche el espacio en el cual se encuentra ubicado, que mantenga buena temperatura interna y que sea de fácil acceso y uso para los productores. Al ser secadores solares se disminuyen los costos (López et al., 2018).

En el país existen diversos centros de acopio y beneficiado de cacao con distintos niveles de desarrollo, capacidades y experiencias para el proceso de fermentado, secado y

empacado del grano. Las mejores experiencias en este proceso se encuentran en Alta Verapaz donde los beneficios presentan diferencias en el manejo del secado de cacao (Rikolto, 2016).

Con excepción de organizaciones como la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA), Federación de Cooperativas de las Verapaces (FEDECOVERA, R.L.) y la empresa Cacao Verapaz, las cuales fermentan y secan cacao para la exportación con estándares de calidad definidos y que disponen de controles internos para manejar sus procesos, el resto de las cooperativas y asociaciones han ido instalando infraestructura de acopio y secado, pero aún presentan limitaciones en el proceso de beneficiado. La falta de infraestructura de procesamiento post cosecha no permite optimizar el proceso de secado que permita alcanzar la reducción del tiempo del proceso (Rikolto, 2016).

El objetivo de este estudio fue diseñar y evaluar un secador solar que pueda complementar el proceso de secado en las distintas asociaciones productoras de cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en el año 2020 en las subregiones de Lachuá, Cahabón y Polochic ubicadas en el departamento de Alta Verapaz. En la subregión de Lachuá (Cobán) participaron las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR, ubicadas en las aldeas Salacuim, Rocja Pomtilá y Faisán I, respectivamente. En Cahabón participó la asociación ADEMAYACH, ubicada en la aldea San Juan Chivité del municipio de Santa María Cahabón. En Polochic participó la asociación APODIP ubicada en Aldea Campur, Santa Catalina La Tinta (Figura 1). En cada uno de los centros de acopio se instalaron 2 secadores.

Prototipo de secador

El prototipo utilizado para el secado de granos de cacao consistió en un secador que utiliza como fuente de calor la radiación del sol de forma indirecta. Se eligió basado en cuatro criterios principales que fueron: costo, tiempo de instalación, tiempo de secado y fuente de energía.

El prototipo utilizado es una modificación de modelos ya existentes (Arunraja et al. 2018; De Dios, 1996). Se trata de un secador solar con gabinetes y bandejas por la facilidad

que presenta en la introducción del producto y de su ensamble en campo (González y González, 2019).

Cada secador solar ocupa un área de 5 m² (1.83m x 2.76m) y tiene una capacidad teórica de secado de 140 lb de cacao fermentado. Las partes del secador incluyen: el colector solar, cámara de secado con 4 bandejas y una salida para el aire caliente húmedo. Estudios sugieren que este es el modelo de diseño más efectivo térmicamente y que suele tener mejores resultados en áreas tropicales húmedas (Forson, 2006).

El colector solar absorbe la radiación solar y la transfiere por medio de convección al aire. La captación de radiación solar se da por medio de una lámina metálica con un recubrimiento de pintura negro mate anticorrosivo. Para transferir la radiación solar se utilizó una lámina de policarbonato transparente. Tanto las paredes laterales como las inferiores cuentan con una capa de poliestireno de 4 cm, para reducir la transferencia de calor hacia el ambiente y una capa de lámina galvanizada para proteger y sellar la estructura.

El aire del ambiente ingresa al colector solar incrementando su temperatura hasta un valor de aproximadamente 45°C. Luego el aire se mueve a la cámara de secado en donde sucede el proceso de humidificación del aire por el contacto

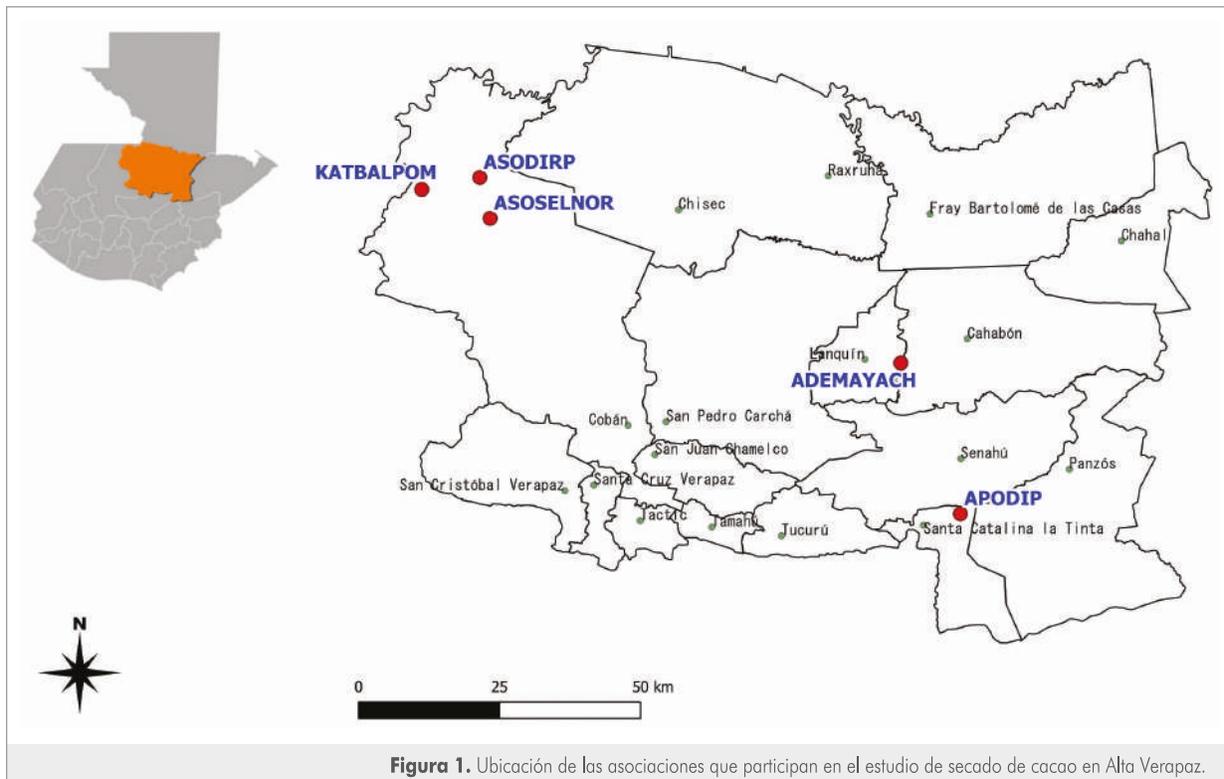


Figura 1. Ubicación de las asociaciones que participan en el estudio de secado de cacao en Alta Verapaz.



Figura 2. Prototipo de secador solar para cacao fermentado y sus componentes.

con los granos, y por medio de una salida este se libera nuevamente al ambiente (Figura 2).

Evaluación del secador

Se realizaron 3 ensayos de secado que se llevaron a cabo en los centros de acopio de asociaciones de Lachuá (KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR), Cahabón (ADEMAYACH) y Polochic (APODIP). Para cada una de las evaluaciones realizadas se tuvo como comparador el manejo convencional del centro de acopio de cada asociación.

• Ensayo 1. Evaluación de la carga de cacao sin aireación inicial

El cacao fermentado se tomó de las cajas de fermentación y se trasladó directamente a las unidades de secado. En un secador (S_1) se colocó el 100% de la carga de cacao utilizada en el manejo convencional para un área similar al de las bandejas de secado. En el segundo secador (S_2) se colocaron 2/3 de la carga del secado convencional. En cada una de las asociaciones se mantuvo el criterio utilizado por cada centro de acopio para el manejo de la carga de cacao. Esto significa que la carga de cacao del secado

convencional y de los 2 secadores varió según el centro de acopio de las diferentes asociaciones.

Una vez colocadas las bandejas en cada uno de los secadores, al material trasladado se le aplicaron remociones en horario diurno, que consistieron en una aireación manual para evitar el crecimiento de hongos y adhesión del grano a la superficie de secado. En los primeros tres días se realizaron remociones en intervalos de una hora y a partir del cuarto día se realizaron en intervalos de dos horas hasta finalizar el proceso. Para la remoción del cacao en las bandejas únicamente se procedió a abrir las puertas del secador solar y deslizar cada bandeja hacia la parte exterior sin retirarla completamente. El procedimiento se repitió en los intervalos de tiempo según el día hasta alcanzar 7.5% de humedad.

• Ensayo 2. Se evaluó la carga de cacao con aireación inicial

El ensayo 2 se realizó inmediatamente después de concluido el primer ensayo. Se utilizó la misma carga de cacao fermentado en cada bandeja de acuerdo con lo descrito en el ensayo 1. La diferencia es que en el ensayo 2, al material colocado en las bandejas se le aplicó una aireación inicial que consistió en aplicar durante 8 horas el tratamiento convencional y luego se colocaron las bandejas en la cámara de secado de cada secador. Una vez cargadas las bandejas con cacao fermentado se siguió el mismo procedimiento descrito en el ensayo 1 para las remociones. El proceso finalizó al tener una lectura de humedad de grano de aproximadamente 7.5%.

• Ensayo 3. Efecto de la aireación inicial a una misma carga

El ensayo 3 consistió en cargar las bandejas de los secadores con 25 libras de cacao fermentado equivalentes a 4 centímetros de grosor de la capa de cacao por cada bandeja. A las bandejas de uno de los secadores (S_1) se procedió a trasladarlas inmediatamente a la cámara de secado, mientras que a las bandejas del segundo secador (S_2) se procedió a aplicar una aireación inicial que consistió en someter a las bandejas al tratamiento convencional durante 8 horas. Al cumplir la aireación inicial se trasladaron las bandejas a la cámara de secado correspondiente. Para las remociones del cacao en el tratamiento convencional y en las bandejas de los 2 secadores se siguió el procedimiento descrito anteriormente. Se finalizó el proceso de secado al obtener una humedad de grano igual al 7.5%.

Descripción del secado convencional en los centros de acopio

La unidad convencional de secado de KATBALPOM consistió en una estructura de madera con techo de policarbonato y cortinas plásticas laterales. En su interior se encuentran las mesas que tienen malla plástica gruesa con orificios grandes y sin madera corrida por debajo de la misma. El cacao se coloca directamente sobre la malla plástica en un inicio con

un grosor de 5.6 centímetros, y normalmente se finaliza este proceso sacando el cacao al sol directo, colocando sobre la superficie del suelo un plástico negro grueso en conjunto con una malla tipo sarán con orificios finos, y sobre este se pone a secar el cacao hasta alcanzar el 7.5% de humedad. El suelo donde se ubica el secador está impermeabilizado con cemento.

En ASOSELNOR la unidad de secado convencional consistió en una estructura metálica tipo invernadero con techo y laterales de lámina traslúcida de policarbonato. En su interior tiene mesas de madera que tienen únicamente una malla plástica con orificios grandes sobre su superficie. Las mesas no tienen madera corrida por debajo, lo cual permite que haya bastante ventilación. Todo el tratamiento de secado se cumple bajo estas condiciones hasta alcanzar 7.5% de humedad en el grano. La capa de cacao utilizada sobre las mesas de secado es de 4 centímetros. El suelo donde se ubica el secador está impermeabilizado con cemento.

En ASODIRP la unidad convencional de secado consistió en una estructura de madera con techo y laterales fijados de policarbonato, bajo este techo se encuentran las mesas de secado que estas están hechas de madera. En la superficie hay madera corrida junto con lienzos de sarán fino sobre el cual se expone el cacao fermentado con un grosor de 2.5 cm. Todo el proceso se inicia y finaliza bajo estas condiciones hasta alcanzar 7.5% de humedad de grano. El suelo donde se ubica el secador no se encuentra impermeabilizado.

La asociación APODIP cuenta con varias modalidades para el secado convencional del cacao fermentado. El común denominador de las diferentes metodologías es la capa de cacao utilizada que fue de 4 centímetros y la humedad de grano a alcanzar es de 7.5%.

En el ensayo 1 el secado se realizó en una estructura de madera tipo galera con techo y laterales de plástico de invernadero, y en su interior se tuvieron mesas de secado, conformadas por una malla tipo sarán sin ningún tipo de madera por debajo. El suelo no estuvo impermeabilizado.

En el ensayo 2 el cacao fermentado se expuso directamente al sol durante el primer día por un aproximado de 8 horas colocando un plástico negro grueso en el suelo y sobre este los granos de cacao. En el segundo día se pasó el cacao a una estructura metálica con techo y laterales de policarbonato translúcida. El cacao se colocó sobre mesas con madera corrida sin ningún tipo de malla entre la madera y el grano de cacao. El suelo del secador estaba impermeabilizado con cemento.

En el ensayo 3 el cacao fermentado se colocó en una estructura metálica con techo y laterales de láminas de policarbonato. Las mesas de secado fueron de madera corrida. El suelo del secador estaba impermeabilizado con cemento.

En la asociación ADEMAYACH no se contó con mesas, ya que el secado se realizó sobre una torta de cemento bajo techo y al sol directo. El grosor de la capa de cacao utilizado de forma convencional fue de 4 centímetros. En la fase inicial el cacao se expuso bajo un techo de policarbonato y laterales de plástico extendiendo el cacao sobre un plástico negro grueso. El proceso finalizó exponiendo los granos de cacao al sol directo con la ayuda de un plástico negro sobre el suelo hasta alcanzar una humedad de grano de 7.5%. Al cacao fermentado se le aplicó el secado únicamente durante el día y se guardó en costales durante la noche para su resguardo debido a que el centro de acopio se ubica en una zona muy concurrida.

Funcionalidad del prototipo de secador

Luego de los 3 ensayos de evaluación se realizó una consulta a los encargados de los centros de acopio a fin de evaluar la funcionalidad del secador. Se les realizó una consulta por escrito la cuál contestaron libremente.

Monitoreo de temperatura, humedad relativa y pérdida de peso de muestra control

Para el registro de la temperatura en el ensayo 1 se utilizaron dispositivos LogTag modelo Trix-8. En los ensayos 2 y 3 se registró la temperatura y la humedad relativa de forma simultánea mediante los dispositivos LogTag modelo Haxo-8. Los dos modelos de dispositivos tienen un rango de medición de 40°C a 85°C y una precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$. La humedad relativa cuenta con un rango de medición de 0 a 100% (Figura 3). Los dispositivos almacenaron datos de forma automática de las mediciones realizadas a cada 15 minutos. Una vez concluido el proceso los datos registrados fueron transferidos del dispositivo al ordenador por medio del software LogTag Analyzer.

Para el control de pérdida de peso del material de cacao, en las distintas bandejas de los secadores y del secado convencional se colocaron pequeñas bolsas de malla fina con aberturas de aproximadamente 2 milímetros (Figura 3). En cada una de las bolsas se colocaron 100 gramos de



Figura 3. Medidor de temperatura y humedad relativa y bolsa control para el monitoreo de la pérdida de peso.

cacao fermentado. La pérdida de peso de cada bolsa representó la pérdida de humedad durante el proceso de secado. El peso de las bolsas se registró diariamente a las 8 y 16 horas durante todo el proceso de secado. Las bolsas se colocaron sobre la capa de cacao asociados a cada medidor de temperatura.

Para dar por concluido el proceso se midió la humedad del grano con un dispositivo digital portátil una vez por día hasta alcanzar un valor de humedad de aproximadamente 7.5%. Una vez concluido el secado, se colectaron varias muestras para análisis químico y sensorial.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat, versión 2016e, (www.infostat.com.ar). Se realizó análisis de varianza para 1 o más factores. La discriminación entre tratamientos se hizo de acuerdo con la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 0.05.

Los factores evaluados en los análisis de temperatura incluyeron la asociación (5 asociaciones), posición de bandeja (arriba y abajo), secador (secadores 1, 2 y convencional) y estructura del secador (colector de la cámara de secado, secador y convencional).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones iniciales, días de secado y humedad final

En el Cuadro 1 se presentan las condiciones iniciales para cada evaluación, así como el tiempo de secado y humedad final del grano. Los tiempos de secado van desde los 5 (ASODIRP) hasta los 31 días (KATBALPOM) en la modalidad de secado convencional. El retardo en el secado en

KATBALPOM durante el ensayo 3 fue debido a la alta precipitación durante esos días, por lo cual se guardó el cacao en sacos y se continuó con el proceso hasta que las condiciones climáticas lo permitieron. Bajo esas condiciones, los secadores funcionaron muy bien, ya que completaron el secado del cacao en 9 días en comparación con los 31 días

del secado convencional. Para el resto de los centros de acopio y ensayos, básicamente el tiempo de secado alcanzado con el secador fue similar al tiempo alcanzado con el método convencional.

Con relación a la humedad final del grano secado con el prototipo solar, se observa un menor valor de humedad en los ensayos 2 (APODIP y ADEMAYACH) y 3 (ADEMAYACH) en relación al secado convencional. El resto de los centros de acopio y ensayos presentan valores de humedad similares al convencional.

Los tiempos de secado dependieron no solo de las condiciones climáticas, sino de otros factores como los tipos de estructura de secado convencional y en cierta medida también del grosor de la capa de cacao utilizada en cada lugar la cual va desde los 2.5 cm (ASODIRP) a 5.6 cm (KATBALPOM).

Pérdida de peso de la muestra control y humedad de grano

Para propósitos de visualización de la dinámica de pérdida de peso de la muestra control, en las Figuras 4 a 7 se presenta la información obtenida en los ensayos 2 y 3.

En el ensayo 1 la pérdida de peso durante el proceso de secado se fue dando en forma gradual. En las 5 asociaciones se observó consistentemente que la pérdida de peso durante las primeras 72 horas fue mayor en el secado convencional. Al final del proceso la pérdida de peso en los dos secadores y en el tratamiento convencional fue similar.

En el ensayo 2 la pérdida de peso de las bolsas control de los secadores solares tuvieron algunas diferencias con relación al tratamiento convencional. En algunos momentos del proceso de secado la pérdida de humedad en las bandejas

Cuadro 1. Detalle del secado de cacao llevado a cabo en la evaluación del prototipo de secador solar en Alta Verapaz.

Subregión	Asociación	Ensayo	Cacao fermentado (lb)/bandeja			Grosor de la capa de cacao (cm)			Días de secado			Humedad final (%)		
			S_1 ¹	S_2 ²	Conv ³	S_1	S_2	Conv	S_1	S_2	Conv	S_1	S_2	Conv
Lachuá	KATBALPOM	1	35	25	35	5.6	4	5.6	19	19	19	7.8	7.9	7.8
		2	35	25	35	5.6	4	5.6	13	13	12	7.4	7.5	7.4
		3	25	25	35	5.6	5	5.6	9	9	31 ⁴	7.5	7.6	7.5
	ASOSELNOR	1	25	17	25	4	3	4	10	10	9	7.5	7.3	7.4
		2	25	17	25	4	3	4	8	8	8	7.4	7.3	7.6
		3	25	25	25	4	4	4	8	8	8	7.5	7.4	7.5
	ASODIRP	1	15	10	15	2.5	1.5	2.5	5	5	5	7.3	7.4	7.3
		2	15	10	15	2.5	1.5	2.5	7	7	7	7.4	7.6	7.4
		3	25	25	25	4	4	4	7	7	7	7.7	7.6	7.6
Polochic	APODIP	1	25	17	25	4	3	4	9	9	9	7.5	7.6	7.6
		2	25	17	25	4	3	4	6	6	6	6.6	6.4	7.2
		3	25	25	25	4	4	4	7	7	7	7.4	7.1	7.2
Cahabón	ADEMAYACH	1	24	16	24	4	3	4	14	14	14	5.5	5.3	5.4
		2	24	16	24	4	3	4	10	10	10	5.6	5.4	6.9
		3	24	24	24	4	4	4	11	11	11	5.5	5.3	7.6

¹ Secador 1. Carga completa en los ensayos 1 y 2.

² Secador 2. 2/3 de carga completa en los ensayos 1 y 2.

³ Secador Convencional.

⁴ El secado convencional se extendió ya que hubo precipitación constante.

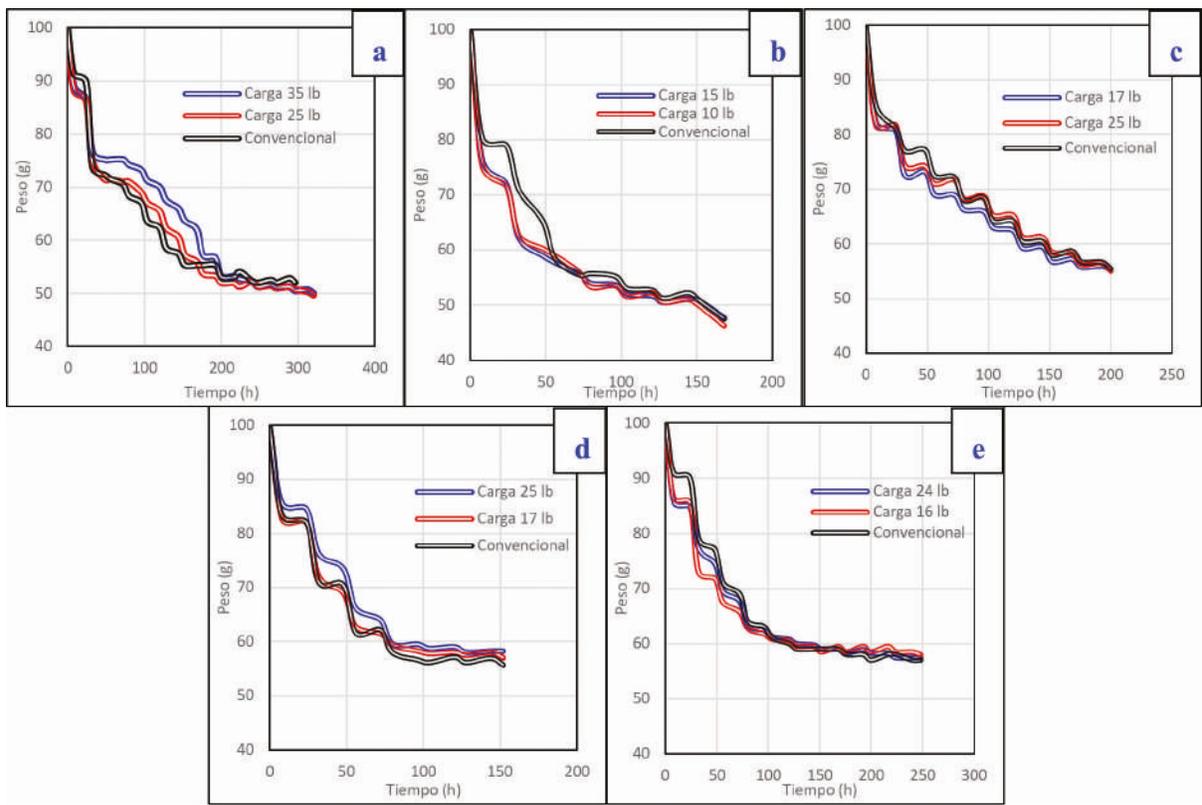


Figura 4. Pérdida de peso del cacao fermentado en el ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMARYACH.

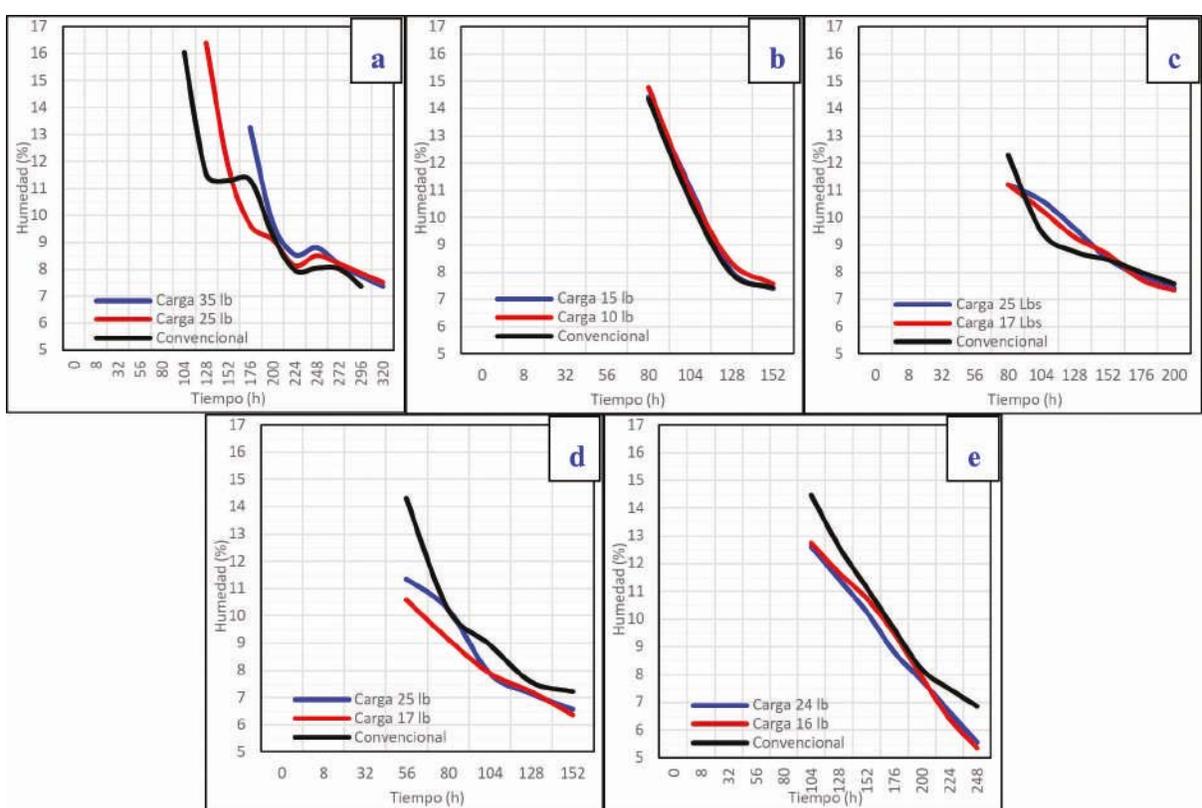


Figura 5. Humedad de grano de cacao fermentado en el ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMARYACH.

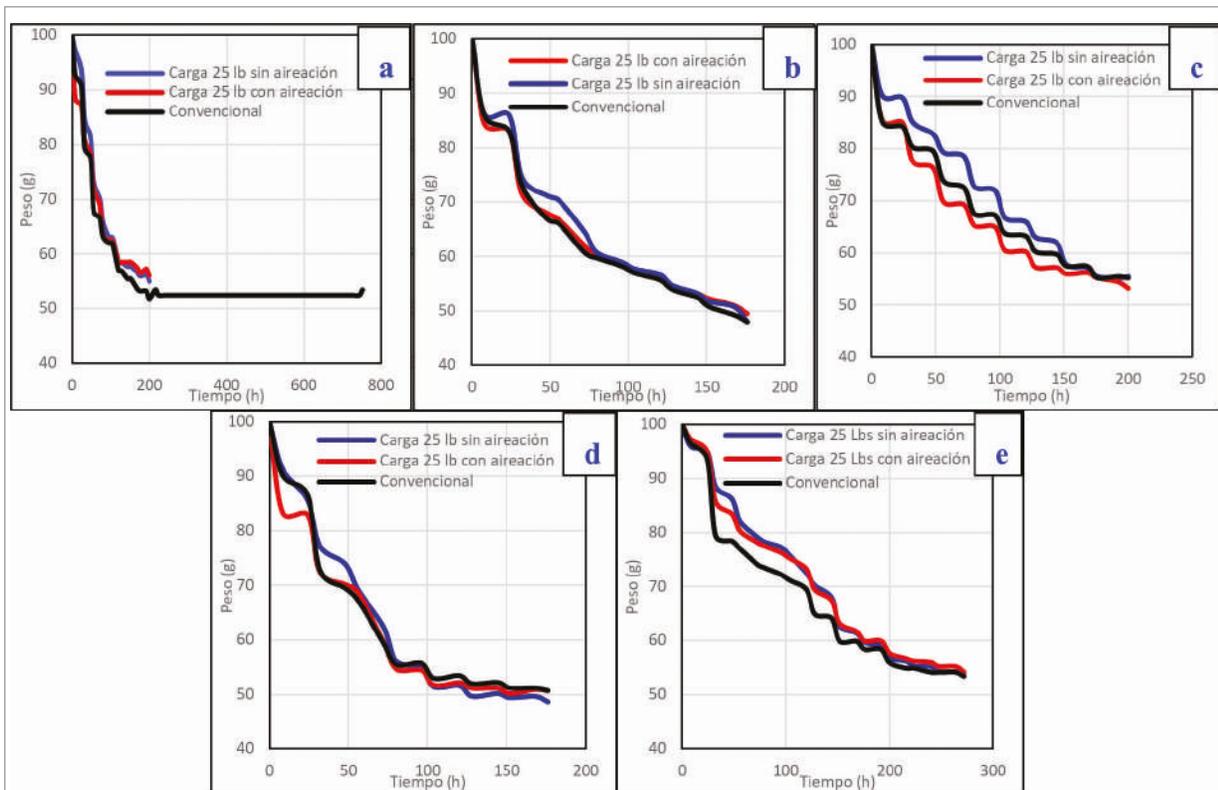


Figura 6. Pérdida de peso de la muestra control en el ensayo 3 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMARYACH.

de los secadores fue superior a la pérdida de la humedad en el secado convencional. Sin embargo, al final del proceso el tiempo de secado fue el mismo.

En la humedad del grano es posible observar que el comportamiento es similar al registrado con las bolsas de control de pérdida de peso. Se alcanzó la humedad esperada en un tiempo similar en todos los tratamientos evaluados (Figura 5), por lo que la carga de cacao no influyó en el tiempo de secado.

Como se indicó en la sección metodológica, en el ensayo 3 se procedió a cargar las bandejas de los secadores solares con 25 libras y se aplicó una aireación inicial de 8 horas a las bandejas de un secador. A las bandejas del secador restante no se le aplicó aireación, sino se introdujeron directamente a la cámara de secado. Se observó que el tiempo final de secado fue similar al tratamiento convencional para ambos tratamientos aplicados a las bandejas de los secadores.

La dinámica de pérdida de peso en las bandejas del secador con aireación fue ligeramente mayor comparado con el

convencional. La pérdida de peso en las bandejas sin aireación fue inferior al convencional.

La dinámica de pérdida de peso de las muestras control para los secadores comparado con el convencional se comportó de forma muy similar en las distintas asociaciones a excepción de la asociación Katbalpom. El tratamiento convencional finalizó a 31 días de iniciado el proceso de secado mientras que en los secadores finalizó 9 días. Esa diferencia se atribuye a las constantes lluvias de la época que afectaron el secado del grano de cacao (Figuras 6 y 7).

Monitoreo de temperatura y humedad relativa

Durante el primer ensayo experimental únicamente se midió la dinámica de la temperatura. En los ensayos 2 y 3 se midió la dinámica de la temperatura y humedad relativa.

La dinámica de la temperatura y humedad relativa fue similar en las diferentes regiones, es decir alta temperatura en horario diurno y baja temperatura en horario nocturno. En el caso de la humedad relativa se registró baja humedad relativa en el día y alta humedad relativa durante la noche. La temperatura

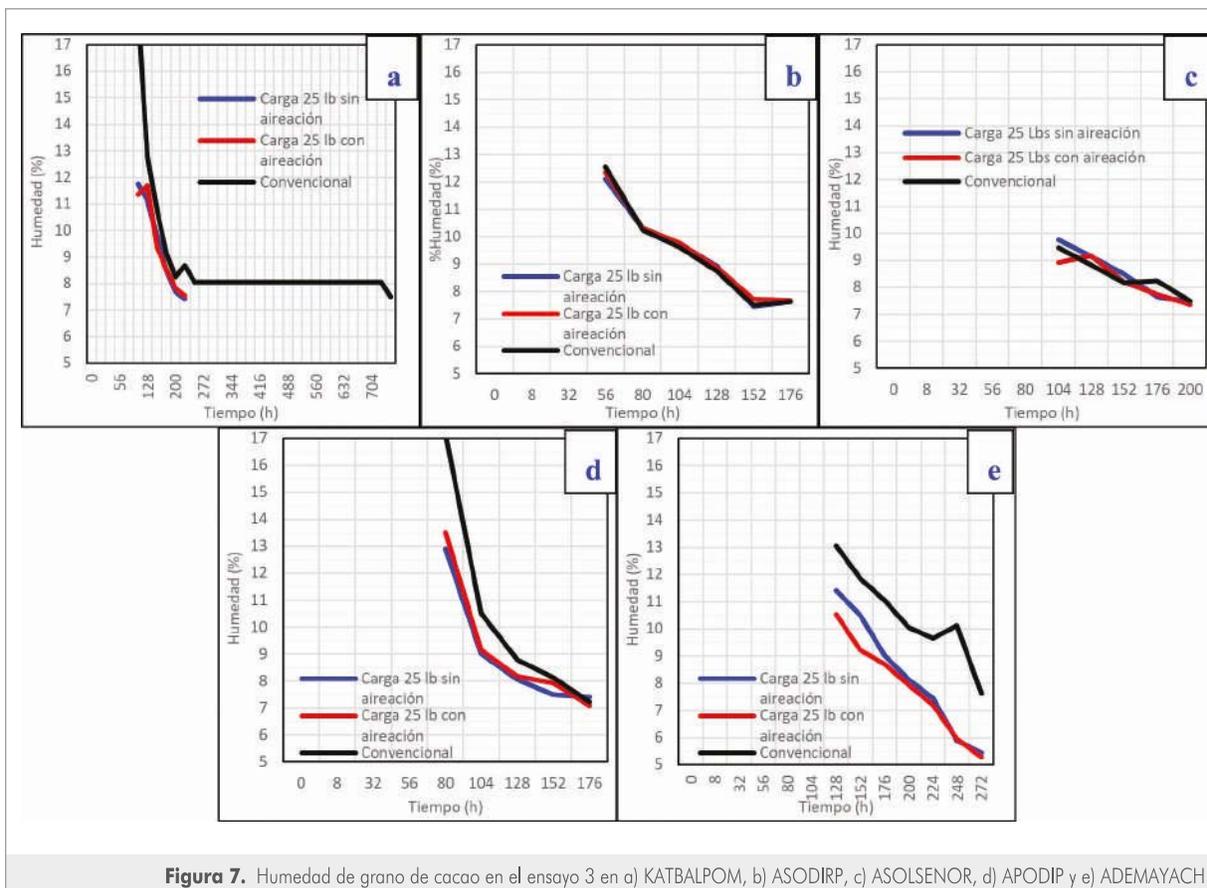


Figura 7. Humedad de grano de cacao en el ensayo 3 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOSENOR, d) APODIP y e) ADEMARYACH.

y humedad relativa son dos parámetros considerados inversamente proporcionales.

A lo largo de los 3 ensayos experimentales fue posible observar que hay variación en la dinámica de temperatura y humedad relativa entre regiones y una variación muy pequeña entre los secadores y la unidad de secado convencional.

En este artículo se presentan únicamente Figuras del ensayo 2.

Temperatura entre bandejas superior e inferior de los secadores solares

De acuerdo con el Cuadro 2 se encontraron diferencias altamente significativas entre valor medio de temperatura registrado en las 5 asociaciones ($p < 0.05$). Esto fue consistente en los 3 ensayos experimentales realizados.

La temperatura en el ensayo 1 fue mayor en la asociación ASOSELNOR. En el segundo y tercer ensayo la temperatura mayor se registró en APODIP y ASODIRP. La menor temperatura registrada en los ensayos 1 al 3 fue en ADEMARYACH.

En cuanto a la posición de las bandejas dentro de la cámara de secado, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las evaluaciones. Esto indica que la temperatura dentro de la cámara de secado fue similar en cada una de las bandejas. La temperatura media varió en 0.5 grados en el ensayo 1, en el ensayo 2 no hubo variación entre las posiciones de bandejas y en el ensayo 3 hubo una variación por 0.2 grados Celsius.

En las Figuras 8 y 9 se presenta la dinámica de temperatura y humedad relativa registrada para las bandejas superiores e inferiores en la cámara de secado de los secadores para el ensayo 2.

Cuadro 2. Medias¹ de temperatura para los factores asociación y bandeja.

Factor	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Asociación			
1. KATBALPOM	28.2 ± 8.6 c	ND	32.3 ± 8.1 b
2. ASODIRP	31.0 ± 9.5 b	33.4 ± 9.7 a	33.3 ± 8.0 a
3. ASOSELNOR	33.0 ± 10.9 a	31.9 ± 9.2 b	31.0 ± 5.8 c
4. APODIP	30.4 ± 8.1 b	33.4 ± 8.7 a	33.1 ± 7.3 a
5. ADEMAYACH	27.1 ± 8.3 d	30.7 ± 9.7 c	29.4 ± 6.1 d
Bandeja			
1. Superior	29.2 ± 9.4 a	32.2 ± 9.6 a	31.5 ± 7.2 a
2. Inferior	29.7 ± 9.2 a	32.2 ± 9.3 a	31.7 ± 7.2 a

¹ Valores con la misma letra dentro de cada factor (asociación y bandeja) no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$); ND: no determinado.

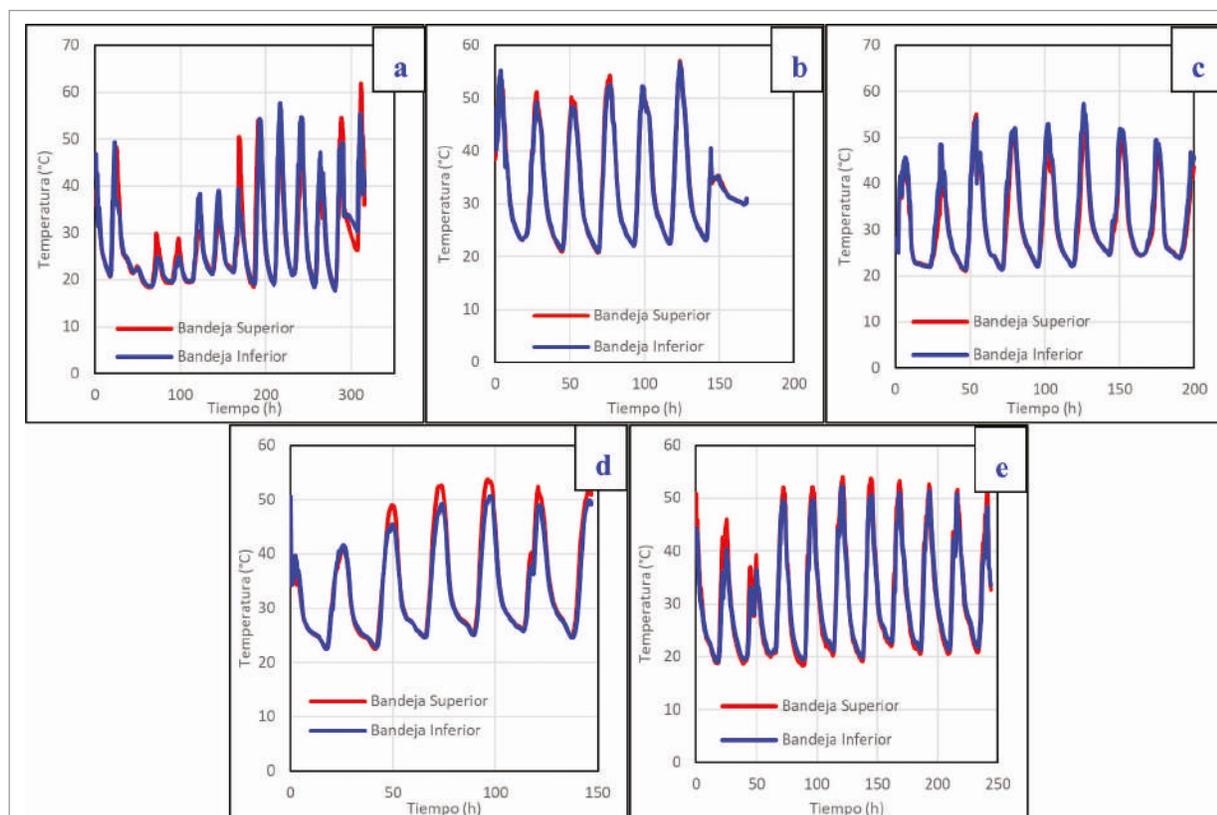
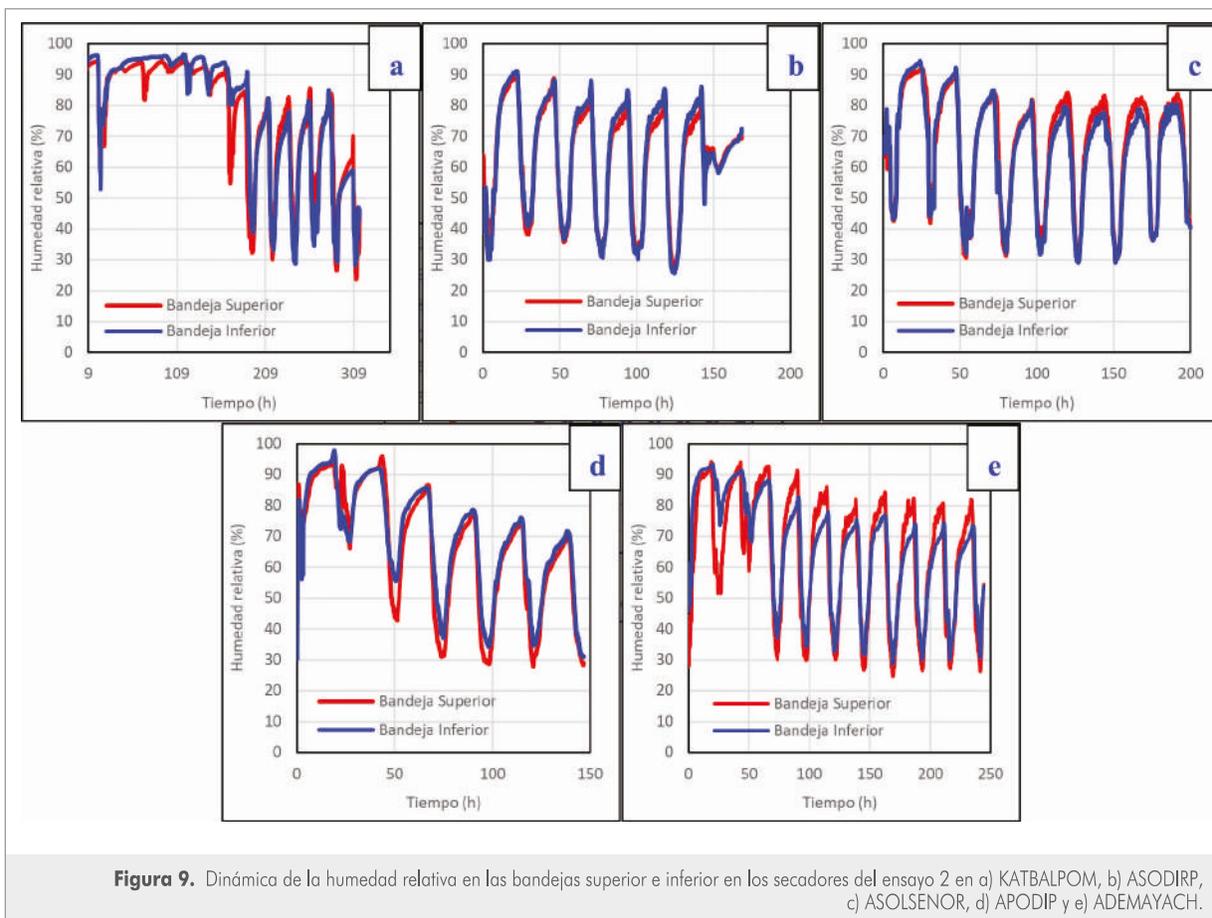


Figura 8. Dinámica de la temperatura de las bandejas superiores e inferiores en los secadores del ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOSELNOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.



Dinámica de temperatura entre secadores

Es evidente que la aireación inicial del material en las bandejas de secado es importante ya que la temperatura en este tipo de secado fue similar a la del tratamiento convencional en el segundo ensayo y fue superior al convencional en el tercero (Cuadro 3).

Con respecto a la interacción entre asociaciones y los secadores, se encontraron diferencias altamente significativas en los ensayos 1 y 3 (no se presentan los datos). Esto indica que en estos ensayos hubo tratamientos que tuvieron dinámicas de temperatura distintas entre una asociación y otra. Esto se debe probablemente a las condiciones climáticas de las regiones.

En las Figuras 10 y 11 se presenta la dinámica de la temperatura y humedad relativa según la asociación en el secador 1, 2 y el tratamiento convencional para el ensayo 2.

Temperatura en el colector y cámara de secado en los 3 ensayos

La temperatura en el secado convencional fue similar a la del colector y de la cámara de secado del secador solar (Cuadro 4). En los tres ensayos, la diferencia en la temperatura promedio en los dos componentes de los secadores vs el secado convencional fue < 0.5 °C.

En las Figuras 12 y 13 se presenta la dinámica promedio de la temperatura y humedad relativa registrada en el colector, cámara de secado y el secado convencional para el ensayo 2.

Cuadro 3. Temperatura media¹ (°C) según secador en los 3 ensayos.

Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
Secador	Temp (°C)	Secador	Temp (°C)	Secador	Temp (°C)
1. Carga completa_ sin aireación	29.5 ± 9.1 b	1. Carga completa_ sin aireación	32.8 ± 9.1 a	1. 25 lbs_ sin aireación	30.9 ± 6.9 b
2. 2/3 carga_ sin aireación	29.5 ± 9.4 b	2. 2/3 carga_ sin aireación	32.9 ± 9.4 a	2. 25 lbs_ con aireación	31.5 ± 6.9 a
3. Convencional	30.4 ± 10.8 a	3. Convencional	32.9 ± 8.9 a	3. Convencional	31.1 ± 6.5 b

¹ Medias con la misma letra dentro de cada ensayo no son estadísticamente diferentes (p>0.05).

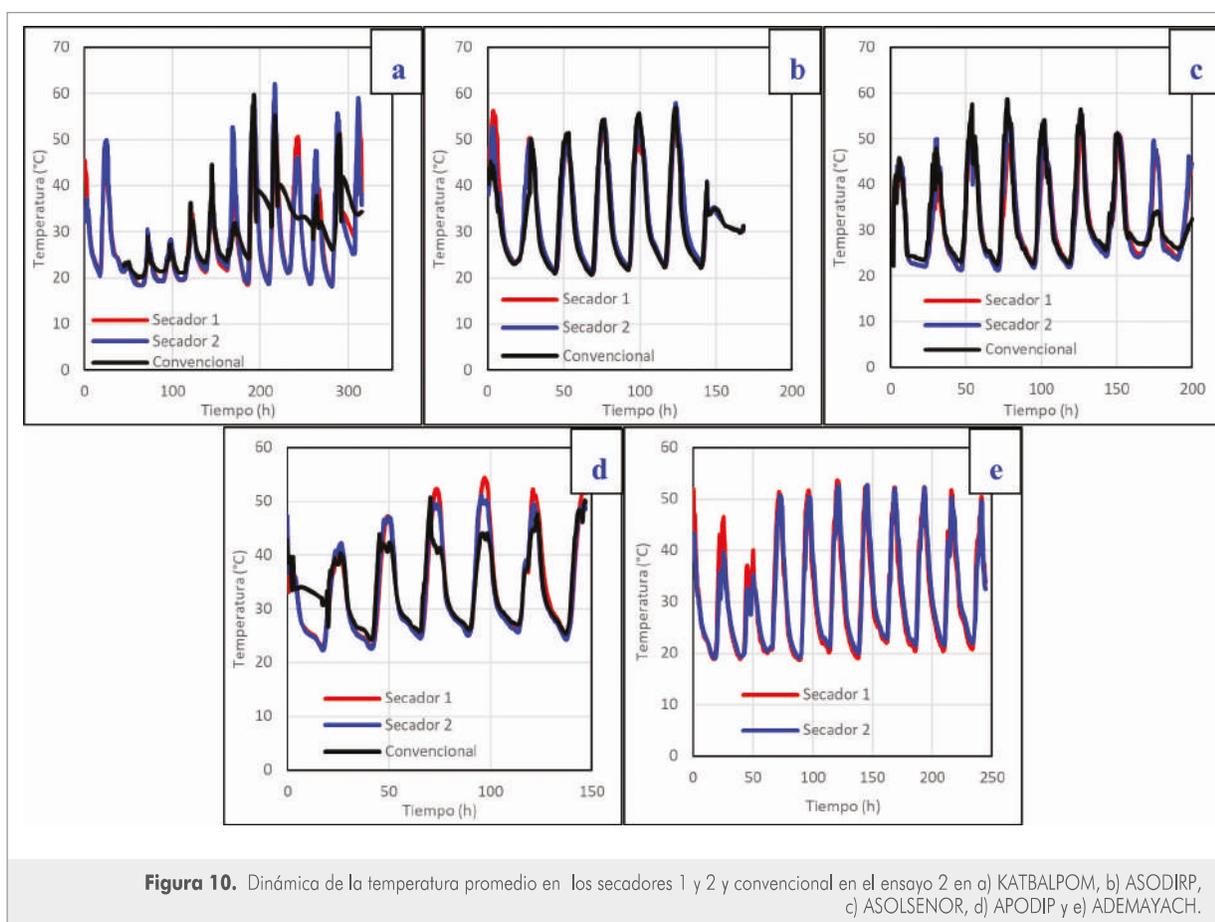


Figura 10. Dinámica de la temperatura promedio en los secadores 1 y 2 y convencional en el ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

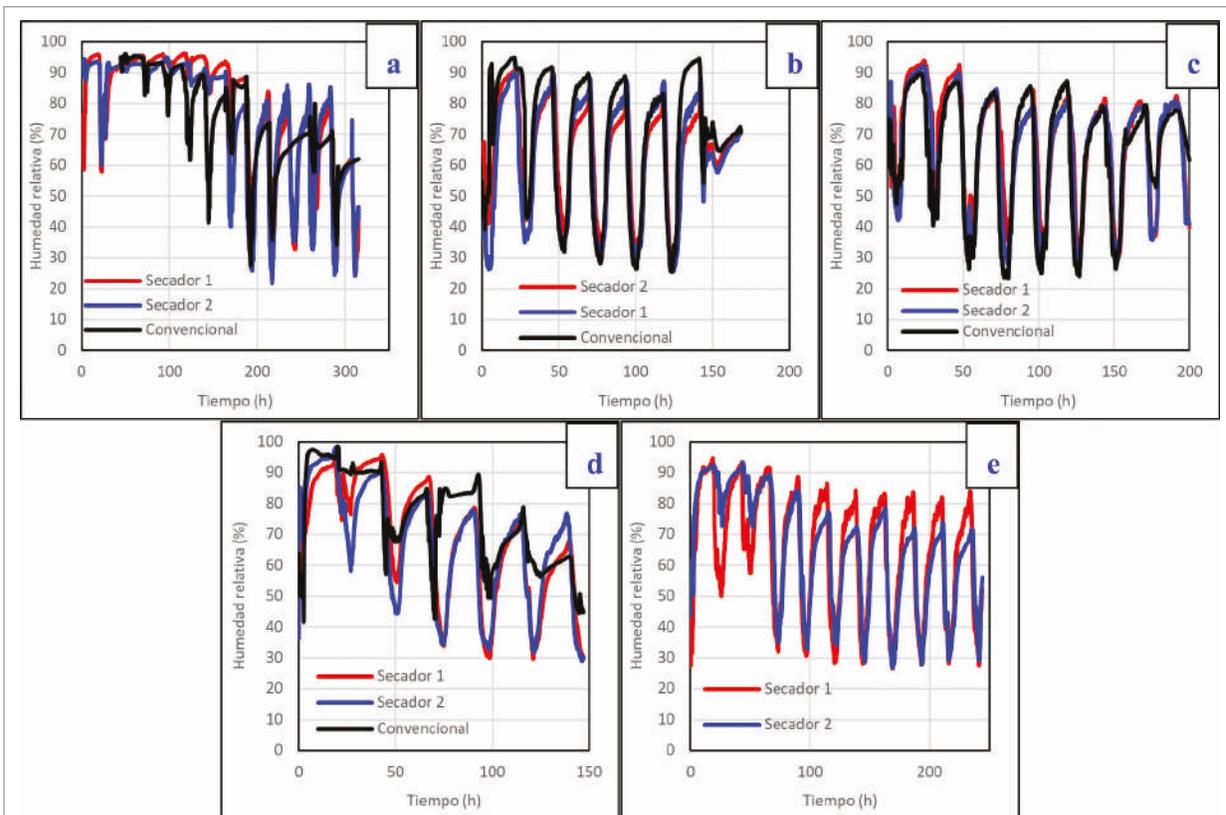


Figura 11. Dinámica de la humedad relativa promedio en los secadores 1 y 2 y convencional en el ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

Cuadro 4. Temperatura media (°C)¹ en los dos componentes del secador y del secador convencional en los diferentes ensayos.

Parte del secador	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
1. Colector	30.7 ± 11.3 a	32.9 ± 10.1 a	30.7 ± 7.2 a
2. Cámara de secado	30.0 ± 9.4 b	32.8 ± 9.1 a	30.9 ± 6.9 a
3. Convencional	30.4 ± 10.8 a	32.9 ± 8.8 a	31.1 ± 6.5 a

¹ Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (p > 0.05).

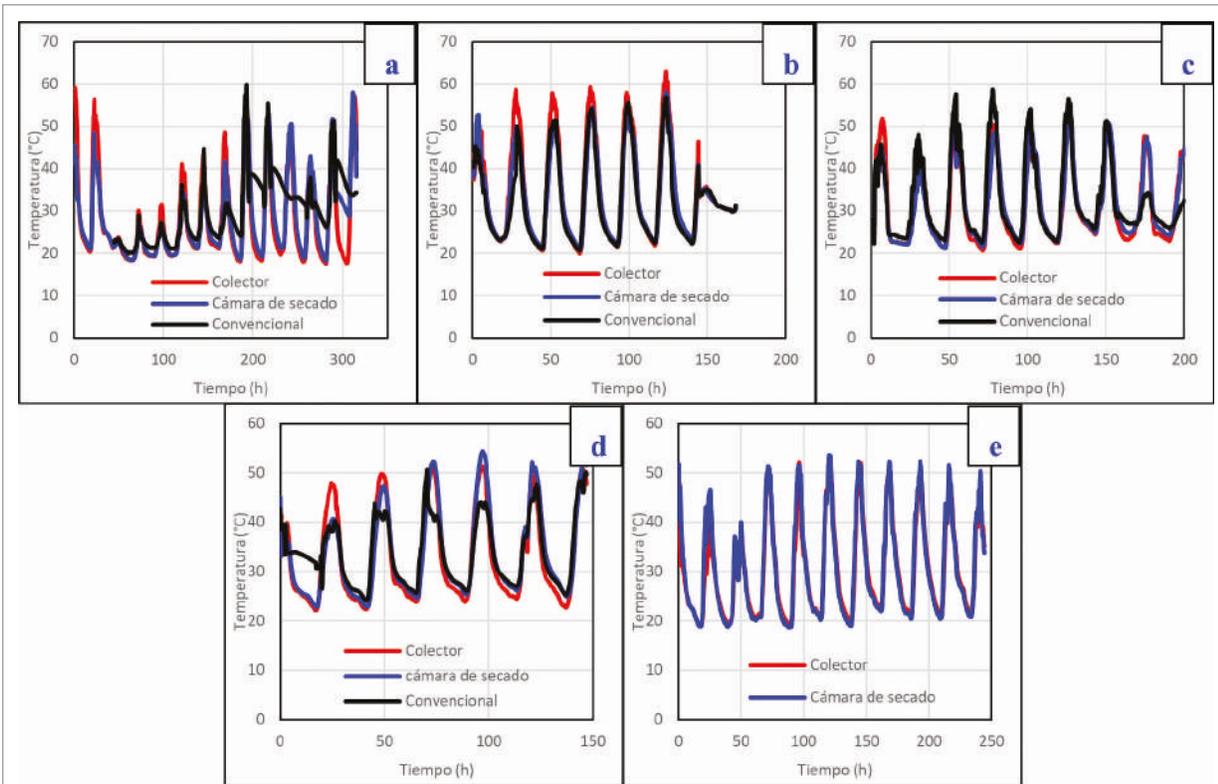


Figura 12. Dinámica de la temperatura promedio del colector, la cámara de secado y secado convencional, ensayo 2. a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

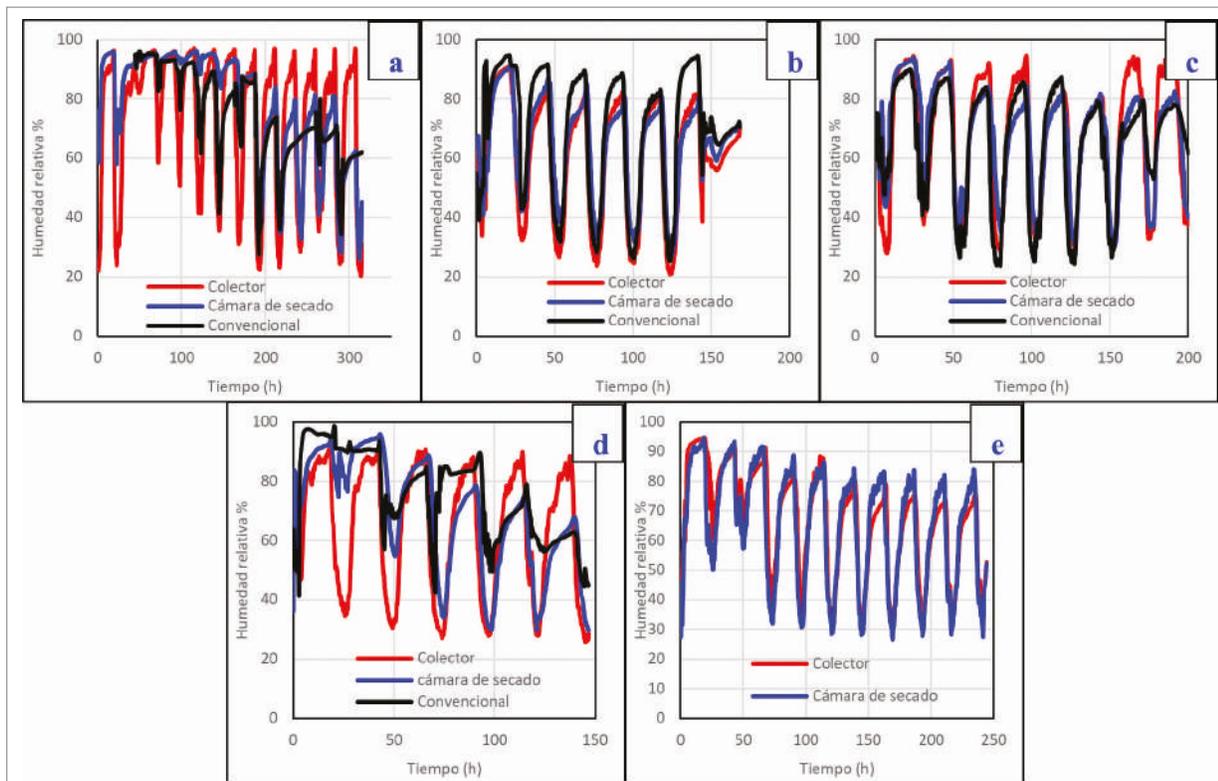


Figura 13. Dinámica de la humedad relativa promedio del colector, la cámara de secado y el secado convencional, ensayo 2. a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

Opinión sobre los secadores

Con base en la opinión de los centros de acopio de las diferentes asociaciones, los secadores complementan las operaciones ya existentes en los centros de acopio en un 80%, ya que ayudan a realizar con facilidad las labores de secado. El uso de los secadores es 60% práctico, ya que se debe de abrir el gabinete y realizar las labores en las bandejas. Un 20% de los entrevistados indicó que es fácil realizar el proceso de apertura del secador y trabajar con las bandejas en sus diferentes posiciones.

Con relación a las características físicas y la calidad visual del grano seco, un 40% indicó que se obtiene mejores resultados en forma moderada, y un 20% manifestó que está

de acuerdo con que la calidad visual del grano seco y su calidad aparente es mejor en los secadores.

El 80% de los entrevistados manifestó que con el uso de secadores se obtiene un cacao más limpio en relación con el secado convencional, y el 20% restante estuvo de acuerdo en forma moderada.

El 60% de los encargados de centros de acopio indicaron que al utilizar el secador es posible reducir el tiempo de secado comparado con el secado convencional, asimismo los secadores solares podrían funcionar de mejor manera en época de verano por las altas temperaturas que se pueden alcanzar.

CONCLUSIONES

Algunas conclusiones emanadas del estudio incluyen:

- Los ensayos del secado solar realizados en las diferentes asociaciones consistentemente mostraron resultados muy similares a pesar de los microclimas variados de cada región.
- La aireación inicial de 8 horas aplicado a las bandejas de los secadores solares fue importante para permitir mayor pérdida de peso al inicio del proceso.
- El efecto de la carga de cacao fermentado (igual o a 2/3 de la carga convencional) fue similar en las diferentes regiones.
- Al utilizar los secadores solares se observó que no existe variación de importancia en los días de secado comparado con el secado convencional.
- Cada asociación tuvo registros de temperatura estadísticamente diferentes.
- No hubo diferencia significativa en las temperaturas en las bandejas situadas en la parte superior e inferior de los

secadores solares, es decir, la temperatura en la cámara de secado fue similar en todos los casos, lo cual es muy positivo.

- La temperatura promedio registrada en los secadores solares y el convencional oscilaron en el rango de 29.5 - 32.9 °C.
- Las unidades de secado complementan las actividades que convencionalmente se realizan, ayudan a obtener un cacao más limpio, mejoran la calidad del grano ya que las bandejas tienen una malla plástica que ayudan a eliminar granos pequeños y bofos durante el proceso de secado.
- De acuerdo con los centros de acopio, las unidades de secado solar podrían funcionar mejor en época de verano ya que en el presente estudio tuvo un comportamiento similar a los secadores convencionales.

AGRADECIMIENTOS

A los centros de acopio y a las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, ADEMAYACH y APODIP que apoyaron el estudio realizado en sus instalaciones.

A los técnicos de campo (Carlos Caal, Denis Medina, Luis Morales, Leyda Méndez, Yolanda Cabnal y Alejandro Tec) y encargados de los centros de acopio (Tomás Sacrab, Inocente Caal, Evaristo Chub, Denis Choc y Luis Arturo Tún) que apoyaron con el montaje de las pruebas y con el monitoreo de los procesos de fermentación y secado.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Arunraja, K., Gopalakrishnan, T., Hariharan, M., y Kishore, P. (2018). Design and fabrication of solar air dryer. *Int J Eng Res Technol*, 6(4), 1-5.
- Cacao Móvil. (n.d.). *El Secado del Cacao*. Retrieved August 19, 2021, from <https://www.cacaomovil.com/site/guide/cosecha-fermentacion-y-secado-del-cacao/42/el-secado-del-cacao>
- GrainPro. (2020). *Cómo secar el grano de cacao apropiadamente*. <https://news.grainpro.com/es/cómo-secar-el-grano-de-cacao-apropiadamente>
- De Dios, C. A. (1996) *Secado de granos y secadoras*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile 1996
- Forsen, F. K.; Nazhab, A.; Akuffoa, F. y Rajakarunab, H. (2007). Design of mixed-mode natural convection solar crop dryers: Application of principles and rules of thumb. *J. Renewable Energy*. 32:2306-2319.
- Gonzalez y Gonzalez, D. (2019) *Diseño y evaluación de un modelo de secador de Cacao replicable en departamento de Alta Verapaz, Guatemala*, Trabajo de graduación Universidad de Valle de Guatemala.
- Guachamín Velásquez, C. D. (2008). *Diseño de Un Secador de Grano de Cacao Fino*. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- López Cerino, I., Chávez García, E., López Cerino, I., y Chávez García, E. (2018). Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao L.*) en Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(SPE21), 4395-4405. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V0I21.1528>
- Orna Chávez, J. E., Chuquín, N., Saquinga, L., y Cueva, O. (2018). Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg. *Enfoque UTE*, 9(2), 159-174. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V9N2.185>
- Rikolto. (2016). *Gestión del conocimiento de la cadena de valor del cacao en Centroamérica "Situación actual de la cadena de valor del cacao en Guatemala"*. Retrieved August 03, 2021, from <http://cadena.cacaocoinfo/wp-content/uploads/2017/06/guatemala.pdf>.

EFFECTO DE UN SECADOR SOLAR ALTERNATIVO SOBRE LA CALIDAD Y SABOR DEL CACAO EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA

Ana Silvia Colmenares de Ruiz
asruiz@uvg.edu.gt,

Josué Bocel
jibocel@uvg.edu.gt,

Rolando Cifuentes
rcifuen@uvg.edu.gt

Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios - CEAA

RESUMEN

Con este estudio se evaluó la calidad y el sabor del cacao proveniente del proceso de fermentación y secado usando el método convencional y un secador alternativo solar en varias asociaciones situadas en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala. Se contó con la participación de los centros de acopio de las asociaciones ADEMAYACH, APODIP, ASODIRP, ASOSELNOR y KATBALPOM. Se instalaron dos unidades de secadores solares en cada uno de los centros de acopio participantes y se usó como control el secado convencional. Se realizaron 3 ensayos con el objetivo de evaluar la eficacia de los secadores en sus funciones básicas y el efecto sobre el sabor del licor de cacao. Los factores de evaluación incluyeron la asociación o centro de acopio, la carga de secado y la aireación inicial en los secadores alternativos. El secador solar alternativo evaluado en este experimento cumplió con las funciones principales de los secadores convencionales de cacao. Fue eficaz en reducir el contenido de humedad del grano a menos de 8% y evitó el crecimiento de moho en los granos de cacao. El perfil de sabor del cacao secado en el secador solar alternativo en las diferentes modalidades de utilización mostró diferencias al compararlo con el secado convencional en cada una de las asociaciones evaluadas independientemente de las otras. En algunos casos redujo el amargor y la astringencia, y en otros aumentó la intensidad de las notas aromáticas. Esto presenta la posibilidad de utilizar los secadores alternativos para crear matices diferentes de sabor. Se recomienda continuar experimentando con los secadores y su efecto en el sabor del cacao para ampliar y diversificar la oferta del productor al mercado.

PALABRAS CLAVE: Beneficiado del cacao, secador solar alternativo, calidad y sabor del cacao, licor de cacao, humedad del grano.

ABSTRACT

EFFECT OF AN ALTERNATIVE SOLAR DRYER ON THE QUALITY AND FLAVOR OF COCOA IN THE NORTHERN REGION OF GUATEMALA

This study evaluated the quality and flavor of cocoa from the fermentation and drying process using the conventional method and an alternative solar dryer in several associations located in the department of Alta Verapaz, Guatemala. It had the participation of the collection centers of the associations ADEMAYACH, APODIP, ASODIRP, ASOLSENIOR, and KATBALPOM. Two solar drying units were installed in each of the collection centers and the conventional drying was used as a control. Three trials were

carried out with the aim of evaluating the efficiency of the dryers in their basic functions and the effect on flavor of the cocoa liquor. The evaluation factors included the associations or collection centers, the drying charge and the initial aeration in the alternative dryers. The alternative solar dryer evaluated fulfilled the main functions of conventional cocoa dryers. It was effective in reducing the moisture content of the grain to less than 8%. It also prevented the growth of mold on the cocoa beans. The flavor profile of cocoa dried in the alternative solar dryer in the different modes of use showed differences compared to conventional drying in each of the associations independently of the others. In some cases, it reduced bitterness and astringency; and in the other case increased the intensity of the aromatic notes. This presents the possibility of using alternative dryers to create different flavor nuances. It is recommended to continue experimenting with dryers and their effect on cocoa flavor to expand and diversify the producer's offer to the market.

KEY WORDS: Processed cocoa, Alternative solar dryer, cocoa quality and flavor, cocoa liquor, grain moisture.

INTRODUCCIÓN

El cacao es un producto agrícola cuya demanda ha incrementado tanto a nivel nacional como a internacional. La demanda de cacao y chocolate ha aumentado debido a sus propiedades funcionales y sensoriales.

Guatemala es uno de los 23 países con las condiciones geográficas y climáticas para producir cacao fino. La industria de cacao en Guatemala depende principalmente de pequeños y medianos productores. La mayor parte de la producción del país se concentra en Alta Verapaz.

Hoy en día, los compradores de cacao a nivel mundial demandan al mercado cacaotero un grano de mejor calidad, que cumpla con ciertas características físicas y químicas incluyendo el tamaño y peso del grano, grosor de cáscara, color, contenido de grasa, humedad, sin residuos, moho, malos olores o sabores desagradables y calidad organoléptica, entre otros. Esto requiere mayor control en el beneficiado del cacao en los centros de acopio a fin de integrar los efectos combinados del componente genético del cacao, suelo, clima, manejo agronómico y tecnología postcosecha utilizada (Jiménez, et al., 2018).

Los parámetros más importantes que representan la calidad organoléptica del cacao incluyen el color, aroma y sabor. Mediante estos se puede distinguir a los cacaos ordinarios de los finos de aroma. Estos últimos, se caracterizan porque el sabor a cacao se combina con otros sabores como floral, frutal, nuez, etc., atribuyéndoles una calidad más aromática (Jiménez, et al., 2018). El sabor es uno de los parámetros más importantes entre los parámetros de calidad.

En el proceso postcosecha se desarrolla el perfil de sabor del cacao. En el beneficiado del cacao, la fermentación y el secado son las etapas más importantes debido a que

durante la fermentación se producen reacciones bioquímicas responsables de la disminución del amargor y astringencia necesarios para estimular el aroma y sabor en la semilla (Portillo, 2009). El amargor y la astringencia son atributos no deseados. Durante el secado se reduce el exceso de la humedad que queda después de la fermentación hasta un valor de 7 a 7.5%, facilitando el almacenamiento y comercialización del producto. Esta etapa del proceso tiene un efecto significativo en reducir la astringencia y acidez, así como desarrollar el sabor característico y el color café. El proceso oxidativo inicia durante la fermentación, pero continúa durante el secado. Las enzimas polifenol oxidasas catalizan la transformación de los polifenoles en quinonas que luego se condensan con grupos amino libres produciendo polímeros de color café. Entre los métodos de secado, se prefiere el secado al sol porque da el sabor característico del chocolate.

También se ha reportado secado por etapas en el que se va aumentando la temperatura paulatinamente hasta 50° C, obteniéndose un cacao con buenas características sensoriales (Giacometti, et. al., 2015; Ortiz de Bertorelli, et. al., 2009).

El secado y el almacenamiento son partes críticas en el proceso debido a que de no realizarse de forma correcta se puede incentivar el crecimiento de hongos (Vásquez Tajtaj, 2005). Si el almacenamiento de granos de cacao se hace en condiciones inadecuadas, los granos se vuelven más propensos a la invasión de moho y a infestarse de insectos. En los países tropicales el cacao puede almacenarse de 2 a 3 meses sin asumir riesgos de calidad (Cubillos et. al., 2008).

Según el código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación del cacao por Ocratoxina del Codex Alimentarius, (2013), un contenido por debajo del 8% de humedad se considera óptimo para impedir la proliferación de microorganismos y un buen almacenamiento. La capa de

granos de cacao que se estén secando no debe de exceder los 4 cm de espesor o su equivalente de 40 kg de cacao por metro cuadrado de la zona de secado ya que esto evita la formación de moho, además de hacer el proceso más eficiente. Además, no se deben mezclar los granos que se encuentren en diferentes fases de secado debido a que puede causar que los granos se vuelvan a humedecer, lo cual acelera la formación de micelio y la posibilidad de producción de los hongos. Adicionalmente, baja la calidad de la producción debido a la falta de homogeneidad.

En cuanto al almacenamiento, la estructura debe de cumplir con ser impermeable, ventilado, limpio y libre de humedad, plagas o insectos. Un buen diseño de almacén asegura que el grano se mantenga seco y uniforme. Estos almacenes no deben de ser expuestos a la luz solar directa ni cerca de fuentes de calor ya que puede afectar el contenido de humedad de los granos.

La calidad física se basa principalmente en la apariencia exterior e interior del grano, que no necesariamente coincide con un buen sabor y aroma a chocolate. La calificación que

dan los países compradores y fabricantes de chocolate a los granos de cacao es por su apariencia, grado de fermentación, humedad, materiales extraños, mohos e insectos, entre otros. La prueba de corte es la más importante para determinar la calidad comercial del cacao. Los granos cortados longitudinalmente que presentan una coloración total marrón a chocolate y el cotiledón agrietado indican una buena fermentación (CAOBISCO/ECA/FCC, 2015).

Los principales parámetros de calidad de compra en Guatemala buscan que el grano sea grande, higiénico, con humedad de aproximadamente 7% y que el grano se encuentre bien fermentado (Say et. al., 2016). El sabor es un buen indicador de que tan bueno fue el proceso postcosecha incluyendo la fermentación y el secado. Ambos procesos tienen un efecto en los compuestos responsables del sabor (Aprotosoia et. al., 2016).

En este estudio se evaluó la diferencia en la calidad del cacao que se secó de manera convencional y utilizando los secadores solares alternativos en cada una de las cinco asociaciones de Alta Verapaz que participaron en el estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Unidades de secado

Se instalaron secadores solares en las asociaciones ADEMAYACH, APODIP, ASODIRP, ASOSELNOR y KATBALPOM, como alternativa a los secadores convencionales que cada asociación tiene. Estos consistieron en una estructura metálica que ocupó un área de 5m² (1.83m x 2.76m). Los secadores contaron con una capacidad teórica de secado de 140 lb de cacao. Las partes del secador incluyeron: entrada de aire, colector solar, cámara de secado con 4 bandejas de madera con malla diamante HDPE con orificios de 9mm x 9mm (cada bandeja con dimensiones de 1m x 0.7m) y una salida para el aire caliente húmedo (Figuras 1 y 2).

La captación de radiación solar se llevó a cabo por medio de una lámina metálica con un recubrimiento de pintura negro mate anticorrosivo para mejorar las propiedades del material. La radiación absorbida se transfiere por convección al aire que ingresa. Para transferir la radiación solar se utilizó una lámina de policarbonato transparente y tanto las paredes laterales como las inferiores contaron con una capa de poliestireno de 4 cm para reducir la transferencia de calor hacia el ambiente, así como una capa de lámina galvanizada para proteger y sellar la estructura.

Los secadores convencionales consistieron en una plataforma de madera protegida del ambiente con un techo y laterales de plástico transparente o láminas, con variaciones en cada asociación (Cuadro 1).



Figura 1. Secadores solares alternativos instalados en las asociaciones.

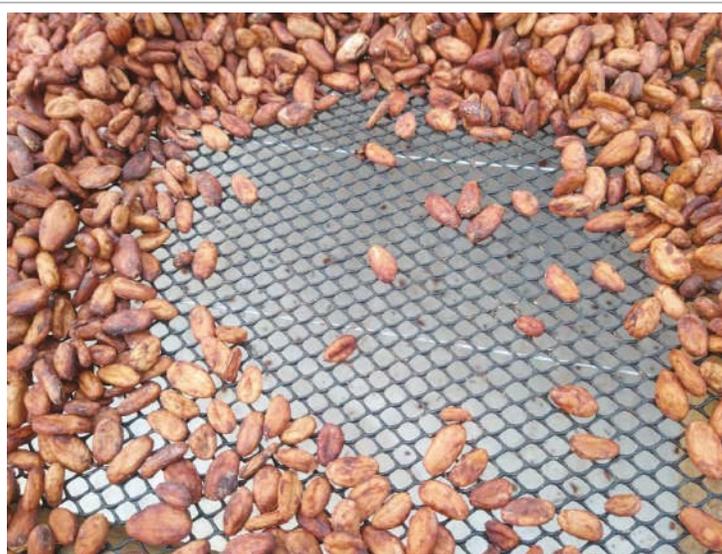
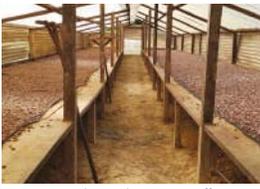


Figura 2. Malla plástica HDPE utilizada en las bandejas de los secadores alternativos.

Cuadro 1. Descripción del secado convencional usado en cada asociación.

Asociación	Unidad de secado		Dimensiones de la mesa de secado LxAxH ¹ m	Mesas por unidad de secado	Grosor de la capa de cacao cm	
KATBALPOM	Estructura de techo de policarbonato y cortinas plásticas laterales. Las mesas de secado tienen malla plástica gruesa, con orificios grandes, sin ningún tipo de madera corrida debajo. El suelo está impermeabilizado con una torta de cemento.		 Mesa con malla sin madera corrida	16x2x0.8	2	5 a 6
ASODIRP	Estructura de techo y laterales fijos de policarbonato. Las mesas de secado cuentan con malla plástica con orificios pequeñas y cuentan con madera corrida debajo. El suelo no está impermeabilizado.		 Mesa de madera con malla tipo sarán	16x2x0.8	2	2 a 3
APODIP	Estructura tipo invernadero, cuenta con techo y laterales fijos de policarbonato. Las mesas de secado cuentan solamente con madera corrida en las mesas, no cuentan con malla. El suelo está impermeabilizado con torta de cemento		 Mesa de madera	16x2x0.8	2	4 a 5
ADEMAYACH	La estructura consiste en una galera que cuenta únicamente con techo de policarbonato y cortinas plásticas, colocan el cacao sobre un plástico negro grueso, y debajo del plástico se tiene una torta de cemento.		 Piso de cemento	5x10x0.05	1	4 a 5
ASOSELNOR	Estructura de techo de policarbonato y cortinas plásticas laterales. Las mesas de secado tienen malla plástica con orificios pequeños, y además cuentan con madera corrida debajo de la malla. El suelo está impermeabilizado con una torta de cemento.		 Mesa de madera con malla tipo sarán	16x2x0.8	2	4 a 5

¹ Largo x ancho x alto

Ensayos de secado

En cada asociación se instalaron dos secadores solares alternativos. Tomando en cuenta la unidad de secado convencional que se utilizó como control (Cuadro 1), en cada centro de acopio se contó con 3 unidades de secado.

Se realizaron 3 ensayos (Cuadro 2). En el primer ensayo se evaluó la carga de secado en cada bandeja de los secadores solares alternativos. En uno de los secadores se colocó la misma carga de cacao fermentado que utiliza cada centro de acopio para un área similar al área de las bandejas de secado (0.7 m²/bandeja) (SA1_CC). En el segundo secador solar alternativo se colocó 2/3 de la carga del secado convencional (SA2_2/3CC).

En el segundo ensayo se realizó la misma evaluación que en el ensayo 1, con la diferencia que el cacao que se colocó en cada secador alternativo pasó primero por un período de

8 horas de ventilación y aireación en el centro de acopio, simulando el procedimiento del secado convencional (SC) realizado por cada asociación. Esto a diferencia del ensayo 1 en donde el cacao fermentado no pasó por el proceso de aireación de las 8 horas antes de colocarlo en las bandejas de secado (Figura 3).

En el ensayo 3 se evaluó el efecto de la aireación y ventilación durante las primeras 8 horas. En ambos secadores se colocó la misma carga de cacao independientemente de la carga utilizada en la unidad de secado convencional. La diferencia entre los secadores alternativos fue la aireación durante las primeras 8 horas del inicio del secado, siguiendo lo descrito en los ensayos 1 y 2. El secador 1 fue sin aireación inicial (S1_SAI) y el secador 2 fue con aireación inicial (S2_CAI).

En las unidades de secado alternativo de los tres ensayos se realizaron varias remociones al día para evitar que los granos de cacao se pegaran unos con otros. Esto simulando el manejo del secado convencional.

Cuadro 2. Detalle de los 3 ensayos realizados en cada centro de acopio y asociación. Tomado de Bocel et al., 2022.

Región	Asociación	Ensayo	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Carga/bandeja (lbs)			Grosor de la capa de cacao (cm)			Humedad final de grano (%)			Días de secado		
					Secador 1	Secador 2	Convencional	Secador 1	Secador 2	Convencional	Secador 1	Secador 2	Convencional	Secador 1	Secador 2	Convencional
Lachuá	KATBALPOM	1	13/02/2020	3/03/2020	35	25	35	5.6	4.0	5.6	7.8	7.9	7.8	19	19	19
		2	04/03/2020	17/03/2020	35	25	35	5.6	4.0	5.6	7.4	7.5	7.4	13	13	12
		3	11/05/2020	11/06/2020	25	25	35	5.0	5.0	5.6	7.5	7.6	7.5	9	9	31 ¹
	ASOSELNOR	1	03/04/2020	13/04/2020	25	17	25	4.0	3.0	4.0	7.5	7.3	7.4	10	10	9
		2	30/04/2020	08/05/2020	25	17	25	4.0	3.0	4.0	7.4	7.3	7.6	8	8	8
		3	28/05/2020	05/06/2020	25	25	25	4.0	4.0	4.0	7.5	7.4	7.5	8	8	8
	ASODIRP	1	26/03/2020	31/03/2020	15	10	15	2.5	1.5	2.5	7.3	7.4	7.3	5	5	5
		2	05/04/2020	12/04/2020	15	10	15	2.5	1.5	2.5	7.4	7.6	7.4	7	7	7
		3	05/05/2020	12/05/2020	25	25	25	4.0	4.0	4.0	7.7	7.6	7.6	7	7	7
Polochic	APODIP	1	11/02/2020	20/02/2020	25	17	25	4.0	3.0	4.0	7.5	7.6	7.6	9	9	9
		2	24/03/2020	30/03/2020	25	17	25	4.0	3.0	4.0	6.6	6.4	7.2	6	6	6
		3	11/05/2020	18/05/2020	25	25	25	4.0	4.0	4.0	7.4	7.1	7.2	7	7	7
Cahabón	ADEMAYACH	1	20/02/2020	05/03/2020	24	16	24	4.0	3.0	4.0	5.5	5.3	5.4	14	14	14
		2	20/03/2020	30/03/2020	24	16	24	4.0	3.0	4.0	5.6	5.4	6.9	10	10	10
		3	28/05/2020	08/06/2020	24	24	24	4.0	4.0	4.0	5.5	5.3	7.6	11	11	11

¹ El secado convencional se extendió ya que hubo precipitación constante, lo cual obligó al almacenamiento del grano.



Figura 3. Carga de cacao en los secadores: a) secado solar alternativo 25 lbs por bandeja, b) secado de 17 lbs por bandeja y c) secado convencional.

También se intercambió la posición de las bandejas de arriba por las de abajo un par de veces al día, teniendo el cuidado de identificar las bandejas para evitar confusiones.

Las variables de respuesta en los 3 ensayos incluyeron:

1. **Humedad:** Se seleccionó una muestra representativa de aproximadamente 18 gramos de cacao para la evaluación, utilizando el medidor de humedad Grain Moisture Tester Agratronix MT-16
2. **Moho interno y externo:** Después de la prueba de corte de 50 granos con una guillotina marca Bifaron International Co., se procedió a evaluar el grano y establecer defectos como moho interno y moho externo.
3. **Preparación del licor de cacao:**
 - a. **Tostado.** Se tomaron 500 gramos de cacao y se utilizó un tostador BEHMOR. Este proceso duró alrededor de 10 minutos de tueste a una temperatura entre 125°C y 130°C y luego 12 minutos de enfriado.
 - b. **Descascarillado:** Se realizó manualmente para obtener trozos de cacao fragmentados, conocidos como nibs, es decir, los trozos o cotiledones de los granos de cacao triturados sin cáscara.
 - c. **Refinado:** Para obtener el licor de cacao se colocaron los trozos de cacao fragmentados dentro de un

molino de piedra Marca Premier modelo PG-506. El proceso duró 8 horas para cada muestra. La pasta obtenida se vertió en moldes de goma y se solidificó a temperatura ambiente.

4. **Acidez titulable:** La acidez del licor de cacao se realizó por titulación con hidróxido de sodio 0.1 N.
5. **Análisis sensorial:** El análisis sensorial del licor de cacao se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Burgos et. al. (2018). Esta evaluación fue realizada por la empresa Cacao Verapaz. Las sesiones de catación incluyeron de 3 a 5 muestras por sesión. El panel estuvo conformado por cinco personas. Los atributos evaluados fueron olor de la muestra antes de colocarla en el paladar, acidez, astringencia, amargor, así como el sabor a cocoa, dulzor, nuez, fruta seca, fruta fresca, floral y especias en una escala de intensidad de 1 a 5. El valor de la escala indica: 0. ausente; 1. apenas detectable; 2. presente; 3. caracteriza la muestra; 4. dominante y 5. extremo.

El análisis estadístico consistió en análisis de varianza para el porcentaje de acidez y estadística descriptiva para las variables categóricas de sabor y olor. Se utilizó infostat para el análisis estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Moho interno y externo

El porcentaje de moho interno y externo a la prueba de corte se presenta en el Cuadro 3. Según la norma ISO2451 versión 2017, Cacao: Especificación y requisitos de calidad, el moho interno debe ser igual o menor a 3% para cacao grado 1. Se puede observar que en todos los casos las muestras en los secadores solares alternativos cumplen con este requisito y no se observa un patrón relacionado con la carga de secado (ensayos 1 y 2) o la aireación inicial antes de su ingreso a los secadores (ensayo 3).

En el secador convencional de la asociación ADEMAYACH se encuentran valores aislados que son más altos y

probablemente se encuentran relacionados con las condiciones climáticas prevalentes durante las pruebas. En la misma asociación se ve un valor de 12% de moho externo que también podría relacionarse con el clima. En esa asociación, el cacao secado en los secadores solares alternativos mostró ausencia de moho interno y externo, lo cual sugiere que los secadores alternativos fueron más eficaces que el convencional para evitar este defecto en adversidades climáticas. No se encontró una diferencia importante en el contenido de moho entre los 3 ensayos a pesar de haberse llevado a cabo en distintas fechas del año.

Cuadro 3. Porcentaje de moho externo y moho interno en cacao en prueba de corte.

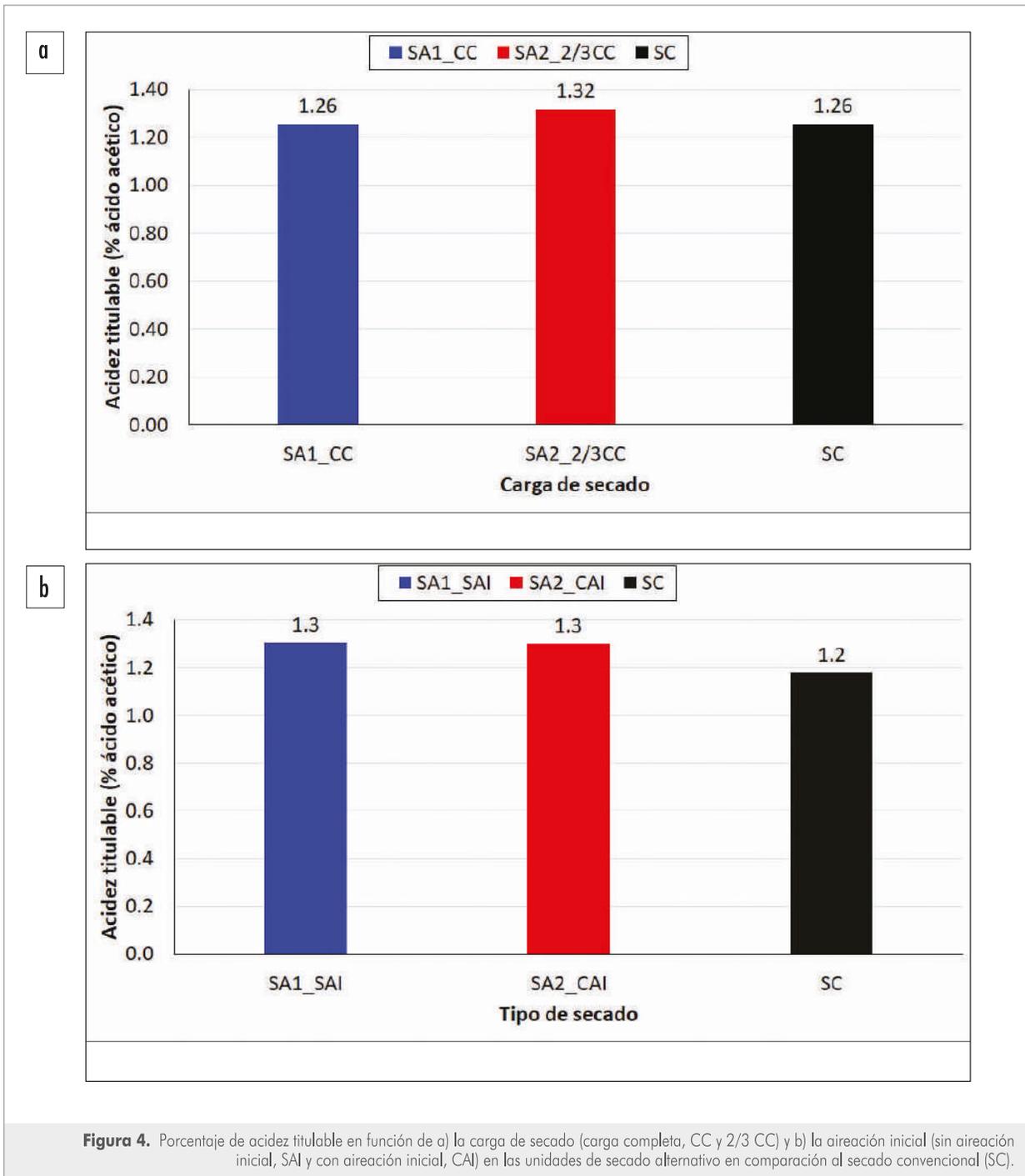
Región	Asociación	Ensayo	Moho externo (%)			Moho interno (%)		
			Secador 1	Secador 2	Convencional	Secador 1	Secador 2	Convencional
Lachuá	KATBALPOM	1	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0
	ASOSELNOR	1	0	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	5	0	0	1
	ASODIRP	1	1	0	0	0	0	0
		2	0	0	0	0	0	1
		3	2	3	0	0	0	0
Polochic	APODIP	1	0	0	0	0	0	0
		2	2	0	2	0	0	0
		3	0	2	2	0	0	0
Cahabón	ADEMAYACH	1	0	0	0	2	0	0
		2	0	0	0	0	0	4
		3	0	0	12	0	0	7

Acidez titulable

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en el valor de la acidez titulable entre muestras de cacao de los 2 secadores alternativos, tanto para el efecto de la carga de cacao fermentado (Figura 4a) como para el efecto de la aireación inicial (Figura 4b) ($p > 0.05$).

En función de la acidez titulable, los secadores alternativos presentaron resultados similares al secado convencional

(Figuras 4a y 4b). Esto indica que en las unidades evaluadas se puede utilizar una carga de cada fermentado similar a la carga por unidad de área que utilizan los centros de acopio. La carga utilizada en el secado convencional varió de 15 (ASODIRP) a 35 (KATBALPOM) libras para un área similar al de las bandejas de los secadores alternativos. Los resultados de acidez titulable también indican que tampoco es necesario la aireación inicial de 8 h, por lo que el único cuidado sería realizar las remociones para evitar que los granos de cacao se pequen unos con otros.



El comportamiento de los secadores alternativos no varió significativamente ($p > 0.05$) dentro de cada centro de acopio (Figura 5a y 5b). La principal diferencia se encontró entre centros de acopio o asociaciones.

En promedio, las muestras de cacao de las asociaciones KATBALPOM, ASOSELNOR y ASODIRP presentaron un mayor valor de acidez en relación con las otras dos asociaciones ($p < 0.0001$). Es decir que el clima o el proceso de fermentación

llevados a cabo en cada asociación tienen un efecto sobre el porcentaje de acidez del licor de cacao, más que el uso de los secadores solares alternativos o convencional. A nivel global, las muestras de cacao de la asociación APODIP presentaron el menor contenido de acidez. Esto puede ser debido a diferentes prácticas de postcosecha de la asociación y a la infraestructura de fermentación y secado con la que esta asociación cuenta.

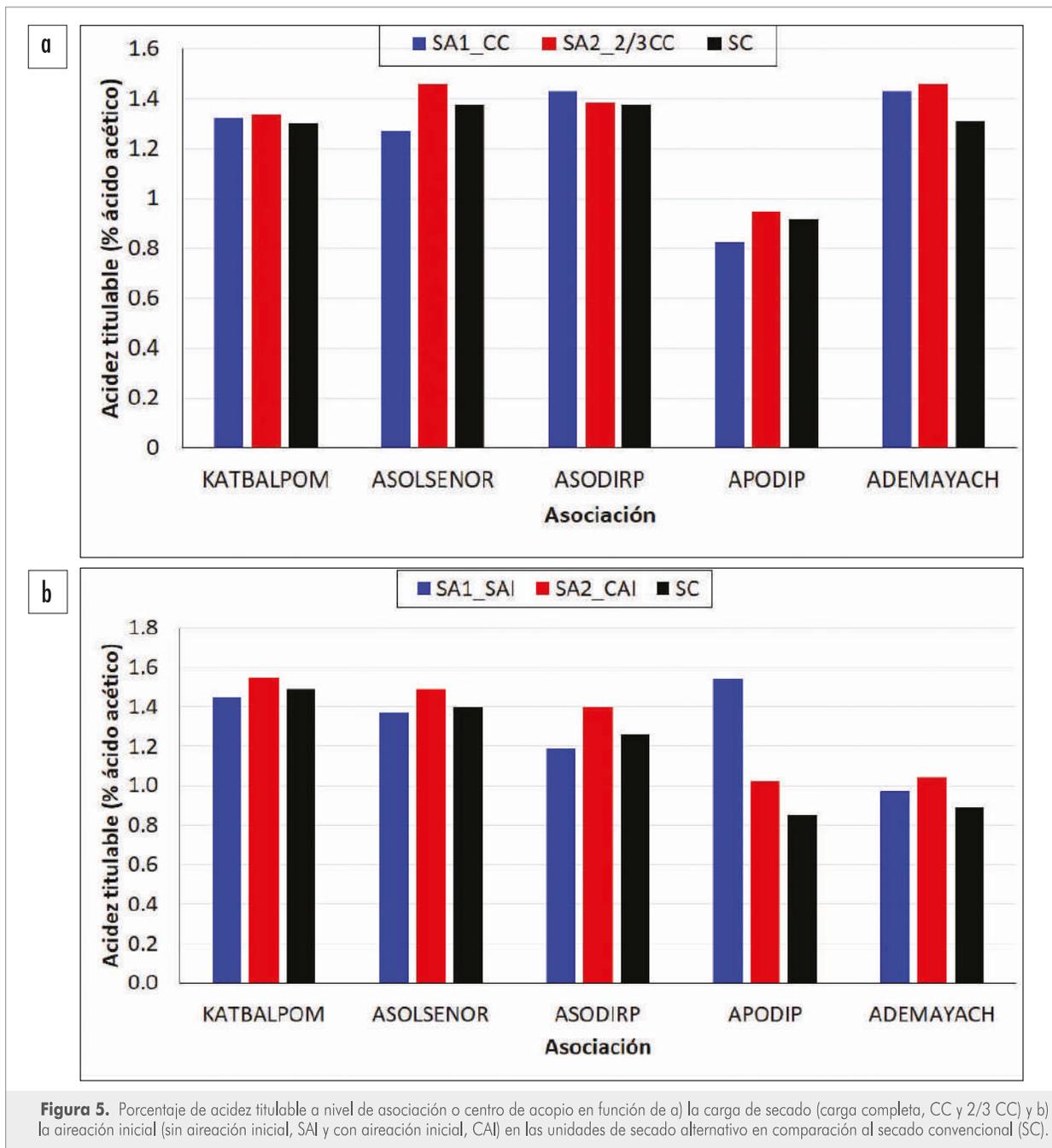


Figura 5. Porcentaje de acidez titulable a nivel de asociación o centro de acopio en función de a) la carga de secado (carga completa, CC y 2/3 CC) y b) la aireación inicial (sin aireación inicial, SAI y con aireación inicial, CAI) en las unidades de secado alternativo en comparación al secado convencional (SC).

Análisis sensorial

Factor asociación

En la Figura 6 se presenta el valor promedio de los atributos de sabor y aroma para el secado convencional de cada una de las asociaciones con valores promediados sobre los 3 ensayos. Los atributos varían grandemente entre asociaciones. El olor floral, el de fruta seca y el olor a especia son los valores más bajos en todas las asociaciones. La variación entre los valores de acidez, amargor y sabor a dulce es más amplia entre asociaciones en comparación con el resto de los atributos. Las muestras de cacao de KATBALPOM y ASOSENOR presentaron un mayor índice de acidez, en

tanto que la muestra de cacao de APODIP presentó el menor valor. Esto coincide con los valores de acidez titulable reportados en la Figura 5.

La mayor parte de los valores de intensidad para el amargor y astringencia fueron menores a 2.5, lo cual de acuerdo con Burgos et. al., (2018) los sitúa con una calidad arriba de 5. Valores de intensidad mayores a 2.5 resultan en calidades inferiores a 5.

En general, ninguna de las asociaciones fue superior al resto en todos los atributos de sabor y olor evaluados. Esto sugiere una gran oportunidad para la mejora de la calidad del cacao en cada centro de acopio.

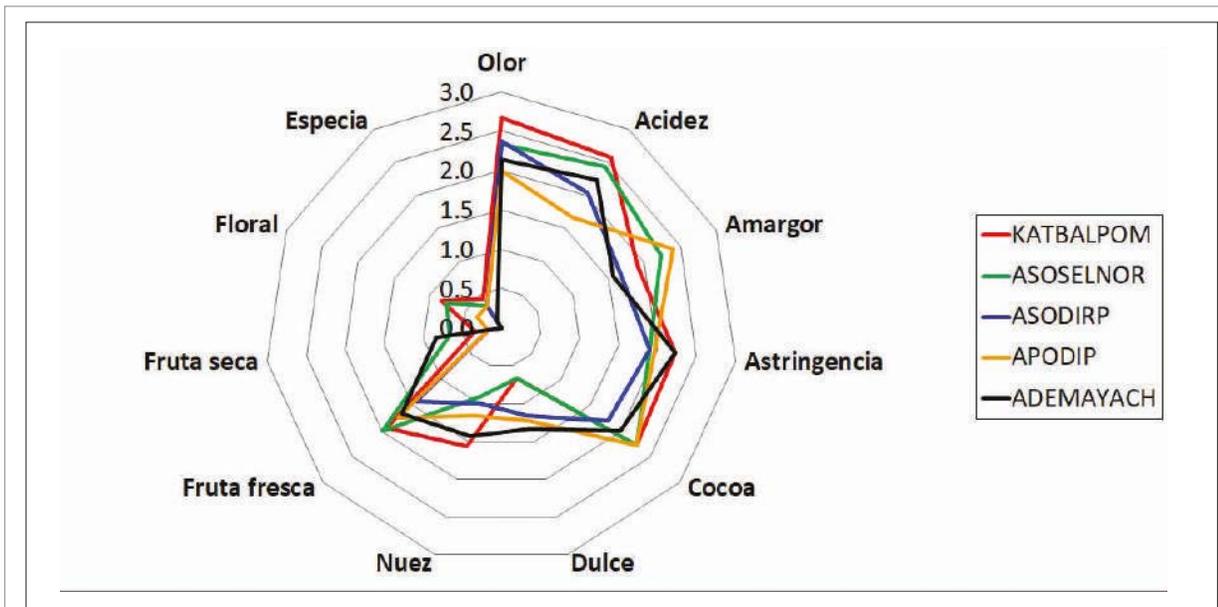


Figura 6. Intensidad de sabor y aroma del cacao manejado convencionalmente según asociación.

Factor aireación inicial

El efecto de la aireación inicial evaluada en el ensayo 3, promediado sobre asociaciones, se presenta en la Figura 7. No se encontró diferencia en la valoración de la mayor parte de atributos en función de la aireación inicial. La principal diferencia fue en los valores de acidez y amargor. Ambos

valores son más bajos en la muestra de cacao con aireación inicial. La valoración de los parámetros olor, sabor a cocoa, fruta fresca y a fruta seca fue mayor con el uso de los secadores alternativos en comparación al secado convencional. La astringencia fue mayor en el secado convencional y el secador con aireación inicial.

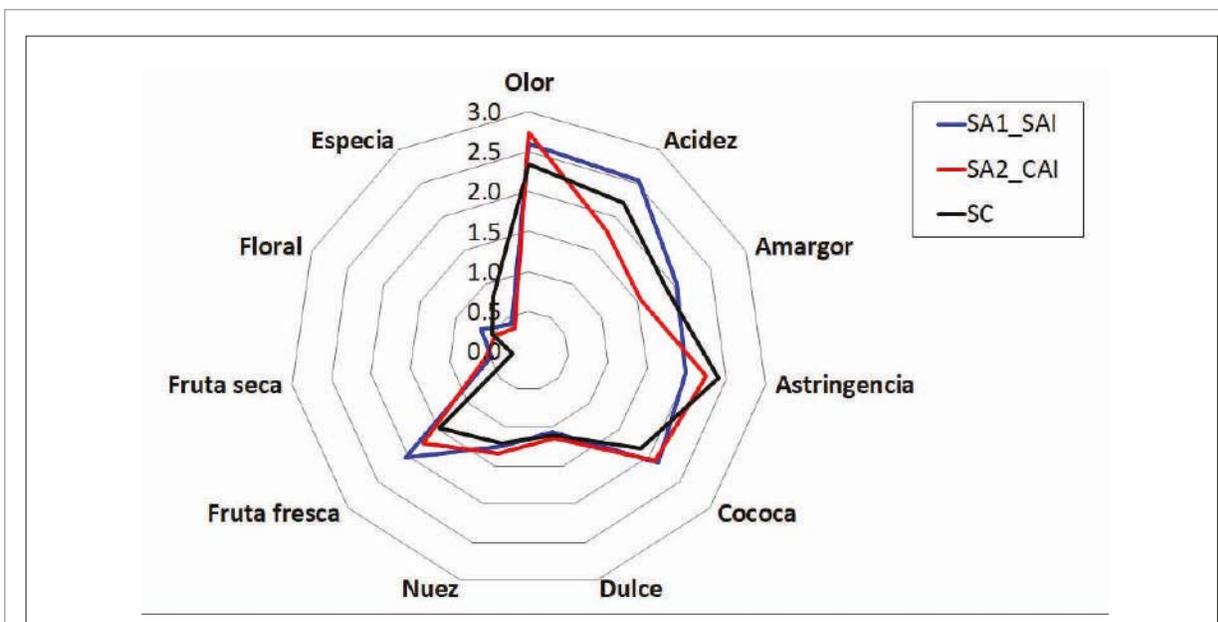
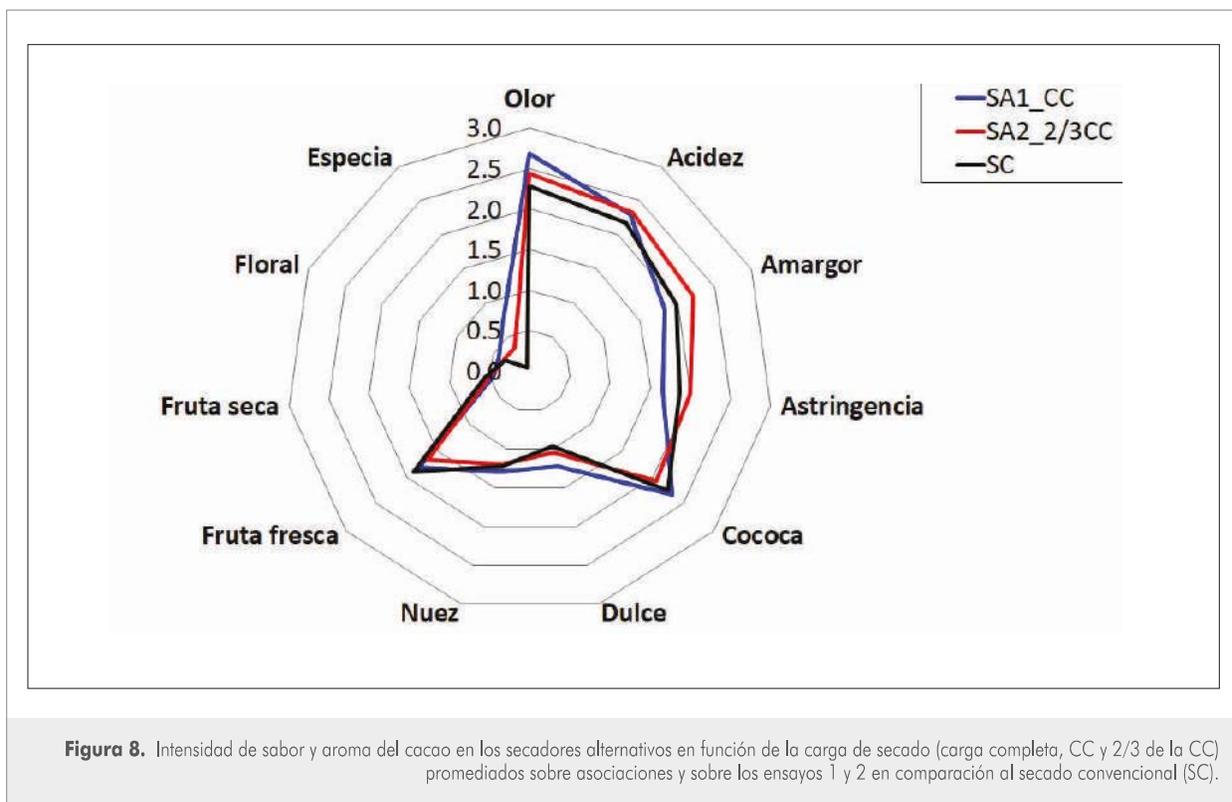


Figura 7. Intensidad de sabor y aroma del cacao en los secadores alternativos en función de la aireación inicial (sin aireación inicial, SAI y con aireación inicial, CAI) promediados sobre asociaciones en comparación al secado convencional (SC).

Factor carga de secado

El efecto de la carga de secado, promediado sobre asociaciones y sobre los ensayos 1 y 2, se presenta en la Figura 8. Los atributos olor, sabor a cocoa, sabor a dulce

y a especia fueron ligeramente mayores con el uso de la carga completa en el secador alternativo en comparación con los otros dos secadores. El amargor y la astringencia también fueron menores en el secado alternativo y carga completa.



Los resultados de carga de secado y aireación inicial del cacao fermentado secado con las unidades alternativas sugieren que se puede utilizar la misma carga que utilizan los centros de acopio para un área similar al área de las bandejas de los secadores. Es importante tomar en cuenta el efecto positivo de la aireación inicial previo a ingresar el cacao a los secadores. Esto a pesar de que estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre airear y no airear las muestras para la acidez titulable.

El efecto del secado alternativo con una carga de cacao fermentado similar a la del secado convencional en cada centro de acopio se presenta en la Figura 9. En tres (KATBALPOM, ASODIRP y ADEMAYACH) de las 5 asociaciones

el uso del secador alternativo resultó mejor calificado para los atributos amargor y astringencia. Esto sugiere que los secadores alternativos podrían contribuir a un mejor desarrollo del sabor del cacao de cada asociación. En general se busca que se reduzca la acidez, amargor y astringencia y que aumente la intensidad de los aromas a cocoa, nuez, fruta fresca, dulce, fruta seca, floral y especias, o que por lo menos se mantenga la misma intensidad que en el secado convencional. En las 3 asociaciones mencionadas, los atributos deseables estuvieron igual o mejor ponderados en el secador alternativo con relación al secado convencional. Estos resultados hay que validarlos con algunas evaluaciones adicionales.

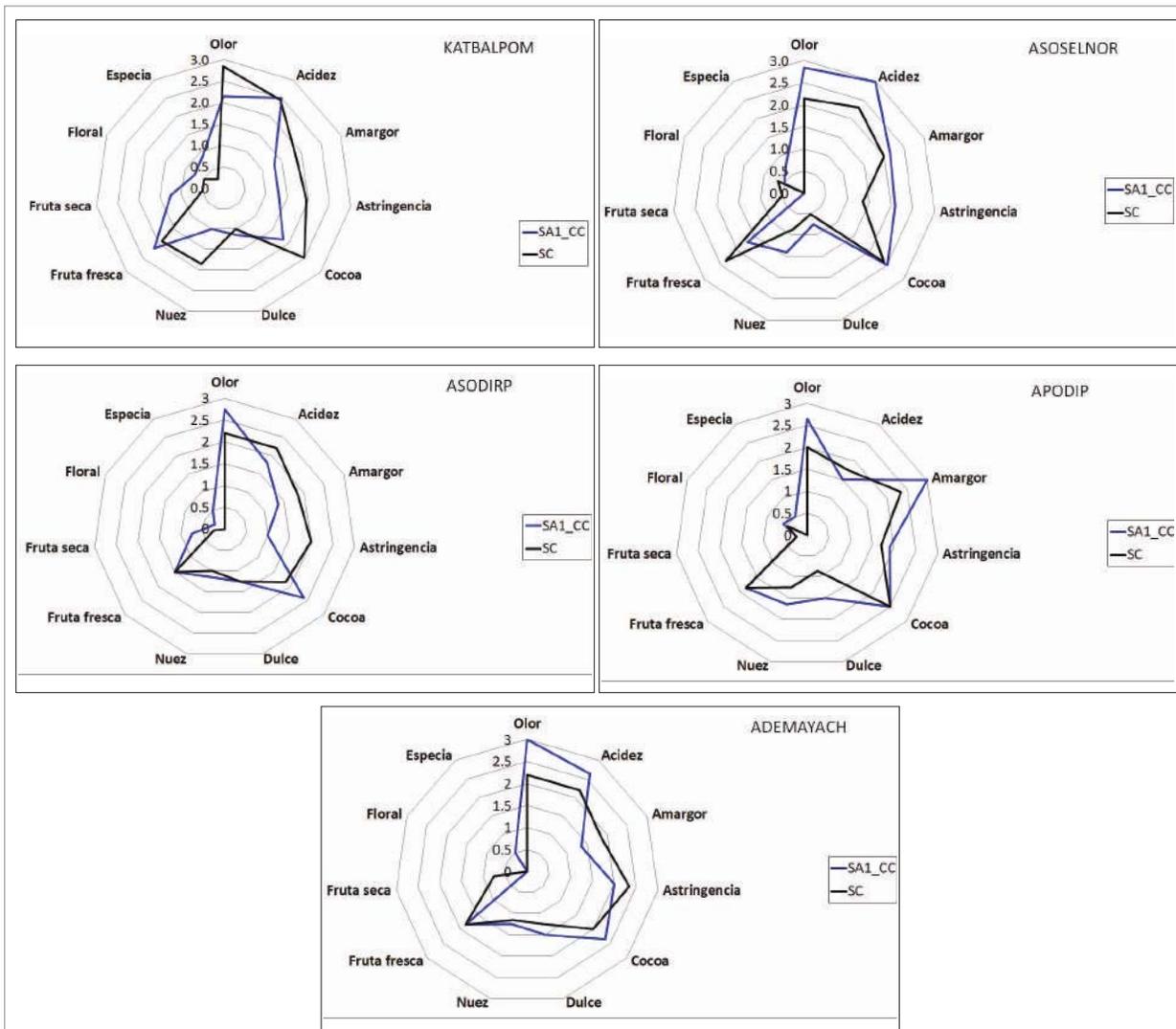


Figura 9. Intensidad de sabor y aroma del cacao secado en la unidad alternativa con carga de secado similar a la del secado convencional en las asociaciones KATBALPOM, ASOSELNOR, ASODIRP, APODIP y ADEMAYACH.

Los resultados de las diferentes evaluaciones indican que los secadores alternativos tienen un potencial para mejorar el perfil de sabor, desarrollando mayor complejidad al aumentar la intensidad de varios aromas, pero hay que seguir haciendo pruebas con ellos para lograr que también se reduzca la

acidez por lo menos al nivel de acidez del secado convencional y de esta manera mejorar la calidad integral del cacao. El secado alternativo también puede ser útil para mejorar la diversificación de perfiles que se pueden ofrecer, dependiendo del gusto del cliente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El secado solar alternativo evaluado en este estudio cumplió con las funciones principales de los secadores convencionales de cacao. Fue eficaz en reducir el contenido de humedad del grano a menos de 8%, al igual que los secadores convencionales de cada asociación. Evitó el crecimiento de moho en los granos de cacao ya que en general no se presentó un porcentaje de moho externo ni interno mayor a 2%. Por los resultados de la acidez titulable, también cumplió su función al presentar un valor similar al obtenido en los secadores convencionales.
- El perfil de sabor del cacao secado en el secador solar alternativo en las diferentes modalidades de utilización mostró diferencias al compararlo con el secado convencional en cada una de las asociaciones evaluadas. En algunos casos reduce amargor y astringencia, y en otros aumenta la intensidad de las notas aromáticas. Esto presenta la posibilidad de utilizar los secadores alternativos para crear matices diferentes de sabor. Se recomienda continuar experimentando con los secadores y su efecto en el sabor del cacao para ampliar y diversificar la oferta del productor al mercado.
- Un beneficio del secador solar alternativo es que el cacao está más protegido del ambiente y del acceso de plagas por la estructura, especialmente cuando el clima es muy húmedo. Sin embargo, es un prototipo que tiene oportunidades de mejora como forzar la circulación del aire a través de una chimenea o un ventilador.

AGRADECIMIENTOS

A las asociaciones productoras de Cacao en la zona Norte de Guatemala que apoyaron el estudio permitiendo que se instalaran los secadores en sus centros de acopio, así como por la información proporcionada sobre el manejo de los procesos de fermentación y secado del cacao.

A la MSc. Dolores Alvarado, asistente de Investigación de Bioersity International, por su valiosa ayuda en el análisis e interpretación de los datos.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura por el seguimiento de las actividades, el apoyo para la comunicación con los actores de la agrocadena y la divulgación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aprotosoiaie, A.C. , Luca, S.V., y Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products-An Overview, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* doi: 10.1111/1541-4337.12180.
- Bocel, J., Gómez, D., Colmenares, A., Alonzo, I., De León, R., Rodríguez, E., y Cifuentes, R. (2022). Evaluación de un prototipo de secador solar para cacao en la región norte de Guatemala. *Rev. UVG* (este número, p 122).
- Burgos, D., Almonte de los Santos, B., Cardenas, H. , Carspensen, B., Choy, M. Contreras, J., Dominguez, M., Flores, L., Gomez, J., Kintzer, B., Liberati, C. , Mapes, Z., Marin, I., Rufino, L., Saavedra, Z, Saavedra, L., Sweitzer, L., Ubillus, J., (2018). Guía para la Ficha de Catación para Análisis Sensorial de Cacao, Proyecto de Desarrollo de Cooperativas USAID=Equal Exchange-TCHO, 24p.
- CAOBISCO/ECA/FCC, (2015). Cocoa Beans: Chocolate and Cocoa Industry Quality Requeriments. End, M.J. y Dand, R., Editors. <http://pdf.usaid.gov/pdfdocs/Pnadv946.pdf>.
- Codex Alimentarius International Food Standards. (2013). Code of Practice for the Prevention and Reduction of Ochratoxin A Contamination in Cocoa. Reference CAC/RCP 72-2013. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/codes-of-practice/en/>.
- Cubillos, G., Merizalde, G., y Correa, E. (2008) Manual de beneficio del cacao. 29. <http://www.ruta.org/programa-agroalimentario-sostenible/CEDOC/ficha.php?id=1736>.
- Giacometti, J., Joli, S. M., y Josi, D. (2015). Cocoa Processing and Impact on Composition. In *Processing and Impact on Active Components in Food* (pp. 605-612). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00073-1>.
- Jiménez, I. J. C., Tuz Guncay, I. G., Quevedo Guerrero, M. J. N., y García Batista, D. C. R. M. (2018). Presecado: Su efecto sobre la calidad sensorial del licor de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 63-73. Recuperado a partir de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/195>.
- Norma ISO 2451:2017 Cocoa beans - Specification and quality requirements, <https://www.iso.org/standard/68202.html>.
- Ortiz de Bertorelli, L., Graziani de Fariñas, L., y Gervaise, R.L. (2009). Evaluación de varios factores sobre características químicas del grano de cacao en fermentación. *Agronomía Tropical*, 59(1), 73-79. Recuperado en 14 de octubre de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000100007&lng=es&tlng=es.
- Portillo, E., Labarca, M., Grazziani, L., Cros, E., Assemat, S., Davrieux, F., Boulanger, R., y Marcano, M. (2009). Formación del aroma del cacao Criollo (*Theobroma cacao* L.) en función del tratamiento poscosecha en Venezuela. *Revista UDO Agrícola* 9 (2): 458-46. Recuperado de <http://www.bioline.org.br/pdf?cg09058>.
- Say, E., Villalobos, M., Escobedo, A., Sánchez, S. y Somarriba, E. (2013). Uso actual y oferta de tecnologías sostenibles en las cadenas de valor del cacao en Guatemala para mejorar la seguridad alimentaria, Informe Nacional Guatemala. Recuperado de internet el 3 de noviembre del 2021 en http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Informe_Guatemala.
- Vasquez Tajtaj, E. G. (2005). Situación actual del cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.), En el departamento de Izabal. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Agronomía, 75. Tesis de Pregrado. Guatemala.

CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA, DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA COMERCIALIZACIÓN DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA ECORREGIÓN DE LACHUÁ, ALTA VERAPAZ

Marlon Ac-Pangan
marlon@bepsisa.com,

Edgar Armando Ruiz Cruz
earuizcruz@yahoo.es

Centro Universitario del Norte
(CUNOR), USAC

RESUMEN

El cacao es parte de los planes de desarrollo de la mayoría de los países centroamericanos. Sin embargo, el cacao de Guatemala ha cobrado importancia en los últimos años debido a los pequeños modelos de producción privada y comunitaria que actualmente se encuentran exportando producto hacia Estados Unidos y países de Europa, en los cuales ha tenido gran aceptación por sus características organolépticas diferenciadas de otros cacaos del mundo y ha sido clasificado por empresas extranjeras como cacao fino. En la ecorregión de Lachuá, las familias locales viven en condiciones de pobreza y basan su economía principalmente en la producción agrícola de subsistencia y comercialización de productos agrícolas, entre los que se encuentra el cacao. El presente estudio tuvo como objetivo realizar una caracterización socioeconómica de los productores de cacao de la ecorregión de Lachuá, además de establecer las características actuales de los sistemas de producción de esta región. La edad promedio de los productores fue de 44.38 años, el ingreso promedio general fue de Q1,452.38 por mes, con un ingreso mensual Q659.09 para mujeres, y Q1,733.87 reportado por los hombres. El área promedio de producción de cacao fue de 2.17 ha/persona, la producción promedio fue de 231.04 Kg de cacao seco/ha. El 88.1% de los productores no fertiliza sus plantaciones, el 74.4% prefiere la comercialización de cacao fresco no drenado, el 63.9% dijo no estar conforme con el precio actual de cacao. El 55% no está interesado en expandir el cultivo; pero la mayoría (97.6%) tiene interés de explorar opciones de procesamiento para agregar valor y mejorar los ingresos económicos.

PALABRAS CLAVE: Cacao, desarrollo rural, género, agricultura, comercialización.

ABSTRACT

SOCIOECONOMIC, PRODUCTIVE AND MARKETING CHARACTERIZATION OF COCOA (*Theobroma cacao* L.) IN LACHUÁ, ALTA VERAPAZ

Cocoa is part of the development plans of many countries in Central America. In Guatemala, cocoa has gain importance during the last years due to small private and community business models that are currently exporting cocoa beans to the United States and Europe. Guatemalan cocoa has been well accepted in the international market due to its unique organoleptic characteristics and has been recognized as fine cocoa. In the Lachua ecoregion, families live in extreme poverty and base their economy on subsistence agriculture and commercialization of agricultural products, including cocoa. In this study, the socioeconomic

and commercial characteristics of cocoa farmers in Lachua ecoregion were evaluated. On average cocoa farmers were 44.38 years old, with Q1,452.38 monthly income, Q659.09 per month reported by women and Q1,733.87 reported for men. The average of the cocoa farms is 2.17 ha/ farmer. The average yield was 231.04 kg of dry cacao per hectare. It was reported that 88.1% of the growers do not use any type of fertilizer, 74.4% prefer to sell non drained cocoa. Overall, 63.9% reported not agreeing with the current cacao price, 55% is not interest in expanding production area and 97.6% is interested in exploring value added options.

KEY WORDS: Cocoa, rural development, gender, agriculture, marketing.

INTRODUCCIÓN

La historia del cultivo de cacao en la cultura maya guatemalteca ha provocado que este sea parte de las actividades agrícolas de subsistencia y de producción excedentaria en diferentes partes del país, iniciando en la costa Sur de Guatemala y extendiéndose hacia los departamentos de Alta Verapaz, Izabal y Petén. A nivel gubernamental, las iniciativas del impulso del cultivo de cacao en Guatemala, comienzan con la implementación del servicio de extensión agrícola y el Instituto Agropecuario Nacional (IAN), como una estrategia de apoyo del gobierno de los Estados Unidos de Norte América, lo que se conoció como SCIDA (Servicio Cooperativo Interamericano de Desarrollo Agrícola). Desafortunadamente con la reestructuración del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) en 1970, cambiaron las estrategias de trabajo y las prioridades de impulsar cultivos agroindustriales como el cacao, por lo que esa iniciativa fue prácticamente clausurada, con un leve seguimiento a las estaciones Los Brillantes y Navajoa (Díaz Quintana, 2009). A principios de los años 80 en Guatemala el cultivo de cacao ya formaba parte, entre otros cultivos, de la actividad agrícola que promovía el desarrollo económico y social de una parte del sector del país, principalmente en la costa sur, en el departamento de Suchitepéquez. La forma de producción del cultivo era variable, el establecimiento de las plantaciones y el nivel de tecnificación dependían de las condiciones climáticas y socioeconómicas en las que se desenvolvía el agricultor. Debido a que era un cultivo que no era producido por grandes empresas exportadoras como la caña o el banano, que contaban con grandes extensiones de tierra, financiamiento, etc. La ocurrencia del cultivo era desde unos pocos árboles alrededor de las viviendas de los productores hasta fincas perfectamente organizadas (Hernandez, 1981).

La dimensión socio ambiental en el marco territorial de las subregiones que comprenden la cadena de valor de cacao es considerada como el elemento base o punto de partida de cada estudio o investigación, debido a que el cultivo no solo se desarrolla en un espacio biofísico sino también obedece a un conjunto de relaciones sociales y económicas (Ochoa, 2015). En el año 2007, el cultivo de cacao en Centroamérica ocupaba entre 23,000 y 25,000 hectáreas en manos de 18,000 familias indígenas y campesinas de escasos recursos, con viviendas y áreas de trabajo en zonas remotas, con deficientes vías de comunicación y acceso y muchas veces alrededor de áreas protegidas de interés nacional e internacional (Somarriba et al., 2013). Según el Programa Nacional de Competitividad (PRONACOM) en Guatemala la producción primaria de cacao es fundamentalmente desarrollada por pequeños y medianos productores, lo cual se pudo establecer mediante los datos censales referidos a los estratos del tamaño de fincas productoras de cacao (Contreras Marín, 2008). Para el año 2012 existían más de 25 organizaciones productoras en todo el país con diversas formas de constitución: comités locales, asociaciones, fundaciones y cooperativas. En total se identificaron 2,942 familias productoras de cacao que pertenecen a grupos sociales o empresariales diversos. En la Franja Transversal del Norte (FTN) se identificaron siete organizaciones (411 familias afiliadas) y entre Cahabón y Lanquín 15 organizaciones (2,297 familias) (Say y Villalobos, 2012).

Diversos estudios relacionados al cultivo de cacao en Guatemala, identifican dos grandes regiones de producción: Región Norte que comprende los departamentos de Alta

Verapaz, Quiché, Izabal y Sur de Petén y la Región Sur-Occidental, que abarca la boca costa de los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos (Ochoa, 2015). El 82% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en tres departamentos: Alta Verapaz (40%), Suchitepéquez (24%) y San Marcos (18%). Esta actividad es desarrollada principalmente por pequeños y medianos productores, con modalidades de producción caracterizadas como cultivo natural y un pequeño porcentaje con tecnología orientada al manejo orgánico (Agrocadena de Cacao de Guatemala [ACG], 2016).

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE) los resultados de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) muestran que para el año 2014 la población de Alta Verapaz y Sololá se encontraba por encima de 80% de pobreza general; siendo los dos departamentos con mayor índice de pobreza a nivel nacional y con mayor necesidad de alternativas que generen empleo rural por las características de ambos departamentos. Además, se determinó que la incidencia de pobreza extrema es mayor para la etnia indígena (39.8%) en comparación con la no indígena (12.8%) y es mayor para la población del sector rural (35.3%) en comparación con la población que vive en el área urbana (11.2%) (Narciso Cruz, 2015).

El sector de cacao actualmente realiza aportes específicamente a la economía familiar en términos de generación de empleo. Una estimación de costos y producción para el año 2006, permitió establecer que en ese período el sector en su conjunto generó 216,757 jornales, equivalentes a 803 empleos plenos, de los que el 46.04% corresponde a la actividad agrícola y el 53.96% a las actividades industriales y artesanales. Para el año 2013, el número de jornales tuvo un crecimiento de alrededor de 56,000 jornales, es decir un total registrado de 272,800 jornales, equivalentes a 974 empleos permanentes. Aun cuando en términos de la economía nacional la contribución es mínima, a nivel de familias en el área rural, el empleo generado por la actividad contribuye de manera importante en la integración del ingreso. La generación y distribución de ingresos inherentes al sector cacao por concepto de empleo, se aproxima a los 9.34 millones de quetzales anuales, de ellos alrededor de 4.24 millones de quetzales (45.36%) son distribuidos en el área rural (ACG, 2016).

El cacao es parte de los planes de desarrollo de la mayoría de los países centroamericanos y a partir del año 2006, se instauraron algunos espacios de concertación del sector cacaotero (mesas, foros, clústeres). No obstante, en todos los países se encontró un sector pequeño, con pocos actores y con iniciativas gubernamentales débiles para enfrentar los retos del mercado (Somarriba et al., 2013). El cacao de Guatemala ha cobrado importancia en los últimos años, debido a que los pequeños modelos de producción privada

y comunitaria que actualmente se encuentran exportando producto hacia Estados Unidos y países de Europa, han tenido gran aceptación por sus características organolépticas diferenciadas de otros cacaos del mundo y ha sido clasificado por empresas extranjeras como cacao fino (ACG, 2016).

La ecorregión Lachuá forma parte de FTN y está considerada como uno de los últimos remanentes de bosques tropicales lluviosos que se encuentran en Guatemala. Está conformada por el Parque Nacional Laguna Lachuá y por comunidades indígenas. Fue reconocida en 2006 como sitio de humedales de importancia mundial de la convención RAMSAR (tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos). En 2008 fue incluida dentro de la Red Iberoamericana de Bosques Modelo, constituyéndose como el primer bosque modelo de Guatemala (Van Tuylen, 2009). La mayoría de las comunidades que habitan en la ecorregión Lachuá pertenecen al grupo étnico maya q'eqchi', la población de la región se estima en 20,000 habitantes (Carrera, 2019).

Las familias locales viven en condiciones de pobreza y basan su economía en la producción agrícola de subsistencia y en la comercialización de sus productos entre los que se encuentra el cacao. Esto es complementado con actividades extractivas tales como, cacería, pesca y tala de árboles. Estas actividades aportan el 71.3% del total de ingresos por hogar, aunque la actividad agrícola genera el mayor aporte con 42.8%. Le siguen el comercio, artesanías y servicios de ecoturismo con 19.2%; la mano de obra un 5% y 4.5% de remesas. Aproximadamente el ingreso per cápita anual por poblador es de US\$413.45 dólares americanos, es decir, que la población se encuentra en situación de pobreza, lo cual coincide con los resultados de la ENCOVI, que muestran que para el año 2014 la población de Alta Verapaz y Sololá se encontraban por encima de 80% de pobreza general (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2015).

Según Acuña (2010) el proyecto Laguna Lachuá fue una iniciativa de conservación y desarrollo rural que inició su trabajo en 1997 en la ecorregión Lachuá, conformada por el Parque Nacional Laguna Lachuá, 52 aldeas, seis fincas privadas y una finca municipal (Salinas Nueve Cerros). Un logro importante del proyecto en su tercera etapa fue la creación de la Fundación Lachuá la cual agremia a las asociaciones productivas y COCODES. Con la creación de la Fundación Laguna Lachuá, se registraron impactos de tipo económico-financiero, social, político y ambiental, siendo el eje conductor el plan maestro del Parque Nacional Laguna Lachuá (Acuña, 2010). Como parte del componente de comercialización y diversificación del Proyecto Lachuá, se implementaron proyectos sostenibles como: procesamiento de chile cobanero, producción de miel de abeja (*Apis mellifera*), textiles, comercialización de xate y producción y procesamiento de cacao. El fomento al cultivo de cacao en la ecorregión

Lachuá, fue propiciado en el marco del Proyecto Laguna Lachuá, implementado por UICN-INAB y apoyado por la cooperación de Holanda. La iniciativa surgió a raíz de las necesidades de los pobladores comunitarios, de buscar alternativas de producción sostenibles que les permitieran generar un mayor nivel de empleo e ingresos para apoyar la economía familiar y al mismo tiempo favorecer la conservación de los recursos naturales de Lachuá (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2013).

Luego de la primera exportación de cacao de la ecorregión Lachuá al mercado internacional y de su utilización para elaborar barras de chocolate, se confirmó el potencial de la

región como cacao de alta calidad debido a las características de la región de producción. La importancia del cultivo en detener el avance de la frontera agrícola, la restauración de paisajes a través del establecimiento de plantaciones de cacao bajo sistemas agroforestales y las características de la mezcla genética del cacao que se ha preservado en las comunidades.

El presente estudio tuvo como objetivo realizar una caracterización socioeconómica de los productores de cacao de la ecorregión de Lachuá, además establecer las características actuales de los sistemas de producción de cacao en esta región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

La investigación se realizó con productores de cacao miembros de la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA) cuya sede se encuentra ubicada en la comunidad Salacuim en el municipio de Cobán, Alta Verapaz, en la ecorregión de Lachuá. Está conformada por 394 familias productoras de cacao (301 hombres y 93 mujeres), las cuales pertenecen a las asociaciones KATBALPOM que abarca las comunidades de Salacuim y Saholom, ASOSELNOR ubicada en la comunidad de Faisan I y II y Pataté y ASODIRP en la comunidad Rocjá Pomtilá.

Técnicas de investigación

Se utilizó la técnica de entrevistas debido a que es una técnica de investigación que permite la recolección de datos de forma directa y además permite la comprobación de información recolectada en otras técnicas utilizadas o durante la revisión de literatura. Se realizó una entrevista dirigida ya que se contó con un guion preestablecido para el desarrollo de esta, con el objetivo de orientarla exclusivamente al tema de investigación (Muñoz Razo, 2011).

La segunda técnica utilizada fue la encuesta, la cual constituyó la base del sistema de información estadística. Esta segunda herramienta se utilizó como complemento de las entrevistas, ya que las encuestas permitieron obtener información más precisa. Se utilizaron encuestas mixtas, combinando la forma escrita y la forma verbal según cada caso al momento de la recolección de los datos. Además, fueron encuestas dirigidas ya que se contó con cuestionarios elaborados, los cuales permitieron orientar las respuestas hacia las variables de interés de la investigación (Muñoz Razo, 2011).

La tercera técnica fue observación participativa, con la finalidad de estudiar las características y el comportamiento de los productores de cacao en los diferentes pasos durante el procesamiento. Específicamente para observar el proceso de fermentación implementado en las comunidades y para describir las instalaciones con las que cuentan las asociaciones. Fue participativa debido a que el investigador formó parte de las diferentes actividades relacionadas al procesamiento de cacao, lo cual permitió comprender mejor el fenómeno de estudio y corroborar información obtenida con otras técnicas (Muñoz Razo, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características socioeconómicas

En general, la edad de los productores de cacao presentó una distribución casi normal, con un promedio de 44.38 y un rango de 21 a 74 años. La edad promedio de la ecorregión de Lachuá es mayor a la reportada en la región de Olancho en Honduras, quienes reportaron un promedio de 40.5, con un rango de 19 a 84 años (Kupferschmied et al., 2018). Sin embargo, la edad de los productores de cacao de Lachuá es menor a la reportada en la provincia de Manabí en Ecuador, donde el promedio es de 56.95 años (Villacis et al., 2020). Por otro lado, en el sector de Yaguaraparo en Venezuela se reportó que más del 50% de los productores de cacao posee una edad superior a los 50 años (Lanz y Granado, 2009). Cuando se compara la edad de los productores de cacao en Lachuá con la edad promedio de los productores de países del continente africano, se puede observar que el promedio de edad es menor que el promedio de Ghana (55), Costa de Marfil (51), Camerún (63-70), y Nigeria (más de 60) (Hawkins y Chen, 2016).

La edad avanzada de los productores ha sido identificada como una de las causas de bajo rendimiento en las plantaciones de cacao de África, en conjunto con otros factores como el bajo nivel de uso de insumos agrícolas, manejo inadecuado de plagas y enfermedades, pobre manejo de sombra, y poco o ningún método de fertilización (Hawkins y Chen, 2016; Wessel y Quist-Wessel, 2015). La edad promedio de los productores de cacao fue estadísticamente diferente entre las asociaciones KATBALPOM y ASOSELNOR (Cuadros 1 y 2). KATBALPOM presentó un promedio de 51.29 años por productor, 44.67 años en promedio para ASODIRP y 36.62 años para ASOSELNOR.

En relación al ingreso económico, en la asociación KATBALPOM los salarios variaron desde Q1,500.00 hasta Q5,000.00 por mes (media de Q3,500), para ASOSELNOR y ASODIRP fueron desde Q200.00 hasta Q5,000.00 (media de Q4,800.00). De acuerdo con Ochoa (2015), las actividades agrícolas representan el 90% de los ingresos económicos de la población rural, en la cual el 90% de los ingresos mensuales se encuentran por debajo de Q 2,500.00. Entre las actividades económicas reportadas por los productores se encuentran: encargado de beneficio de procesamiento de cacao, profesor de educación primaria, comerciante, ama de casa, facilitador comunitario, jornalero y enfermero. De acuerdo con la Organización internacional

del Cacao (ICCO, por sus siglas en inglés), muchos productores de cacao todavía viven en condiciones de pobreza, el cual sigue siendo un reto diario en diferentes partes del mundo (ICCO, 2019). En general, el ingreso promedio de las familias productoras de cacao fue de Q1,452.38, lo cual no cubre el costo de la canasta básica de alimentos (CBA) que fue estimada en Q3,097.23 para diciembre de 2021. Esto indica que, las familias productoras de cacao no logran cubrir sus necesidades energéticas y de proteína (INE, 2021). Sin embargo, estos resultados no reflejan el consumo de alimentos producidos y destinados para autoconsumo o los alimentos recolectados de bosques o áreas cercanas. El análisis de varianza mostró que no existe diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre el promedio de los ingresos mensuales entre las tres asociaciones (Cuadro 1). El ingreso mensual promedio más alto se reportó en la asociación KATBALPOM (Q2,021.43), seguido de ASODIRP (Q1,326.67) y ASOSELNOR (Q984.62).

Con relación al tamaño de la familia, se observó un promedio de 7.55 personas en el núcleo familiar, con un rango de 0 a 18 integrantes por familia. El análisis de varianza mostró que el promedio de integrantes por familia no presentó diferencias estadísticas en las tres asociaciones ($p > 0.05$) (Cuadro 1). En un estudio realizado en Nicaragua se reportó que el tamaño promedio de familia fue de 5.32 integrantes, con un rango de 1 a 12 personas (Castillo et al., 2020). En Honduras se reportó un promedio de 4.78 personas por hogar (Sobalbarro-Figueroa et al., 2020), en la zona Este de Ghana el promedio reportado fue de 7 personas por núcleo familiar (Yahaya et al., 2015), en Venezuela se observó que el 68% posee una carga familiar entre cuatro a nueve miembros por familia (Lanz y Granado, 2009), y en la provincia de Manabí en Ecuador, el tamaño promedio por familia reportado es de 3.60 personas (Villacis et al., 2020). Los resultados muestran que el promedio de tamaño del núcleo familiar en la región de Lachua es mayor en comparación con otras regiones cacaoteras de Centroamérica y similar al promedio reportado la región Este de Ghana.

En general se observó que el promedio de la edad de los hombres entrevistados fue de 46.26 años y de 39.09 años para las mujeres entrevistadas. Al analizar la edad por género, los resultados mostraron que no existió diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre la edad de hombres y mujeres entrevistados (Cuadro 3).

Cuadro 1. Análisis de varianza de variables socioeconómicas por localidad.

Variable	Valor F	Significancia
Edad	4.356	0.020
Ingresos	3.147	0.054
Tamaño de familia	0.560	0.576

Cuadro 2. Separación de medias¹ Tukey para la variable edad de productores por asociación.

Asociación	n	Media ± DE
KATBALPOM	14	51.29 ± 13.702 ^a
ASODIRP	15	44.67 ± 14.376 ^{ab}
ASOSELNOR	13	36.62 ± 9.870 ^b

¹ Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).
n: Tamaño de muestra
DE: Desviación estándar

Cuadro 3. Prueba de T para muestras independientes para variables socioeconómicas por género.

Variable	valor t	Significancia
Edad	1.488	0.145
Ingreso económico	2.874	0.006

Cuadro 4. Promedio para la variable de ingreso económico por género.

Género	n	Q/mes
Masculino	31	1733.87 ± 1193.55
Femenino	11	659.09 ± 518.08

n: tamaño de muestra.

En la ecorregión de Lachuá las mujeres reportaron en promedio un ingreso mensual de Q659.09, en comparación con Q1,733.87 reportado para hombres (Cuadro 4). Al analizar los resultados de ingresos económicos por género, se observó que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) en el ingreso mensual de hombres y mujeres productores de cacao (Cuadro 3), lo cual indica que los hombres poseen mayor ingreso económico que las mujeres en la región de estudio.

En la región de Olancho en Honduras se observó que el 15-22% de los productores de cacao son mujeres (Kupferschmied et al., 2018; Sobalbarro-Figueroa et al., 2020), el 11% fue reportado en Venezuela (Lanz y Granada, 2009), y en Ghana se reportó una participación del 7% de mujeres en la región del Este de ese país (Yahaya et al., 2015). Muchas mujeres participan activamente en la cosecha y postcosecha del cacao

y además son las encargadas de las labores de atención del hogar y cuidado de los hijos (Lanz y Granada, 2009). Por esta razón es importante reconocer la importancia del rol de las mujeres no solamente en la cadena de valor de cacao, sino el rol en la construcción, el mantenimiento y desarrollo del núcleo familiar. De acuerdo con ICCO, la inequidad de género sigue siendo uno de los desafíos en la cadena de valor de cacao a nivel mundial, por lo que es urgente el desarrollo de estrategias orientadas a reconocer el valor y retribuir el trabajo de las mujeres en el desarrollo rural del país (ICCO, 2018).

Con relación al nivel de educación, el 42.9% de los productores respondió no haber tenido educación formal, el 35.7% dijo tener nivel primario, el 19% dijo poseer un título a nivel de bachillerato o diversificado y únicamente el 2.4% dijo tener un nivel académico universitario. Sin embargo, los

Cuadro 5. Prueba de Chi cuadrado para las variables nivel de estudios y grupo étnico por asociación.

Variable	Valor	Significancia
Nivel de estudios	6.761	0.344
Grupo étnico	9.666	0.046

Cuadro 6. Conteo de resultados de grupo étnico por asociación.

			Asociación			TOTAL
			KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	
Grupo étnico	No Indígena	Conteo	2	0	0	2
		%	14.3	0.0	0.0	4.8
	Q'eqchi'	Conteo	10	15	13	38
		%	71.4	100.0	100.0	90.5
	Rabinal Achí	Conteo	2	0	0	2
		%	14.3	0.0	0.0	4.8
	TOTAL	Conteo	14	15	13	42
		%	100.0	100.0	100.0	100.0

resultados mostraron que no existió diferencia estadística significativa de los diferentes niveles de educación entre los productores de cacao ($p > 0.05$) (Cuadro 5). Se observó que el porcentaje de personas sin educación fue similar para las asociaciones KATBALPOM y ASOSELNOR y ligeramente menor para ASODIRP.

Los niveles de educación formal reportados por los productores de la ecorregión de Lachuá son menores a los observados en el estado de Sucre en Venezuela, donde el 81% de los productores de cacao reportaron algún grado de educación formal (Lanz y Granada, 2009), en la región Este de Ghana el 88.7% posee educación formal (Yahaya et al., 2015). Por otro lado, en la región de Olancho en Honduras, más del 88% de los productores de cacao reportaron tener algún tipo de educación formal (Kupferschmied et al., 2018; Sobalbarro-Figueroa et al., 2020). En la región de Manabí en Ecuador se reportó un promedio de escolaridad de 7.41 años de la persona encargada económicamente del hogar (Villacis et al., 2020).

Es importante conocer el grado de escolaridad de los productores de cacao debido a que facilita planificar adecuadamente actividades de asistencia técnica, que permitan capacitarlos en áreas relacionadas a la producción y procesamiento de cacao, considerando la heterogeneidad en el nivel de escolaridad (Lanz y Granada, 2009). Se ha

demostrado que el mayor nivel de escolaridad en los productores tiene un efecto positivo en el nivel de adopción de innovaciones (Aguilar-Gallegos et al., 2013). Además, tener un nivel de escolaridad secundaria constituye la base para el desarrollo de programas de capacitación sobre manejo del cultivo, nuevas tecnologías, y gestión administrativa (Sobalbarro-Figueroa et al., 2020).

En la región de estudio, el 90.5% se autoidentificó como maya Q'eqchi', el 4.8% como Rabinal Achí y el 4.8% como no indígena (Cuadro 6). Se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los grupos étnicos representados en las asociaciones (Cuadro 5). La diferencia se observó principalmente en la asociación KATBALPOM en comparación con las otras dos asociaciones. En KATBALPOM el 71.4% de los productores de cacao entrevistados se identificaron como Maya Q'eqchi', el 14.3% como no indígena y el 14.3% como Rabinal Achí. En las asociaciones ASODIRP y ASOSELNOR el 100% de los productores entrevistados se identificaron como Maya Q'eqchi' (Cuadro 6).

Características de producción

Los resultados del análisis de varianza mostraron que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) en el promedio del área de terreno por productor entre las asociaciones (Cuadro 7). El promedio del total de terreno por productor

fue significativo ($p \leq 0.05$) únicamente entre las asociaciones ASODIRP y KATBALPOM (Cuadro 8). El promedio más alto fue para ASODIRP, con de 38.7 mz/productor (1 mz = 0.7 ha), seguida de ABOSELNOR con un promedio de 17 mz/productor, y el promedio más bajo fue para KATBALPOM con 8.6 mz/productor (Cuadro 8).

El promedio general de área cultivada de cacao para la región fue de 2.17 ha/persona, con un promedio de 2.91 ha/productor para ASODIRP, 2.04 ha/productor para KATBALPOM y 1.44 ha/productor para ABOSELNOR. El número de hectáreas de cacao cultivadas en cada comunidad no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las asociaciones (Cuadro 7). Del total de hectáreas se reportó que el 12.21% son plantaciones establecidas desde el año 2015 a 2018, las cuales se encuentran iniciando la etapa de producción o en crecimiento. De acuerdo con Salguero (2015) la mayoría de los productores de cacao en Guatemala poseen un promedio menor a una hectárea de cacao en producción. Por otro lado, Tapia (2016b) reportó que el área promedio oscila entre 0.25 a 0.74 hectáreas por productor. Los valores nacionales son menores al reportado en la ecorregión, probablemente debido a que durante los últimos años la ecorregión de Lachuá ha sido una región priorizada para la expansión del cultivo de cacao debido a sus características de restauración de paisajes y el potencial de la calidad del producto de la región.

En Centroamérica, se estima que el área de siembra de cacao por productor oscila entre 0.7-1.5 hectáreas (Tapia, 2016c). Villacis et al. (2020) reportó un promedio de 14.5 hectáreas por productor en la región de Manabí en Ecuador. En Venezuela, en el estado de Sucre el 73% de los productores posee plantaciones de cacao entre 2.1 y 10 hectáreas, mientras que solo el 19% posee plantaciones mayores a 12 hectáreas (Lanz y Granado, 2009). En Olancho, Honduras se ha reportado un promedio de 1.21-1.44 hectáreas destinadas a la producción de cacao por productor (Kupferschmied et al., 2018; Sobalbarro-Figueroa et al., 2020).

El promedio de producción de cacao en fresco (con mucílago) de las plantaciones en edad de producción formal, fue de 15.31 quintales de cacao por hectárea y no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre las asociaciones de la ecorregión. Este rendimiento equivale a 5.10 quintales de cacao seco y fermentado por hectárea; considerando un rendimiento promedio de 3:1 (tres quintales de cacao fresco necesarios para producir un quintal de cacao seco y fermentado), un rendimiento promedio estimado bajo condiciones adecuadas de procesamiento. En kilogramos, el rendimiento es equivalente a 231.81 kg/ha, el cual es similar al rendimiento promedio de 229.5 kg/ha para Guatemala, reportado durante el estudio de la situación actual de la cadena de valor de cacao en Centroamérica

(Tapia, 2016c). En un estudio sobre el análisis de la situación actual y diagnóstico de la cadena de valor de cacao se determinó que el rendimiento de los productores en Guatemala ha incrementado de 260.78 kg/ha reportado en el año 2007 a 303.03 kg/ha en el año 2014 (Salguero, 2015). En un estudio independiente sobre el levantamiento de la línea base de la cadena de valor de cacao, el rendimiento promedio reportado fue de 9.78 quintales/ha de cacao fresco (148.2 kg de cacao seco/ ha), encontrando los rendimientos de producción más altos en la ecorregión de Lachuá en comparación con las regiones de Cahabón, Polochic y Sur de Petén (Ochoa, 2015). En Centroamérica, el rendimiento promedio para Honduras es de 203.3 kg/ha (Tapia, 2016c), 260 kg/ha en El Salvador (Tapia, 2016a) y de 250-450 kg/ha para Nicaragua (Tapia, 2017).

El incremento de la productividad en las parcelas de cacao ha sido impulsado por diversos proyectos y actores a través de capacitaciones en diferentes temas, tales como: poda de árboles de cacao, control de plagas y enfermedades, siembra de plantas injertadas y materiales genéticos seleccionados, repoblación de plantaciones establecidas, renovación de árboles, optimización de distanciamientos de siembra, injertos en campo, fertilización orgánica y no orgánica. Sin embargo, a pesar de que se han logrado avances importantes en manejo de las plantaciones de cacao en la región, el rendimiento por parcela sigue siendo bajo en comparación con los rendimientos necesarios para obtener rentabilidad en el cultivo de cacao.

Espinosa-García et al. (2015) indica que el cultivo de cacao podría ser rentable en el Sur de México con una producción de más de 770 kg/ha. Por otro lado, Montes Montiel (2016), en un estudio en el departamento de Sucre en Colombia, reportó que el cultivo de cacao puede ser rentable en una extensión de 10 hectáreas con un rendimiento de 1,300 kg/ha para un ciclo de vida de 20 años, y en la provincia de Morona Santiago en Ecuador se ha reportado rentabilidad en el cultivo con un rendimiento de 1,880 kg/ha (Espinoza Chávez y Sichique Sánchez, 2013). Orozco-Aguilar y López Sampson (2016) afirman que, para mejorar los ingresos económicos de los productores, se debe producir al menos 2,286-2,857 kg/ha de cacao seco por año.

En la ecorregión de Lachuá, el 62% de los productores entrevistados realizó la siembra de cacao por primera vez entre los años 2006 y 2008, el cual fue siembra directa por semilla (híbridos). Además, se observó que durante los años 2013 a 2018, el 38% de las personas entrevistadas sembraron cacao por primera vez. Durante este segundo periodo de siembra todas las plantaciones de cacao fueron injertadas previo a la siembra.

El promedio general de cultivos producidos por agricultor fue de 2.43 especies diferentes cultivadas por cada agricultor de cacao entrevistado. El promedio de otros cultivos (adicionales al cacao) producidos por agricultor mostró diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre ASOSELNOR y ASODIRP (Cuadro 7). La asociación ASOSELNOR presentó la mayor diversificación en producción de cultivos (2.69 cultivos diferentes al cacao), seguida de KATBALPOM (2.64) y ASODIRP (2.00) (Cuadro 8).

El porcentaje de los cultivos adicionales al cacao producidos por los agricultores, en orden de importancia son: cardamomo (59.5%), maíz (45.2%), potreros para ganado bovino (11.9%), frijol (7.1%), forestales (7.1%), naranja (2.4%), pimienta (2.4%), piña (2.4%), plátano (2.4%), y chile (2.4%). Las asociaciones, que más reportaron producir cardamomo fueron ASOSELNOR (69.2%), seguida por ASODIRP (66.7%) y KATBALPOM (42.9%). Por otro lado, la asociación que más reportó producción de maíz fue KATBALPOM (57.1%), seguida de ASOSELNOR (53.8%) y ASODIRP (26.7%).

El incremento en el consumo de alimentos de origen animal mejora la calidad de la dieta alimenticia en las familias del área rural. Sin embargo, en muchos casos esta fuente de alimentos continúa siendo inaccesible e inasequible principalmente para mujeres y niños del área rural (Dumas et al., 2018). Por esta razón, la producción pecuaria en las familias del sector rural juega un papel importante para el mejoramiento de la seguridad alimentaria y nutricional.

En el presente estudio se analizó la diversidad en la producción pecuaria de las familias productoras de cacao. La producción de pollos fue reportada por el 81% de las familias, cerdos (21.4%), patos (11.9%), bovinos (9.5%), pavos (7.1%), y peces (2.4%). La asociación que reportó el promedio de producción de pollos más alto fue ASOSELNOR (92.3%), seguida de ASODIRP (80%) y KATBALPOM (71.4%). La producción de cerdos fue mayor en ASODIRP (40%), seguida de ASOSELNOR (23.1%) y KATBALPOM (0%). La producción de peces únicamente se reportó en ASODIRP (20%) y la producción de patos se reportó únicamente en ASOSELNOR (30.8%) y ASODIRP (6.7%). En general, existió diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre el número de especies animales producidas entre las asociaciones (Cuadro 7). El promedio más alto de diversificación de producción animal se observó en la asociación ASOSELNOR (1.62 especies animales en producción/persona) y ASODIRP (1.53 especies animales en producción/persona), seguido KATBALPOM (0.86 especies animales en producción/persona) (Cuadro 8). En la región de Olancho en Honduras, el 66.1% de los productores reportaron la tenencia de animales para consumo y como ingreso adicional, principalmente debido a la producción y comercialización de bovinos (Sobalbarro-Figueroa et al., 2020). Además, los productores de esta región también reportaron la producción de cabras, ovejas, cerdos y aves para la obtención de ingresos adicionales y para autoconsumo.

Cuadro 7. Probabilidad de los valores F del análisis de varianza para las variables de característica de la producción de cacao.

Variable	Valor F/ Valor Estadístico	Significancia
Tenencia de terreno	5.488*	0.013
Área de producción de cacao	2.633	0.085
Producción de cacao por hectárea	0.413	0.665
Número de cultivos producidos	4.198	0.022
Especies animales producidas	6.456	0.004

*Se realizó prueba de Welch debido a las características de la varianza.

Cuadro 8. Separación de medias¹ para variables de producción por asociación.

Asociación	Área total del terreno (mz)	Área de producción de cacao (ha)	Producción de cacao (qq/ha)	Número de cultivos producidos	Especies animales producidas
ASODIRP	38.73 ± 37.48 ^a	2.91 ± 2.0 ^a	16.33 ± 12.8 ^a	2.00 ± 0.54 ^b	1.53 ± 0.64 ^a
ASOSELNOR	17.03 ± 18.90 ^{ab}	1.44 ± 1.5 ^a	11.25 ± 15.4 ^a	2.69 ± 0.75 ^a	1.62 ± 0.65 ^a
KATBALPOM	08.64 ± 05.92 ^b	2.04 ± 1.6 ^a	16.08 ± 9.4 ^a	2.64 ± 0.84 ^{ab}	0.86 ± 0.53 ^b

¹ Valores con igual letra no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

El 16.7% de productores entrevistados dijo poseer plantaciones híbridas (no injertadas), las cuales fueron establecidas principalmente durante los primeros proyectos que impulsaron el cultivo de cacao entre los años 2005 y 2007, en el marco del Proyecto Laguna Lachuá, implementado por UICN-INAB y apoyado por la cooperación de Holanda (UICN, 2013). Por otro lado, el 40.5% de productores dijo poseer únicamente plantaciones de cacao injertadas, las cuales fueron promovidas inicialmente por el proyecto “Desarrollo de la cadena productiva de cacao para el mejoramiento de los medios de vida y la conservación de los corredores biológicos de la ecorregión Lachuá” ejecutado por UICN, en el cual se impulsó la identificación y registro de materiales genéticos y establecimiento de un jardín clonal para la producción de material genético para clonación y producción de más de 130,000 plantas injertadas durante los años 2013 y 2015 (UICN, 2013). Finalmente, el 42.9% reporto tener ambos tipos de plantación, cacao híbrido e injertado, lo que muestra la transición y el mejoramiento de las prácticas agrícolas del cultivo de cacao. El impulso del cultivo de cacao injertado se debe a que se ha observado que el uso de materiales híbridos presenta problemas de compatibilidad, baja producción y susceptibilidad a enfermedades (Pérez Siquinajay, 2015).

Los resultados mostraron que no existió diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) en el porcentaje de productores que cuenta con plantaciones híbridas, injertadas o ambas en las diferentes asociaciones (Cuadro 9), lo cual se debe a que el proyecto fue impulsado a nivel de ecorregión bajo los mismos lineamientos en las diferentes comunidades ya que las asociaciones presentes en las diferentes comunidades forman parte de FUNDALACHUA, que es una organización de segundo nivel, la cual coordina la estrategia del cultivo de cacao en la región.

La mayoría de los productores (71.4%) no tiene conocimiento sobre el tipo de material genético propagado y sembrado en sus plantaciones, el 16.7% identificó sus materiales genéticos como criollos, forasteros o trinitarios, el 7.1% como

CATIE's, ICS o árboles superiores, y el 4.8% como CATIE's (Cuadro 10). El nivel de desconocimiento del material genético fue diferente en las tres localidades evaluadas (Cuadro 9), el cual puede estar relacionado con los bajos niveles de educación reportados previamente por los productores de la región, ya que este factor juega un papel importante en el nivel de innovación y aceptación de nuevas tecnologías e información. Durante el proyecto “Desarrollo de la cadena productiva de cacao para el mejoramiento de los medios de vida y la conservación de los corredores biológicos de la ecorregión Lachuá” ejecutado por UICN, se identificaron y marcaron más de 180 árboles superiores en las diferentes comunidades productoras de cacao y además se estableció un jardín clonal con materiales genéticos identificados del CATIE y otros materiales regionales, los cuales fueron utilizados para la propagación de las nuevas plantaciones de cacao injertadas a partir del año 2013 (UICN, 2013).

Las razones por las cuales los productores no poseen conocimiento del material genético propagado pueden ser diversas, entre las cuales se puede mencionar: bajo nivel de educación de los productores, falta de registros en parcelas, baja o nula planificación, rotulación y diseño deficiente durante el establecimiento de las plantaciones, diversidad en los materiales genéticos utilizados durante la propagación, falta de comunicación entre las organizaciones productoras de plantas y productores, bajo acceso a la información y bajo nivel de información disponible.

El proyecto inicial de establecimiento de plantaciones de cacao entre los años 2005 y 2007 se realizó mediante la propagación de plantas vivero. Durante esta fase inicial las plantas fueron propagados por semilla (no injertadas). Los cruces de materiales genéticos se realizaron debido a sus características de comportamiento productivo, adaptabilidad al medio y tolerancia a algunas enfermedades y plagas, los materiales utilizados en la mezcla fueron doce: CATONGO, CC-18, IMC-67, UF-12, UF-613, UF-296, UF-654, UF-677, UF-668, POUND -7, POUND 12, y SPA-9, lo cual refleja la

Cuadro 9. Prueba de Chi cuadrado para variables de producción de cacao.

Variable	Valor	Significancia
Tipo de siembra por asociación	4.017	0.404
Genética por asociación	28.684	0.000
¿Fertiliza la plantación de cacao?	7.409	0.025
¿Qué método de comercialización de cacao en baba prefiere?	12.192	0.002
¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe?	2.039	0.361
¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado?	25.993	0.000
¿Está considerando sembrar más cacao?	0.916	0.633

diversidad de la mezcla de material genético introducido inicialmente a la ecorregión de Lachuá (UICN, 2011).

El 16.7% identificó sus plantaciones como criollos, forasteros o trinitarios (Cuadro 10), lo cual refleja un nivel de conocimiento general sobre la clasificación de material genético de cacao que ha sido adquirido a través de las diferentes capacitaciones, y que muestra el interés y el potencial de aprendizaje de los productores en temas de genética de las plantaciones de cacao. Esto refleja la necesidad de generación de conocimiento local sobre identificación de materiales genéticos por medio de análisis fenotípicos y genotipos de los principales materiales de la región, así como la actualización y capacitación constante de los promotores y técnicos de campo sobre información actual sobre temas de genética de cacao, para que puedan transmitir a los productores información precisa y de actualidad.

Tradicionalmente, dos grupos genéticos principales, "Criollo y "Forastero" han sido definidos basados en análisis morfológicos y origen geográfico. Un tercer grupo, "Trinitario" ha sido definido como el híbrido de "Criollo X Forastero". Sin embargo, una nueva reclasificación de los materiales genéticos de cacao ha sido propuesta por Motamayor et al. (2008), la cual consiste en la agrupación del germoplasma en 10 clústeres o grupos genéticos incluyendo: Amelonado, Contamana, Criollo, Curaray, Guiana, Iquitos, Marañón, Nacional, Nanay y Purús; esta clasificación refleja con más precisión la diversidad del germoplasma de cacao permitiendo un mejor manejo de la propagación de materiales.

Con relación al uso de fertilizantes (orgánicos o inorgánicos), únicamente el 11.9% utiliza algún tipo de fertilizante en la producción de cacao (Cuadro 10) y el 88.1% no fertiliza sus plantaciones. Estos resultados son similares a los reportados por Lanz y Granado (2009), quienes reportaron que en el estado de Sucre en Venezuela, únicamente el 19% de los productores realiza aplicación de fertilizantes en su plantación. Entre los productos utilizados estaban, fórmulas completas, abonos foliares, y abonos orgánicos elaborados a partir de estiércol de animales. El incremento de la productividad de cacao por hectárea, a través de diferentes actividades como la fertilización, ha sido parte importante en los diferentes proyectos de impulso del cultivo de cacao. Sin embargo, el uso de insumos agrícolas, incluyendo fertilizantes, sigue siendo un reto para los productores de la región, principalmente en la producción orgánica (Tapia, 2016c). La falta de planes de nutrición, selección de materiales productivos, distanciamientos de siembra, y manejo de podas pueden ser alguno de los motivos de los bajos rendimientos de cacao en la región.

Los resultados mostraron que existe diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) entre el porcentaje de personas que fertilizan y no fertilizan las plantaciones de cacao en las

asociaciones (Cuadro 9). La asociación que reportó el mayor uso de fertilizante fue ASOSELNOR (30.8%), seguida de KATBALPOM (7.1 %) y ASODIRP (0%) (Cuadro 10). El impulso de la producción de cacao orgánico certificado fue impulsado por primera vez por UICN, a través de la certificación de 35 parcelas o fincas de cacao durante el año 2013. Esta primera experiencia en certificación permitió sentar las bases y mostrar el potencial de acceso a mercados de alto valor de la ecorregión de Lachuá (UICN, 2013). Durante el año 2016 se realizó la segunda certificación orgánica de la región apoyada por el socio comercial de FUNDALACHUA, la cual permitió que el cacao de la región fuera el primer cacao certificado orgánico de Guatemala comercializado en el mercado internacional. La certificación orgánica permite que el cacao se cotee a precios especiales, superiores al cacao convencional, creando una ventaja competitiva para la región. Sin embargo, a pesar de este éxito regional en la incursión de mercados de alto valor, todavía existen retos en el incremento de la productividad de las parcelas de cacao certificadas orgánicas, los rendimientos de cacao siguen estando por debajo de los rendimientos mínimos requeridos para un modelo de negocios sostenible. De acuerdo con Tapia (2016c), no existen distribuidores especializados para la producción orgánica de cacao, en función de las distintas etapas de desarrollo. En general la producción de abonos y fertilizantes de tipo orgánico es limitada, se requiere de la certificación y registro de otros insumos agropecuarios que se necesitan para la producción orgánica (Tapia, 2016c). La falta de diseños de planes de nutrición y fertilización para plantaciones orgánicas y no orgánicas (convencionales) ha sido una de las limitantes priorizadas en el eslabón de producción de la cadena de valor de cacao en Guatemala (Tapia, 2016b).

Es importante impulsar la certificación orgánica de plantaciones de cacao, complementada con paquetes tecnológicos para producción de cacao orgánico, que incluya el uso de fertilizantes, así como otros insumos agrícolas que cumplan con las regulaciones establecidas en los sistemas de control interno y reglamentos de la certificación orgánica. Por otro lado, en la ecorregión existen productores que poseen dos tipos de plantación, certificado orgánico y no certificado orgánico. Para ambos sistemas de producción debe existir un paquete tecnológico establecido para la producción de cacao y de esta manera mejorar la productividad por parcela independientemente del sistema de producción seleccionado.

La ecorregión de Lachuá cuenta con un centro de acopio para el procesamiento centralizado de cacao en baba en cada una de las asociaciones de estudio (KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR), las cuales fueron construidas en el año 2012 con apoyo financiero de Ministerio de Economía-FUNDASITEMAS y CATIE (UICN, 2013) y han recibido remodelaciones y contribuciones de diferentes actores directos e indirectos de la cadena para el fortalecimiento de la

Cuadro 10. Tabla de contingencia para variables de producción por asociación.

			Asociación			TOTAL
			KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	
Genética	CATIE's	Conteo	1	0	1	2
		%	7.1	0.0	7.7	4.8
	CATIE's, ICS, Arboles superiores	Conteo	3	0	0	3
		%	21.4	0.0	0.0	7.1
	Criollos, Forasteros y Trinitarios	Conteo	0	0	7	7
		%	0.0	0.0	53.8	16.7
	No sabe	Conteo	10	15	5	30
		%	71.4	100.0	38.5	71.4
Total		Conteo	14	15	13	42
		%	100.0	100.0	100.0	100.0
¿Fertiliza?	No	Conteo	13	15	9	37
		%	92.9	100.0	69.2	88.1
	Sí	Conteo	1	0	4	5
		%	7.1	0.0	30.8	11.9
Total		Conteo	14	14	15	42
		%	100.0	100.0	100.0	100.0
¿Qué método de comercializa- ción de cacao en baba prefiere?	Drenado	Conteo	2	8	0	10
		%	14.3	53.3	0.0	25.6
	No drenado	Conteo	12	7	10	29
		%	85.7	46.7	100.0	74.4
Total		Conteo	14	15	10	39
		%	100.0	100.0	100.0	100
¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado?	Competencia de mercado	Conteo	0	2	10	12
		%	0.0	13.3	76.9	28.6
	Mejorar el precio	Conteo	13	13	3	29
		%	92.9	86.7	23.1	69.0
	Exceso de oferta	Conteo	1	0	0	1
		%	7.1	0.0	0.0	2.4
Total		Conteo	14	15	13	42
		%	100.0	100.0	100.0	100.0

capacidad de procesamiento de cacao. El sistema de procesamiento es centralizado, es decir que la fermentación y secado del cacao se realiza en el centro de fermentación de cada asociación, esto permite tener mejor control de la calidad y consistencia del producto.

Durante la cosecha las organizaciones establecen un calendario de compra, el cual consiste en la compra de cacao cada dos semanas (15 días) durante los primeros y los últimos meses de la época de cosecha (época de baja producción), y cada semana (siete días) durante los meses de alta producción. Dependiendo de la asociación, los

productores llegan a los centros de procesamiento para la venta del cacao y en otros casos, las asociaciones utilizan vehículos para la compra y visitan diferentes zonas de las comunidades durante las fechas de compra. Los sistemas de comercialización de cacao son diferentes en las asociaciones, principalmente en KATBALPOM, la cual cubre una región geográfica mayor debido a que los productores de cacao se encuentran dispersos en diferentes comunidades. Por lo tanto, la estructura de costos de cada asociación requiere de sistemas de comercialización y precio diferentes, que se ajusten a las necesidades de cada organización.

En la comercialización de cacao fresco (en baba) en la ecorregión se han implementado dos sistemas, la compra de cacao drenado (sin líquido o baba) y cacao no drenado (con líquido o baba), la cual influye considerablemente en el peso de cacao pagado a cada productor, esto debido a que el contenido de baba o líquido en el producto depende del tiempo entre la cosecha de las mazorcas de cacao, apertura y pesado del producto al momento de la compra. Este periodo de tiempo entre la cosecha y la venta se ve afectada por diversos factores, entre los que se pueden mencionar: distancia (ubicación) de la parcela o finca de cacao de cada productor, disponibilidad de mano de obra durante la cosecha, área a cosechar, y ubicación en la ruta de compra de cacao de la asociación (al inicio o al final del día de compra). Todos los factores mencionados anteriormente impactan en el peso al momento de la venta y por lo tanto en el nivel de conformidad de los productores en el tipo de comercialización de cacao en baba (drenado o no drenado).

En este caso, los resultados mostraron que la mayoría de los productores (74.4%) prefiere la comercialización de cacao no drenado y únicamente el 25.6% prefiere la otra modalidad de comercialización (Cuadro 10). Sin embargo, estos resultados fueron diferentes ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la localidad de procesamiento (Cuadro 9). Las asociaciones que prefieren la comercialización de cacao fresco (no drenado) fueron KATBALPOM (85.7%) y ASOSELNOR (100%). Por otro lado, en la asociación ASODIRP la mayoría (53.3%) de los productores entrevistados prefiere la comercialización de cacao drenado.

Según Say y Villalobos (2012) los precios de cacao (fermentado o lavado) variaron de Q750.00 a Q1,000.00 por quintal en el año 2,007 y de Q650.00 a Q1,400.00 por quintal para el año 2,012. Esta variabilidad en el precio del producto en el mercado fue confirmada posteriormente por Ochoa (2015), quien reportó que el precio de cacao se encontraba en un rango de Q700.00 a Q1,350.00 por quintal de cacao dependiendo del área de producción y la calidad de los granos. Por esta razón, el mejoramiento de calidad y consistencia del cacao para la búsqueda de mercados diferenciados ha sido impulsado con éxito como alternativa sostenible para la comercialización de cacao en la región.

El primer contrato de exportación de cacao de Lachuá, y en general la primera exportación de cacao por asociaciones de pequeños productores de cacao en la historia reciente, se realizó en el año 2013 en un contrato establecido entre FUNDALACHUA y la empresa Lake Champlain Chocolates de Estados Unidos, con lo cual se logró exportar 6.07 toneladas métricas (1 TM=22 qq) con un ingreso líquido para la región de \$ 19,445.81 (UICN, 2013).

Sin embargo, luego de seis años exportando cacao al mercado internacional, de acuerdo con los resultados del presente estudio, el 63.9% de los productores encuestados respondió no estar conforme con el precio actual de compra de cacao. Además, se observó que no existe diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) en la respuesta relacionada a la conformidad de los productores sobre el precio actual que reciben por venta de cacao en baba entre las tres asociaciones de estudio (Cuadro 9), lo cual indica la no conformidad generalizada entre los productores con relación al precio actual de cacao. Según ACG (2016), de acuerdo con los ingresos reportados de productores que están exportando o vendiendo su producto, semilla de cacao, el precio por tonelada métrica a nivel nacional oscila entre \$ 2,800.00 a \$ 3,500.00. Con relación a la venta de producto para exportación, el precio por tonelada oscila entre \$ 3,500.00 a \$ 4,300.00.

El 100% de los productores entrevistados expresó su interés en tener acceso a mejores opciones de mercado. Los resultados mostraron que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre las razones por las cuales los productores de cacao creen necesario tener más opciones de mercado (Cuadro 9). Las principales razones expresadas por los agricultores fueron (Cuadro 10): mejorar el precio de cacao en baba (69.0%), incrementar la competencia de mercado para fortalecer las capacidades de negociación de los productores (28.6%) y más opciones de comercialización debido al exceso de oferta de cacao (2.4%).

Con relación al interés en incrementar el área destinada a la producción de cacao por parte de los productores, el 45% de los productores dijo estar interesado en incrementar el área de producción de cacao y el 55% dijo no estar interesado en continuar la expansión de este cultivo. Los resultados mostraron que no existe diferencia entre el interés en la siembra de cacao en las diferentes asociaciones (Cuadro 9). La asociación que expresó menos interés en incrementar el área de producción de cacao fue KATBALPOM (64.3%). Por otro lado, el interés en el incremento del área de producción se encuentra dividido entre los socios de las organizaciones ASODIRP y ASOSELNOR. Relacionado a interés de los productores en explorar nuevas oportunidades de valor agregado a los granos de cacao, el 97.6% de los entrevistados expresaron su interés en la producción de chocolate o productos derivados. Entre las principales razones expresadas por los productores están: mejorar el ingreso económico de las familias, mejorar el precio de cacao en grano, y agregar valor a la materia prima producida en la región.

CONCLUSIONES

- Las tres localidades evaluadas presentaron similares condiciones socioeconómicas, especialmente relacionadas al ingreso económico, tamaño de familia, nivel de educación, área de producción y rendimiento de cacao por hectárea. Los resultados muestran que, a pesar de las diferentes iniciativas implementadas en la región, todavía prevalece la brecha de ingresos económicos entre hombres y mujeres, así como los bajos niveles de educación formal entre los productores de cacao y bajos niveles de tecnificación agrícola.
- Los productores de cacao, también se dedican a otros cultivos para generar ingresos económicos y para producción de alimentos para consumo propio. En promedio se observó que producen dos especies de cultivos adicionales al cacao. Además de la diversificación agrícola, las familias también se dedican a la producción de especies animales y en promedio poseen una especie animal para consumo propio

o comercialización. Esto refleja que los ingresos económicos de los productores no dependen únicamente del cultivo de cacao, sino que también de otros cultivos o animales en producción. El sistema de producción de cacao en esta región continúa siendo de subsistencia debido a los bajos rendimientos por hectárea, pequeñas extensiones de producción, y bajos nivel tecnificación, especialmente en temas de nutrición vegetal. En conjunto, estos factores no permiten al cacao ser todavía un modelo de negocio rentable y esto se ve reflejado en la inconformidad de los productores en el precio de venta y en la baja motivación para continuar con la expansión del cultivo. Por esta razón es importante desarrollar modelos de negocio basados en las características específicas de la región para determinar la extensión de producción mínima, el rendimiento mínimo por área y los paquetes tecnológicos necesarios para considerar al cacao un modelo de negocio rentable.

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de investigación fue posible gracias a la colaboración de los actores del Grupo de Trabajo Norte de la Cadena de Valor de Cacao de Guatemala; a la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA) y sus asociaciones de base (ASODIRP, ASOSELNOR y KATBALOM). Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

por el financiamiento del proyecto a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en Guatemala; y al Centro Universitario del Norte CUNOR-USAC a través del Departamento de Estudios de Postgrado.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, K. (2010). Compartiendo experiencias. *Proyecto Laguna Lachuá*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. <https://www.iucn.org/regions/mexico-central-america-and-caribbean>.
- Agrocadena de Cacao de Guatemala. (2016). *Plan estratégico de la agrocadena de cacao de Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt/download/enac16-25.pdf>
- Aguilar-Gallegos, N., Rodríguez, M., Santoyo, H., y Jorge, A. (2013). Influencia del perfil de los productores en la adopción de innovaciones en tres cultivos tropicales. *Teuken Bidikay*, 4, 207-228.
- Carrera, F. (2019). *Bosques Modelo Guatemala*. Red Latinoamericana de Bosques Modelo. Retrieved Diciembre 1, 2020 from <http://www.bosquesmodelo.net/lachuá/>
- Castillo, M., Legarreta-Gonzalez, M., Olivas-García, M., y García-Fernández, F. (2020). Análisis de la eficiencia técnica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Caso de la región norte centro de Nicaragua. *Custos e Agronegocio*, 16, 29-40.
- Contreras Marín, B. H. (2008). *EL subsector cacao en Guatemala, diagnóstico y estrategia futura*. <http://cadenacacaoca.info/estudios-cacao/>
- Díaz Quintana, A. R. (2009). *Fortalecimiento de la cadena productiva de cacao (Theobroma Cacao L.) con énfasis en la determinación de la presencia de la enfermedad moniliasis (Moniliophthora roreri Evans et al.) en Santa María Cahabon, Alta Verapaz* Tesis pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Dumas, S. E., Lewis, D., y Travis, A. J. (2018, 2018/10/01). Small-scale egg production centres increase children's egg consumption in rural Zambia. *Maternal & Child Nutrition*, 14(S3), e12662. <https://doi.org/10.1111/mcn.12662>
- Espinosa-García, J. A., Uresti-Gil, J., Vélez-Izquierdo, A., Moctezuma-López, G., Inurreta-Aguirre, H. D., y Góngora-González, S. F. (2015). Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6, 1051-1063. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500012&nrm=iso

- Espinoza Chávez, M. C., y Sichique Sánchez, D. J. (2013). *Estudio de factibilidad del posicionamiento y comercialización de la producción de cacao fino de aroma en la hacienda "Puerto Morona" en la provincia de Morona Santiago* Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5291/1/UPS-CT002764.pdf>
- Hawkins, D., y Chen, Y. (2016). *Destruction by chocolate*. <https://www.agronomycapitaladvisors.com/>
- Hernandez, J. A. (1981). *Análisis de la tecnología empleada en la producción de cacao (Theobroma cacao L.) en el municipio de San Antonio Suchitepequez, Suchitepequez* Tesis pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística. (2021). *Canasta Básica Alimentaria (CBA) y Canasta Ampliada (CA) diciembre de 2021*. <https://www.ine.gov.gt/ine/>
- International Cocoa Organization. (2018). *Berlin Declaration Fourth World Cocoa Conference*. International Cocoa Organization. <https://www.worldcocoaconference.org/>
- International Cocoa Organization. (2019). *Deliberations of the 2019 Ad Hoc Panel on the review of the Annex "C" of the International Cocoa Agreement 2010*. International Cocoa Organization. <https://www.icco.org/>
- Kupferschmied, K., Fromm, I., y Rouanet, A. (2018). Estudio socioeconómico de un proyecto de reforestación implementado con pequeños productores de cacao en Honduras. *Ceiba*, 55, 28. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v55i1.5449>
- Lanz, O., y Granado, Y. (2009). Diagnóstico agrosocioeconómico del sector cacao (*Theobroma cacao L.*) en Yaguaraparo, municipio Cajigal, estado Sucre, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9, 425-435. <http://udoagricola.orgfree.com/V9N2UDOA/V9N2Lanz425.pdf>
- Montes Montiel, C. J. (2016). *Estudio de factibilidad para la producción y exportación de cacao en el municipio de Sincelejo-Sucre* Tesis de maestría. Universidad EAFIT. <https://core.ac.uk/download/pdf/94314615.pdf>
- 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), e3311. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Muñoz Razo, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis* (L. Figueroa Gaona, Ed. 2da ed.). Pearson. <http://www.indesgua.org.gt/>
- Narciso Cruz, R. D. (2015). *República de Guatemala: Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014*. Instituto Nacional de Estadística. <https://www.ine.gov.gt/>
- Ochoa, W. (2015). Línea base de cadena del cultivo de cacao. Proyecto "Fortalecimiento de la productividad de la micro, pequeña y mediana empresa". Ministerio de Economía. Gobierno de Guatemala. 85 p.
- Orozco-Aguilar, L., y López Sampson, A. (2016). *Colección de esquinas técnicas para la mejora productiva del cacao-2016*. 14 Fichas técnicas. VECO Mesoamérica. Nicaragua. 56 p.
- Pérez Siquinajay, J. C. (2015). *Caracterización de seis clones de cacao (Theobroma cacao L.), bajo las condiciones del centro de agricultura tropical Bulbuxyá, San Miguel Panán, Suchitepéquez*. Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2327/1/PerezSiquinajayJulioCesar.pdf>
- Salguero, B. (2015). Análisis de la situación actual y diagnóstico de la cadena de valor de cacao. Proyecto "Fortalecimiento de la productividad de la micro, pequeña y mediana empresa". Ministerio de Economía. Gobierno de Guatemala. 81 p.
- Say, E., y Villalobos, M. (2012). *Sistemas agroforestales con cacao, competitividad, ambiente y cultura: una oportunidad para mejorar la cadena productiva y la calidad de vida de familias productoras en el país, la visión del CATIE -MAP- Proyecto Cacao Centroamérica*. <https://cadenacacaoca.info/>
- Sobalbarro-Figueroa, M., García-Fernández, F., Guzmán-Rodríguez, A., Olivas-García, M., Legarreta-Gonzalez, M., y Carrillo, S. (2020). Análisis Socioeconómico de los Pequeños Productores de Cacao en Honduras: Caso APROSACAO. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v0i0848.8963>
- Somarrriba, E., Villalobos, M., Cerda, R., Astorga, C., Orozco, S., Escobedo Aguilar, A., Say, E., Dehevels, O., Orozco-Aguilar, L., Junkin, R., Villegas, R., López Sampson, A., y Salazar, J. (2013). ¿Cómo diseñamos y ejecutamos el Proyecto Cacao Centroamérica para estimular al sector cacaotero de Centroamérica? *Agroforestería en las Américas*, 49, 111-126.
- Tapia, S. (2016a). *Situación actual de la cadena de valor de cacao en El Salvador*. VECO Mesoamérica. https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/analisis_el_salvador.pdf
- Tapia, S. (2016b). *Situación actual de la cadena de valor de cacao en Guatemala*. VECO Mesoamérica. https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/analisis_guatemala.pdf
- Tapia, S. (2016c). *Situación actual de las cadenas de valor de cacao de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua desde una perspectiva regional*. VECO Mesoamérica. <http://sicacao.info/wp-content/uploads/2019/08/An%C3%A1lisis-Regional.pdf>
- Tapia, S. (2017). *Situación actual de la cadena de valor de cacao en Nicaragua*. VECO Mesoamérica. https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/070217_estudio_nicaragua.pdf
- Unión Internacional para la Conservación de Naturaleza -IUCN-. (2011). *Ficha técnica del cultivo de cacao, ecorregión de Lachuá, Guatemala*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. <https://www.iucn.org/>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -IUCN-. (2013). *Desarrollo de la cadena productiva de cacao para el mejoramiento de los medios de vida y la conservación de los corredores biológicos de la ecorregión Lachuá*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. <https://www.iucn.org/es/regiones/mexico-america-central-y-el-caribe>
- Van Tuylen, S. (2009). *Plan de investigación estratégica Eco-región Lachuá. Informe Final de Consultoría*. Guatemala: UICN-INAB. 58p.
- Villacis, A., Alwang, J., Barrera, V. H., y Dominguez, J. M. (2020). *Specialty varieties do not help small farmers, post-harvest practices do: insights from cacao value chains in Ecuador* Virginia Tech. <https://alexisvillacis.wordpress.com/>
- Wessel, M., y Quist-Wessel, P. M. F. (2015). Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 74-75, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2015.09.001>
- Yahaya, A., Karli, B., y Gul, M. (2015). Economic analysis of cocoa production in Ghana: The case of eastern region. *Custos e Agronegocio*, 11, 336-352.

NOTA TÉCNICA

ACUMULACIÓN DE CADMIO EN CACAO: UNA BARRERA A SUPERAR PARA LA EXPORTACIÓN DEL GRANO Y SUS DERIVADOS

Rolando Cifuentes Velásquez
rcifuen@uvg.edu.gt,

Isabel Alonzo Flores
ialonzo@uvg.edu.gt

Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios - CEAA

El cadmio es un metal pesado que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza. La problemática de este elemento, no esencial y sin función metabólica alguna en las plantas, radica en su elevada toxicidad, su larga vida media y en la capacidad para ser acumulado por los seres vivos (Capó, 2007).

Principales fuentes de Cd

Es ampliamente reportado en la literatura (Meter *et al.*, 2019) que la acumulación de este elemento en la

naturaleza proviene de diferentes fuentes, incluyendo fuentes naturales y antropogénicas (Figura 1). Entre las fuentes naturales se incluyen las erupciones volcánicas, la meteorización de las rocas que más adelante dan origen al suelo mineral, la deposición de sedimentos por erosión y las cenizas de incendios forestales. Las fuentes antropogénicas están asociadas al uso de insumos agrícolas, a la actividad industrial (minería, fundición y combustibles fósiles) y al reciclaje de la hojarasca y cáscaras de cacao ricas en Cd.

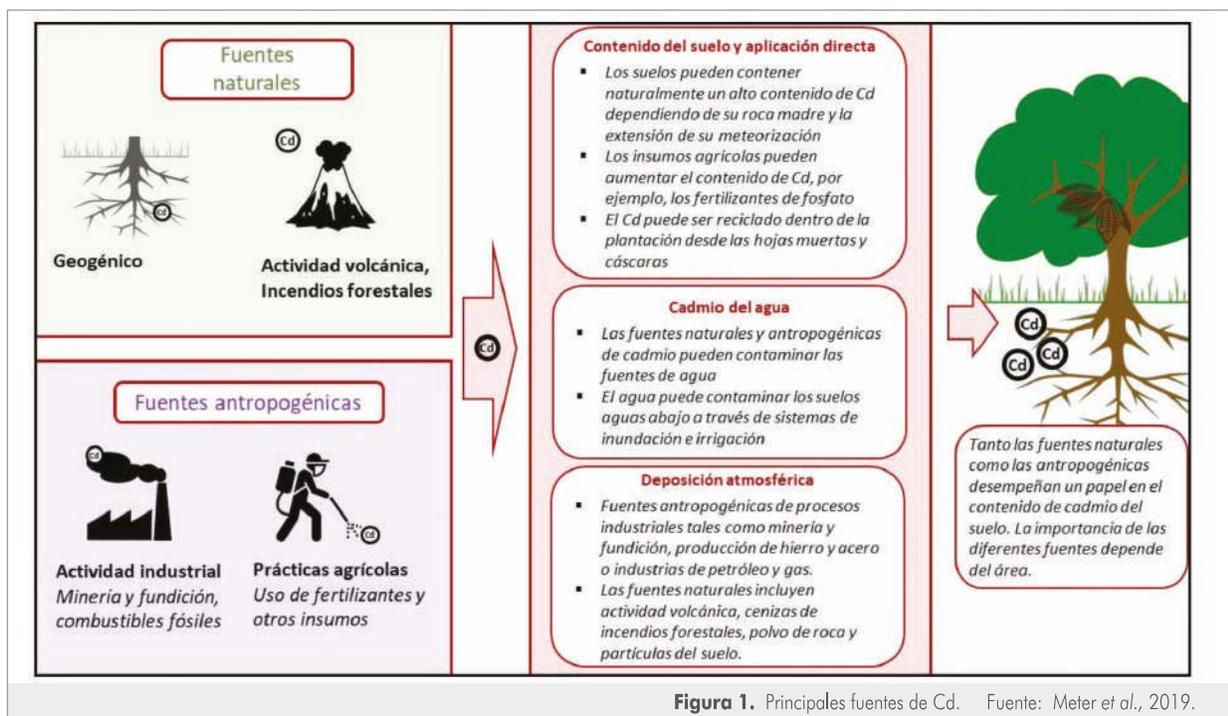


Figura 1. Principales fuentes de Cd. Fuente: Meter *et al.*, 2019.

Se ha determinado que las concentraciones de Cd en granos de cacao en las áreas productoras difieren en todo el mundo. Estas tienden a ser más altas en América Latina, seguido por Asia y por último África. El fuerte efecto del origen geográfico sugiere que el Cd en el cacao generalmente no se origina de la actividad antropogénica, ya que estas actividades ocurren a nivel mundial. De hecho, múltiples investigadores han encontrado que las altas concentraciones de Cd en el suelo están asociadas con suelos aluviales de material sedimentario. La concentración de Cd en algunas rocas y minerales se presentan en el cuadro 1 (CODEX, 2020).

Aunque algunos autores han sugerido que el uso de fertilizantes, es una de las fuentes principales de Cd en el suelo (Cuadro 2), Vanderschueren *et al.* (2021) sugieren que es muy poco probable que los fertilizantes fosfatados sean el principal origen de contaminación de Cd en el suelo a gran escala. Gramlich *et al.* (2017) realizaron mediciones de la concentración de Cd en fertilizantes fosfatados en un ensayo de comparación de sistemas a largo plazo en Bolivia, y encontraron una concentración media de Cd de 102 mg Cd/kg P_2O_5 . Este valor es alto en comparación con los fertilizantes disponibles en Europa con media de 28 mg Cd/kg P_2O_5 . A una dosis anual de 20 kg P_2O_5 /ha, la fertilización adicional alrededor de 2g de Cd/ha al año. Esto representa la adición neta de 0.001 mg Cd/kg de suelo al año, lo cual representa una acumulación de 0.1 mg Cd/kg de suelo después de 100 años.

Considerando que la mayoría de los productores de cacao son pequeños agricultores que no suelen utilizar fertilizantes, este escenario aparenta ser bastante irreal, por lo que este cálculo indicaría que los fertilizantes minerales no son la principal fuente de Cd en las plantaciones de cacao, o al menos no a gran escala.

Los fangos procedentes de aguas residuales que se utilizan para la agricultura (Rodríguez *et al.* (2008), al igual que el uso de enmiendas con estiércol de granja, calizas minerales y otros insumos agrícolas (CODEX, 2020) también son considerados fuentes de contaminación por Cd. (Cuadro 2).

El agua de riego también puede contener Cd. Una aplicación de riego anual de 500 mm que contenga 1 μ g Cd/L equivale a 5 g de Cd/ ha-año, lo cual conduce a una acumulación de 0.25 mg Cd/ kg suelo a un riego sostenido después de 100 años. Esta acumulación es más probable en áreas afectadas por actividades mineras (Vanderschueren *et al.*, 2021).

Con relación al aporte de Cd en la hojarasca seca de cacao, se estima una concentración promedio de 2.6 mg Cd/kg de hojarasca seca. A una producción anual de 3.8 t hojarasca

Cuadro 1. Concentración de Cd en algunas rocas y minerales.

Material	mg Cd/kg
Rocas ígneas	
Riolitas	0.03 - 0.57
Granitos	0.01 - 1.6
Basalto	0.01 - 1.6
Rocas sedimentarias	
Esquistos y arcillas	0.017 - 11
Esquistos negros	0.30 - 219
Piedras areniscas y conglomerados	0.019 - 0.4
Carbonatos	0.007 - 12
Fosforitas	10 - 980
Carbón	0.01 - 300
Rocas metamórficas	
Gneis	0.1 - 0.26
Eclogita	0.04 - 0.26
Minerales	
Esfalerita (SZn)	< 5,000
Galena (SPb)	< 5,000
Tetrahedrita - Tennantita (CuSZn)	< 2,400
Metacinnabar (HgS)	< 117,000

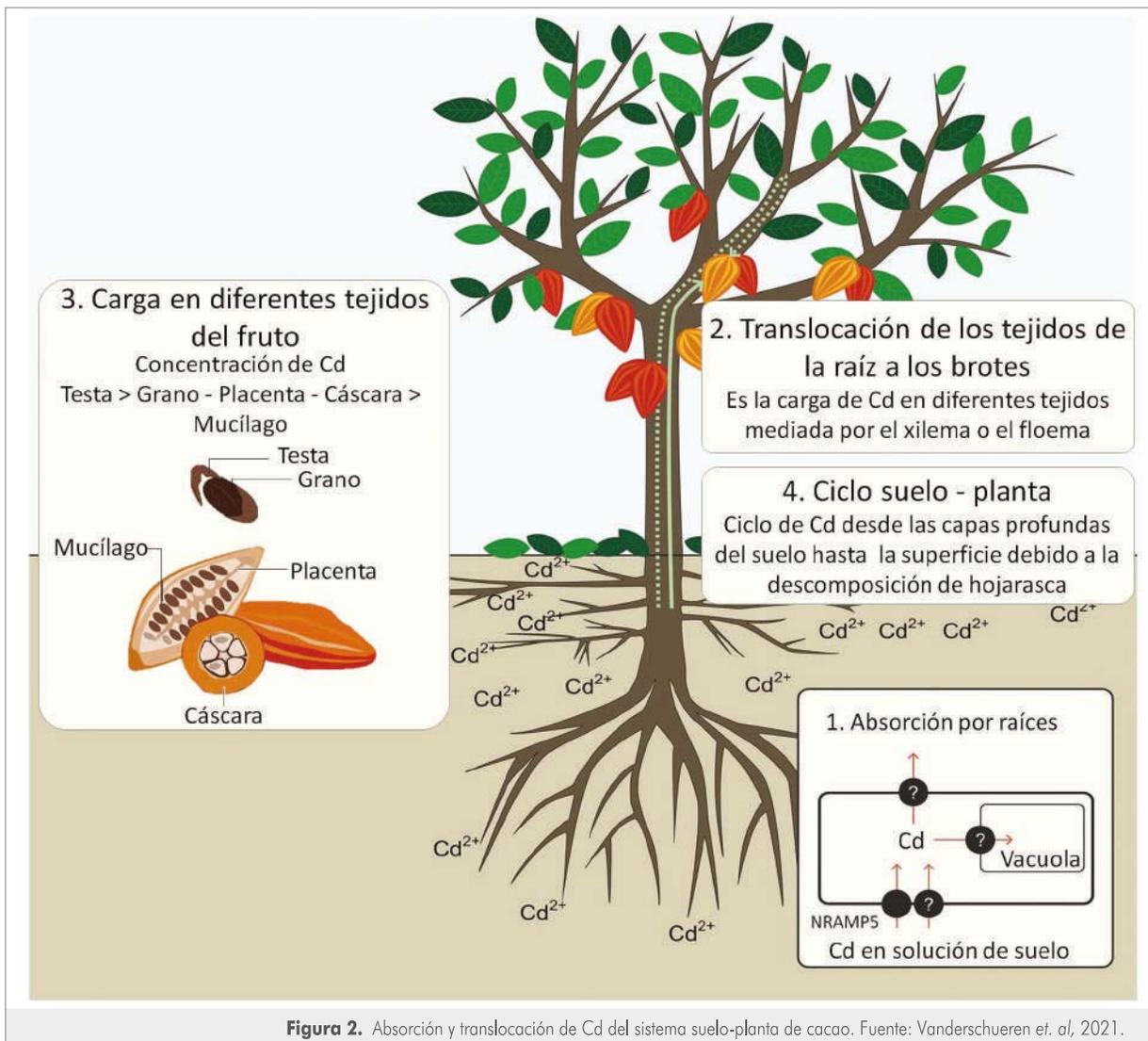
Fuente: CODEX, (2020) y Patiño (s.f)

Cuadro 2. Aporte de Cd en algunos insumos y materiales de uso agrícola.

Material	mg Cd/kg
Fertilizantes fosfatados	0.1 - 170
Fertilizantes nitrogenados	0.05 - 8.5
Productos fitosanitarios (plaguicidas)	1.38 - 1.94
Estiércol	0.3 - 0.8
Lodos de aguas residuales	2 - 1,500

Fuente: elaboración propia con datos de CODEX (2020)

seca/ha, el flujo anual de Cd devuelto al suelo sería de aproximadamente 10 g Cd/ha, el cual distribuido uniformemente a una profundidad de 15 cm de suelo aportaría alrededor de 0.005 mg Cd/kg de suelo cada año.



Contenido de Cd en el suelo

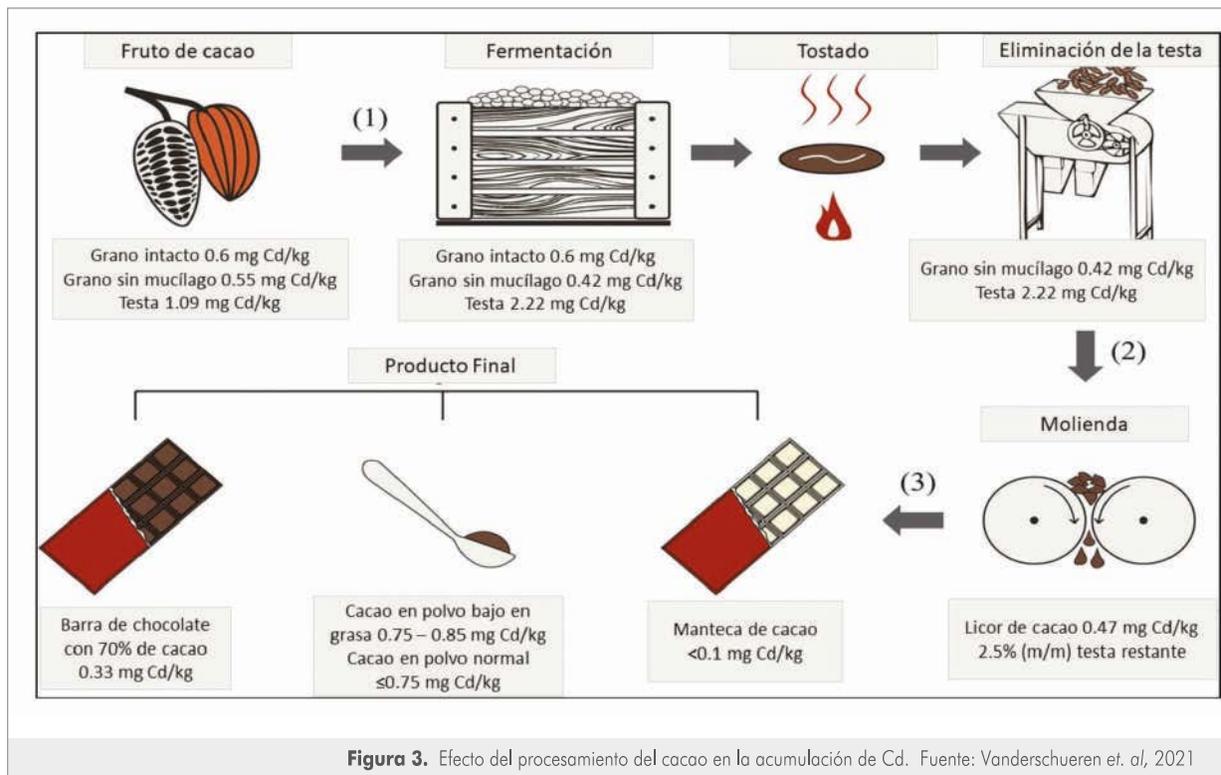
De acuerdo con Lindsay (1979), el contenido natural de Cd en el suelo varía de 0.01 a 0.7 mg Cd/kg con un promedio probable de 0.06 mg Cd/kg de suelo. Sin embargo, de acuerdo con Smolders y Mertens (2013) y He et al. (2015), el cadmio se encuentra de forma natural con concentraciones en el suelo que oscilan entre 0.1 y 1.0 mg Cd/kg y medias globales estimadas de 0.1 a 0.3 mg Cd/kg. Aunque los autores reportan diferentes valores, se reconoce que la concentración natural de Cd en el suelo es relativamente baja.

Vanderschueren et al. (2021) también reportan que varios estudios del perfil del suelo sugieren que las concentraciones de Cd en el suelo disminuyen con el aumento de la profundidad en las plantaciones de cacao. La concentración de Cd en los primeros 15 cm de suelo es aproximadamente 1.5 veces mayor que la concentración de Cd en la profundidad

15 a 60 cm. Esto podría deberse a la descomposición de hojarasca de la biomasa aérea que ha acumulado Cd, a la actividad antropogénica con el uso de insumos, o bien una combinación de ambas.

La dinámica del Cd está fuertemente afectada por el pH. En suelos ácidos el cadmio se intercambia fácilmente. Sin embargo, en suelos alcalinos este metal no es móvil ya que se precipita en forma de carbonatos y fosfatos insolubles. La fijación de Cd es mayor en los suelos con alto contenido de materia orgánica, textura fina, mayor capacidad de intercambio catiónico y menor saturación de aluminio intercambiable (Sánchez, 2016).

En Guatemala, la mayor parte de las plantaciones de cacao han sido establecidas en suelos generados a partir de roca caliza (norte de Guatemala), de origen volcánico (boca costa) o a partir de material fluvio - volcánico (partes bajas de la costa sur (González-Martínez, 2013).



Transferencia de Cd del suelo a la planta

El factor de transferencia (FT) de Cd del suelo a la planta se define como la relación entre la concentración de Cd existente en la planta o en un órgano de ella y la concentración de Cd en el suelo. El FT permite identificar las características de acumulación de Cd y permite comprender el proceso de traslocación de Cd en el sistema. Debido a los altos valores de FT suelo-planta, el cacao se ha descrito como acumulador de Cd (Vanderschueren et al., 2021).

Por ser un metal no esencial para las plantas no existen mecanismos de entrada específicos para el cadmio. Entre las proteínas responsables de la entrada de cadmio a la célula cabe destacar el transportador específico del calcio LCT1 y la proteína IRT1 transportadora de Zn y Fe. Una vez en la planta el cadmio se acumula principalmente en la raíz y va disminuyendo de manera decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas (Figura 2) (Rodríguez et al., 2008; Vanderschueren et al., 2021). En la naturaleza, las plantas no tienen un mecanismo para discriminar entre los elementos esenciales para su ciclo de vida y aquellos sin función metabólica alguna como el caso del Cd.

El Cd en el procesamiento del cacao

Según Barraza et al. (2017), en Ecuador el Cd medido en granos de cacao sin pelar y sin fermentar oscila entre 1.02 a 1.37 mg Cd/kg, mientras que en licor de cacao oscila

entre 1.47 a 3.88 mg Cd/kg. Esto significa que la concentración de Cd se incrementa después de la fermentación y del procesamiento. Yanus et al. (2014) reportan concentraciones de Cd en granos de cacao sin fermentar de 0.072 ± 0.001 mg/kg, en la testa de 0.085 ± 0.001 mg/kg y en cacao en polvo de 0.125 ± 0.011 mg Cd/kg, confirmando un incremento de cadmio después del proceso de producción.

Según Vanderschueren et al. (2021) existen 4 aspectos dentro del proceso poscosecha que pueden afectar las concentraciones de Cd en el producto final derivado del cacao (Figura 3).

Se ha sugerido que la fermentación causa la movilización de Cd dentro de los granos de cacao debido a la acidificación de la semilla de cacao, reduciendo la concentración de Cd en los granos sin mucílago, pero incrementando la concentración en la testa. La eliminación de la testa se da posteriormente al tostado mediante un proceso que rompe los granos y luego se muelen las semillas de cacao para obtener licor de cacao.

En segundo lugar es probable que la eliminación óptima de la testa de cacao reduzca la concentración de Cd en el producto final, ya que las concentraciones de Cd en la testa son generalmente mayores, en un factor aproximadamente de 2, en comparación con las concentraciones de Cd en el grano.

El tercer aspecto, es que el Cd se reparte principalmente en los sólidos de cacao sin grasa, por lo que los productos de consumo final elaborados con los mismos granos de cacao pueden tener concentraciones muy distintas según el producto previsto, es decir, las concentraciones de Cd en manteca de cacao son muy bajas, mientras que el cacao en polvo reducido en grasa contiene concentraciones altas de Cd, mayores incluso al licor de cacao y/o los granos de cacao.

Por último, una práctica muy común es mezclar el cacao de diferentes fuentes geográficas durante el proceso de producción. Considerando las diferencias regionales que existen en las concentraciones de Cd en cacao, se puede mezclar cacao de distintos orígenes para garantizar las concentraciones aceptables de Cd en el producto final. No obstante esta práctica requiere un mapeo nacional de concentraciones de Cd para poder hacer las elecciones del material a combinar.

Normativa de Cd y su impacto en el comercio

El Cd puede llegar hasta el grano de cacao y aún permanecer después del procesamiento de chocolate. Esto puede ser perjudicial para la salud humana. (Rodríguez et al., 2008).

Los productos derivados del cacao se consumen en pequeñas cantidades en comparación con alimentos básicos. Sin embargo, pueden ser consumidos de forma cotidiana por los niños, principalmente como cacao en polvo por lo que pueden llegar a ser una fuente importante de Cd en el organismo en detrimento de la salud (López et al. 2021).

La preocupación por los efectos que causa el Cd a la salud humana ha resultado en regulaciones para limitar las concentraciones de Cd en suelos y alimentos. En el año 2014, la Unión Europea (UE) aprobó una reglamentación sobre límites máximos de cadmio permitidos en cacao y

chocolate (Cuadro 3). Se trata del reglamento UE No. 488/2014, el cual modifica el reglamento CE No. 1881/2006.

Como se puede observar, los niveles máximos permitidos en las regulaciones de la UE son para productos de chocolate mas no para grano de cacao. No obstante, los compradores deben poder relacionar el nivel de Cd en el grano de cacao con el producto final. Para ello se utiliza una ecuación para estimar el nivel máximo de cadmio en la masa de cacao para que el producto del chocolate permanezca por debajo del umbral permitido (Meter et al. 2019).

$$ML_{CM} = \frac{ML_{EU.P}}{X_{\%P}}$$

En donde:

ML_{CM} = Nivel máximo de cadmio en la masa del cacao (mg/kg)

$ML_{EU.P}$ = Nivel máximo permitido de la UE en el producto terminado P (mg/kg)

$X_{\%P}$ = Porcentaje de masa de cacao en el producto terminado P

A nivel mundial la vigencia del Reglamento UE No. 488/2014 generó un impacto en el comercio. Perú reportó la disminución de exportaciones de cacao en grano y en polvo a la UE, lo cual provocó la caída de los precios de este producto. Indonesia mencionó que la norma internacional vigente para niveles de cadmio era suficiente para proteger la salud humana e instó a la Unión Europea a armonizar los niveles

Cuadro 3. Niveles máximos de Cd permisibles en productos derivados del cacao.

Producto	Nivel máximo permisible (mg Cd/kg)
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30 %	0.10
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50%; Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 30%	0.30
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 50%	0.80
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0.60

Fuente: Reglamento de la Comisión Europea 488/2014

máximos de cadmio con lo establecido en las normas, orientaciones y recomendaciones internacionales para no afectar el comercio. Ecuador Insistió en la necesidad de adoptar medidas para que el Reglamento Europeo N° 488/2014 no se convirtiera en una restricción al comercio.

A pesar de que el reglamento entró en vigor en 2015, la UE concedió un período de transición de cuatro años para el chocolate y otros productos, acatando las preocupaciones de los países productores (OMC, 2021). Esto implica que la entrada oficial del reglamento fue a partir del año 2019.

Medidas de mitigación del Cd

En diferentes países de Latinoamérica y del Caribe se han realizado estudios para identificar soluciones de mitigación para reducir los niveles de cadmio en granos de cacao.

Es poco probable que exista una solución para reducir Cd en cacao debido a la heterogeneidad en las condiciones ambientales, del suelo, manejo del cultivo y el uso de diferentes genotipos. Según Oeste et al, (2002) y Basta y McGowen (2004), la aplicación de enmiendas minerales al suelo es una medida de mitigación efectiva. Esto aumenta la proporción del metal en la fase sólida del suelo por medio de la precipitación química. La inmovilización no tiene como propósito remover el metal contaminante, sino reducir su disponibilidad y reactividad. No obstante, su incorporación es limitada debido al sistema de raíces del árbol.

Estudios del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) en Perú identificaron un total de 11 genotipos de cacao que acumularon poco cadmio y son potencialmente útiles para utilizarlos como patrón para reducir la absorción y translocación de Cd (MOCCA, 2020; Vanderschueren et al., 2021).

Según Durango et al. (2021) otra técnica de mitigación de cadmio en el suelo es mediante enmiendas orgánicas. Al incrementarse los sitios de intercambio y la formación de complejos estables, decrece la biodisponibilidad del metal para ser absorbido por la planta. Si las enmiendas contienen bases, el pH del suelo puede incrementar y de esa manera el cadmio puede estar menos biodisponible en la solución del suelo (OMC, 2021).

Canchignia et al. (2021) consideran que el enriquecimiento del microbiota del suelo mediante enmiendas como bokashi contribuyen a la inmovilización de cadmio. Así mismo, pueden encontrarse bacterias u hongos capaces de favorecer la precipitación del metal o inclusive absorber el cadmio sobre las paredes celulares.

Otras técnicas de biorremediación sugieren la aplicación de hongos formadores de micorrizas arbusculares del género *Glomus*, especialmente especies como *Diversispora spura*,

Rhizoglosum sp. y *Claroideoglosum etunicatum* los cuales pueden reducir la translocación de Cd hacia la planta (Sandoval et al., 2020).

La aplicación de zinc ya sea directamente al suelo o por aplicaciones foliares, reduce la absorción de Cd en la zona radicular debido a que se saturan los mecanismos de absorción a través de los cuales el Cd puede ingresar a la planta y por lo tanto su concentración en el grano (LATIZA, 2008).

Por último, en función del tipo y concentración de contaminantes, las condiciones del campo, nivel de limpieza requerida y tipo de planta se pueden utilizar distintos mecanismos de fitorremediación. La fitovolatilización es una técnica de descontaminación en donde las plantas absorben metales del suelo que son convertidos biológicamente en forma volátil y luego son liberados a la atmósfera por volatilización, sin embargo, el contaminante no se elimina por completo, únicamente se transfiere del suelo a la atmósfera. Otra técnica es la fito-extracción, en la cual los contaminantes son captados por las raíces (fitoacumulación) y posteriormente son translocados y/o acumulados hacia los tallos y hojas (Peña et al. 2021).

Situación del Cd en sitios productores de cacao en Guatemala

Hasta el año 2019 los estudios sobre la acumulación de cadmio en cacao en Guatemala eran prácticamente inexistentes. Como parte del proyecto Cd del Programa CRIA del IICA, en el período 2019-2021 el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios-CEAA de la UVG implementó el primer estudio en Guatemala. Se buscó conocer el estado del Cd en el suelo y su acumulación en el grano de cacao en varias regiones de Alta Verapaz. El estudio se llevó a cabo en las sub-regiones de Lachuá, Cahabón, Polochic y Lanquin, las cuales incluyen los municipios más productores de cacao de Alta Verapaz.

En general se determinó que el contenido medio de Cd en el suelo es 0.27 ± 0.31 mg Cd/kg suelo y en grano 0.82 ± 1.11 mg Cd/kg de grano seco. Alrededor del 37% de las muestras de grano presentaron un contenido de Cd superior a 0.6 mg Cd/kg, que corresponde al límite permisible para cacao en polvo de acuerdo a la normativa de la Unión Europea.

La acumulación de Cd en el grano está asociada al contenido total de Cd en el suelo y a la edad de la planta. En todas las subregiones, el contenido de Cd disminuyó con la profundidad del suelo, sugiriendo que la acumulación de Cd en los primeros 10 cm de suelo está asociado al manejo de los sitios de producción, al ciclaje de la horrajca de cacao rica en Cd o ambos. En general, la región de Lachuá es diferente a las regiones de Cahabón, Polochic y Lanquin. Se considera que los resultados constituyen un aporte importante para la comercialización del cacao de la región.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Tomando en consideración que se han identificado las principales zonas con problemas de acumulación de Cd en cacao, es importante realizar estudios encaminados a la mitigación de este elemento no esencial para las plantas y dañino a la salud humana.
- El cacao es un cultivo asociado principalmente a pequeños y medianos productores, por lo que se considera prioritario el apoyo a dicho sector.
- También se considera importante completar el mapeo de la distribución del Cd y su acumulación en las diferentes regiones productoras de cacao del país, incluyendo la región Sur occidental y El Petén.
- El problema de acumulación del Cd en el suelo y en los granos de cacao tiene solución. Se debe conocer inicialmente la condición química del suelo, y también se

debe identificar y validar las experiencias exitosas de otros países de la región, a fin de acortar la curva de aprendizaje en la búsqueda de soluciones de mitigación de este elemento.

- Tomando en consideración que el Cd es tomado por las plantas esencialmente del suelo, en la Figura 4 se presenta un diagrama que ilustra cómo las propiedades del suelo impactan sobre la acumulación de Cd. Es importante recordar que las plantas toman el Cd exclusivamente de la solución o agua del suelo. Esta fracción está en un intercambio rápido con el Cd y otros metales adsorbidos en el complejo de intercambio de los coloides orgánicos (humus) e inorgánicos (principalmente arcillas) del suelo. La reducción de la fracción de Cd en la solución del suelo y en el complejo de intercambio es prioritario para reducir la disponibilidad y la acumulación de Cd en el grano del cacao.

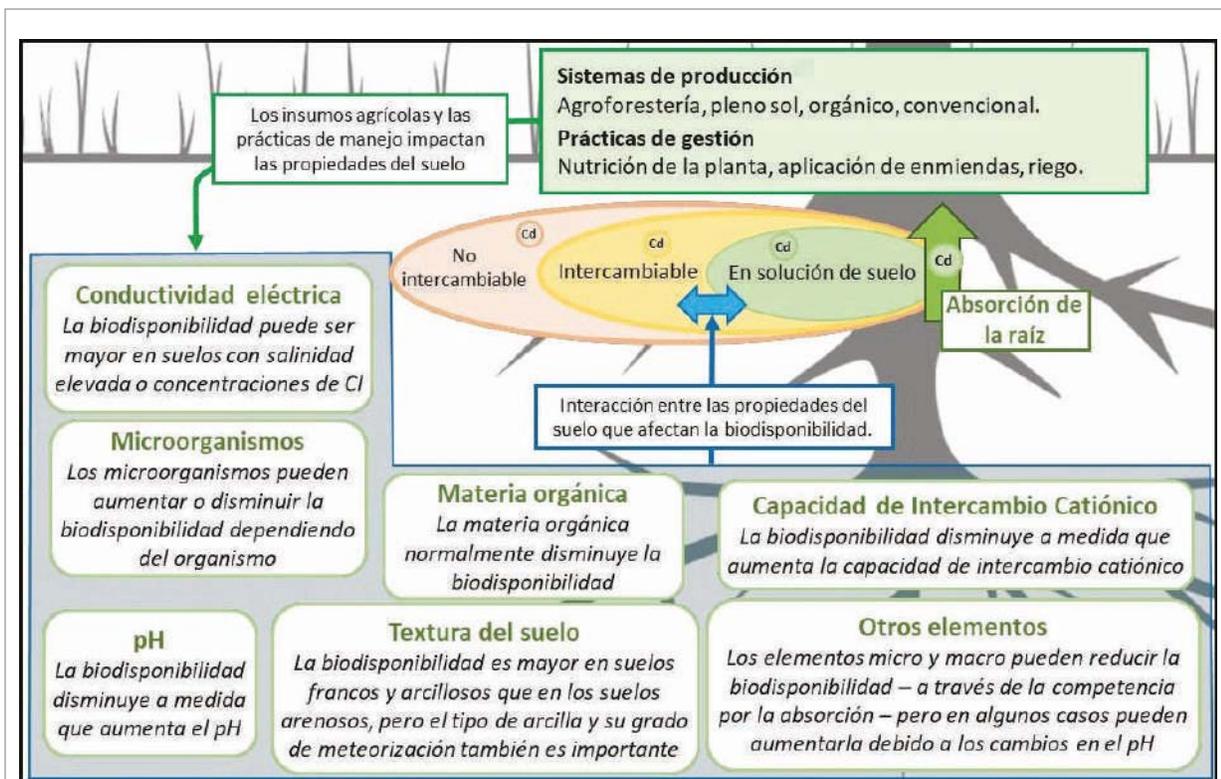


Figura 4. Las propiedades del suelo y su relación con la disponibilidad de Cd. Fuente: Meter et al., 2019.

AGRADECIMIENTOS

A los productores de cacao y a las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, ADEMAYACH, APODIP y APRODERK que apoyaron con información sobre el manejo de sus plantaciones..

A los técnicos de campo y encargados de los centros de acopio que fueron un vínculo importante con líderes y productores que participaron en el estudio.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

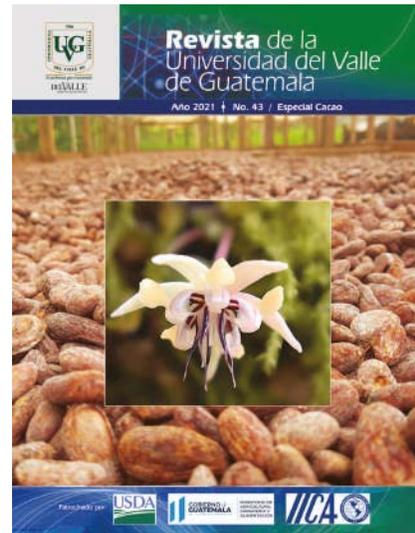
BIBLIOGRAFÍA

- Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., Maurice, L., (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: a field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environ. Pollut.* 229, 950-963.
- Badillo Germán, J.F., (1985) Curso básico de toxicología ambiental. p. 205-29. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Metepec; ECO.
- Canchignia, F., Auhing, J., Cedeño, Á., Carrillo, M. & Bravo, D. (2021). Guía 12: Mitigación de cadmio por microorganismos. *Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador*. 1ra edición, pp. 1-32. Quito, Ecuador.
- Capó Martí M.A., (2007). Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Editorial Tebar. Madrid, España.
- CODEX (2020). Codex Alimentarius Commission. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del CODEX sobre contaminantes de los alimentos. Anteproyecto de código de prácticas para la prevención y reducción de la contaminación por cadmio en los granos de cacao. Décima cuarta reunión Utrecht (Países Bajos).
- Comisión Europea. (2014). REGLAMENTO (UE) No 488/2014 DE LA COMISIÓN. *EFSA Journal*, 9(2), 10-14. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>
- Durango, W., Carrillo, M. & Peña, K. (2021). Guía 11: Mitigación de cadmio en el suelo mediante enmiendas orgánicas. *Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador*. 1ra edición, pp. 1-30. Quito, Ecuador.
- González Martínez, W.H. (2013). Aspectos generales sobre la génesis y evolución de los suelos de la república de Guatemala. En Memoria Presentación de resultados de investigación. Zafra 2012-2013. CENGICANA. Guatemala pp. 359-372.
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros Paniagua, J., Armengot, L., Schneider, M., Schulin, R., (2017). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Sci. Total Environ.* 580, 677-686.
- Gramlich, A., Tandy, S., Gauggel, C., López, M., Perla, D., Gonzalez, V. y Schulin R. (2018). Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. *Science of the total environment*, 612, (2018), 370 - 378.
- He, S., He, Z., Yang, X., Stoffella, P.J., Baligar, V.C., (2015). Soil biogeochemistry, plant physiology, and phytoremediation of cadmium-contaminated soils. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*. vol. 134. Elsevier Inc., pp. 135-225. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.06.005>.
- International Zinc Association (IZA), & Asociación Latinoamericana del Zinc (LATIZA). (2008). *Zinc en los fertilizantes. La contribución a la solución de un problema nutricional mundial*. *Revista Fertilizar*, 21, 25-32.
- Lindsay, W.L. (1979). *Chemical equilibria in soils*. Wiley - Interscience. New York, USA.
- López Ulloa, M., Jaimez, R. y Orozco Aguilar, L. (2021). Cadmio en el cultivo de cacao: Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador. 1ra edición, pp 1-20. Quito, Ecuador.
- Meter A., Atkinson R.J. y Laliberte B. (2019). Cadmio en el cacao de América Latina y el Caribe-Análisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. *Bioersity International*, Roma.

- McLaughlin, M.J., Singh, B.R. (1999). Cadmium in Soils and Plants. In: McLaughlin, M.J., Singh, B.R. (eds) Cadmium in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 85. Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- MOCCA. (2020). Boletín informativo de cadmio. Publicación # 4. Foro virtual: América Latina y el Caribe.
- Oc Llatance, W., Gonza Saavedra, C.J., Guzmán Castillo, W. y Pariente Mondragón, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la comunidad nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33 (1): 63-75.
- OMC. (2021). *Preocupaciones comerciales específicas - Sistema de Gestión de la Información Sanitaria y Fitosanitaria*. <http://spsims.wto.org/es/SpecificTradeConcerns/View?lmsId=503>
- Patiño Torres, C. (s.f). Diagnóstico preliminar de niveles de cadmio en algunos suelos cacaoteros de Colombia y Perú, y estudios de experiencias exitosas de manejo. Universidad del Tolima. Colombia.
- Peña, K., Carrillo, M., Durango, W., Orozco, P. & Peña, A. (2021). Guía 13: Mitigación de cadmio por fitorremediación. *Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador* (1.º ed., pp. 1-26). Quito, Ecuador.
- Regoli, L. (2005). Contaminación transfronteriza del aire de larga distancia por metales pesados. Presentación para la LR/UNECE-LRTP heavy metals. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa. Berlín, Alemania.
- Rodríguez Serrano, M., Martínez de la Casa, N., Romero Puertas, M., del Río, L. A., & Sandalio, L. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas*, 17(3), 139-146. <https://doi.org/10.7818/re.2014.17-3.00>
- Sandoval-Pineda, J. F., Pérez-Moncada, U. A., Rodríguez, A., & Torres-Rojas, E. (2020). Alta presencia de cadmio resulta en baja diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares asociados a cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Biologica Colombiana*, 25(3), 333-344.
- Smolders, E., Mertens, J., (2013). Cadmium. In: Alloway, B.J. (Ed.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability*. Springer Science+Business Media, pp. 283-311 https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_10.
- Vanderschueren, R., Argüello, D., Blommaert, H., Montalvo, D., Barraza, F., Maurice, L., Schreck, E., Schulin, R., Lewis, C., Vazquez, J. L., Umaharan, P., Chavez, E., Sarret, G., & Smolders, E. (2021). Mitigating the level of cadmium in cacao products: Reviewing the transfer of cadmium from soil to chocolate bar. *Science of the Total Environment*, 781, 1-19.
- Yanus, R.L., Sela, H., Borojovich, E.J.C., Zakon, Y., Saphier, M., Nikolski, A., Gufflais, E., Lorber, A., Karpas, Z. (2014). Trace elements in cocoa solids and chocolate: an ICPMS study. *Talanta* 119, 1-4.

INFORMACIÓN GENERAL

Revista de la Universidad del Valle de Guatemala



Información general

El objetivo de la Revista de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) es el de divulgar los hallazgos de estudios realizados dentro de la actividad académica, entre los que se encuentran opiniones, resultados de investigación, ensayos y revisiones sobre temas específicos.

Los artículos se aceptarán en el entendido que no han sido publicados con antelación.

1. La revista considera para publicación:

- 1.1 Artículos con los resultados de proyectos de investigación que se hayan llevado a cabo, en la Universidad del Valle de Guatemala, o en asociación con ésta.
- 1.2 Artículos invitados solicitados directamente al autor por el Editor o el Comité Editorial, uno por número de Revista editada.
- 1.3 Artículos de síntesis y opinión que unifiquen e interpreten el avance del conocimiento en un tema, uno por número de Revista editada.
- 1.4 Ensayos y trabajos de crítica y creaciones literarias.
- 1.5 Resúmenes y acotaciones sobre conferencias, seminarios, talleres, foros y coloquios desarrollados en la Universidad del Valle de Guatemala.
- 1.6 Comentarios sobre libros recibidos en Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala.

En los *números especiales* patrocinados por un proyecto podrán publicarse los artículos en el idioma inglés.

Procedimiento editorial

El Editor convocará a la familia universitaria a elaborar un resumen del artículo propuesto cuyo contenido deberá incluir:

- A. Título
- B. Autor principal y coautores
- C. Nombre del centro/laboratorio/departamento/facultad y/o instituto
- D. Objetivos del trabajo (3 líneas máximo), y
- E. Relevancia e impacto del estudio (5 líneas máximo).

El Consejo Editorial evaluará los resúmenes recibidos de acuerdo a contenido y relevancia.

El Editor informará a los autores de la aprobación del resumen e indicará fecha límite para entregar artículo completo.

El Editor enviará los artículos a revisión. Se comunicará a los autores de la decisión de los revisores. Se informará de fecha límite para recibir manuscritos corregidos.

GUÍA DE INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

Artículo de investigación

El cuadro siguiente contiene las características de los elementos que conforman un artículo.

Secciones	Título (español e inglés) Autores Resumen (español e inglés) Palabras clave (español e inglés) Introducción Materiales y métodos Resultados y discusión Conclusiones Agradecimiento Bibliografía
Cantidad de páginas	<20, Times New Roman 11, espaciamiento entre líneas de 1.5 emplear Word (incluye cuadros, gráficas y bibliografía)
Cuadros	Usar accesorio de Word
Gráficas	Alta resolución, incluyen fotografías y diagramas
Cantidad de cuadros y gráficas	Nueve en total en cualquier combinación
Bibliografía	<30, citadas en texto por obligación
División de texto	En secciones identificadas con subtítulos. No deben numerarse

A continuación se encuentra la descripción de cada elemento en particular.

- **Título:** en dos líneas como máximo, debe, por un lado, enfocarse sobre el tema particular de la investigación, y por el otro, ser lo suficientemente original y conspicuo para captar la atención del lector potencial.
- **Resumen:** no debe ser mayor de 250 palabras a punto y seguido. No debe contener expresiones generales, ni abreviaturas y referencias. Debe estructurarse en tres partes. La primera, de tres o cuatro oraciones, se refiere a la introducción. Es decir, informa de los antecedentes, el tema principal, los particulares y la hipótesis. La segunda se refiere a los experimentos realizados y en dos o tres oraciones ofrecen una visión general de los mismos. La última está dedicada a los resultados obtenidos y su discusión. En ella deben resaltar 1-2 resultados principales basados en una sólida justificación basada en los resultados experimentales, su interpretación, su novedad relativa al desarrollo del conocimiento en el tema tratado, su impacto potencial e importancia para el país. La parte novedosa de los resultados debe expresarse en forma afirmativa... "En este trabajo demostramos que..." "...Por primera vez encontramos una correlación significativa entre..." "El modelo matemático desarrollado mejora substancialmente la predicción de..."

(El párrafo anterior consta de 155 palabras)

- **Introducción:** de una longitud máxima de dos páginas, debe empezar exponiendo en forma clara y concisa el problema abordado. Luego, una descripción plenamente documentada de los antecedentes sobre la problemática actual y el estado del conocimiento del tema específico de investigación. Es imprescindible citar referencias de revistas de corriente principal

de los últimos años. Debe evitarse el empleo de citas de internet. Si fuese necesario, las mismas deben ser referidas con una nota a pie de página y no en la bibliografía al final del artículo. En el último párrafo de esta sección debe exponerse en forma sucinta el objetivo general del trabajo efectuado.

- **Materiales y métodos:** sección en la que debe detallarse la metodología experimental empleada, incluyendo los pormenores de los materiales, el equipo principal y los métodos analíticos, el diseño de experimentos, y las herramientas matemáticas de análisis de los datos. La redacción debe realizarse tomando en cuenta a un futuro lector que desee emplear dicha información, de manera que es necesario describir hasta el más mínimo detalle de los procedimientos.
- **Resultados y discusión:** describe empleando cuadros y gráficas, usadas con recato en la cantidad permitida, la información generada en los experimentos. No debe existir duplicidad, datos de un cuadro no deben ser usados para construir un diagrama. Sin embargo es válido ilustrar en una gráfica el resultado de la evaluación matemática de los datos contenidos en un cuadro. Los resultados deben de presentarse en secciones siguiendo una lógica de principio a fin. La significancia de los datos debe evaluarse en cada sección seguida de una discusión que conlleve a especulaciones, conjeturas y conclusiones.
- **Conclusiones:** circunscritas en los datos experimentales obtenidos y no en generalidades. Deben de listarse en orden de importancia.
- **Bibliografía:** contiene las referencias en orden alfabético citadas en el texto como más adelante se detalla.
- **Gráficas y cuadros:** deben numerarse correlativamente aparezcan en el texto empleando números cardinales. Por ejemplo, citadas en texto, ... "la gráfica 3 presenta" ...en el "cuadro 4 se incluyen"... (notar minúsculas para referirse en el texto a gráficas y cuadros). Puede substituirse tabla por cuadro, y figura por gráfica, sin embargo, no deben mezclarse. Las gráficas pueden subdividirse, empleando la nomenclatura siguiente, gráfica 1a, gráfica 1b, etc., pero cada una cuenta por separado en la estimación de la cantidad permitida. Las gráficas deben presentarse por aparte en formato .jpg con una resolución de 1200dpi preferiblemente (resolución mínima aceptada de 600dpi). Sin embargo, debe indicarse en el texto en donde se encuentran localizadas. Los cuadros deben insertarse en el artículo en el lugar cercano a su cita en el texto. Todas las gráficas y los cuadros deben de tener un enunciado, frase de dos líneas máximo. Si es necesario debe incluirse en el enunciado la identificación de símbolos y caracteres especiales usados. No se aceptan pie de notas en cuadros y gráficas. Si se necesitan deben incluirse en el enunciado. Ejemplos:

Gráfica 3. Perfil de la hidrólisis de la biomasa. Círculos identifican datos a 40 °C. Triángulos datos a 60 °C.

Cuadro 2. Peso promedio de 100 partículas, densidad aparente y cantidad de flotadoras. Nota: Las partículas de diferentes sitios fueron seleccionadas siguiendo criterios de forma y color según ASTM (1984).

Cita de bibliografía en el texto: ejemplos:

De acuerdo con Salazar y colaboradores (2004).

Resultados previos similares han sido informados en la literatura (Espino, 2004; Ortega y Lemus, 2007; Rossiter et al, 2012).

Estilo de las referencias en la bibliografía: ejemplos:

Bruins ME, Sanders JPM (2012) *Small-scale processing of biomass for biorefinery* Biofuels Bioprod Bioref 6: 135-145

Alker HR, Gurr TR, Kumar R (2001) *Journeys through Conflicts: Narratives and Lessons* Rowman & Littlefield Publishers

Lienev IE (1989) *Antinutritional Factors En: RH Mathews (ed) Legumes. Chemistry Technology and Human Nutrition* Marcel

Dekker pp 339-382

Artículo de revisión

La presentación es de libre contexto de acuerdo a la especialidad. La exposición debe dividirse en secciones con subtítulos de acuerdo a la narrativa. Referencias <100. No existe limitación en la cantidad de cuadros y gráficas permitidas. La bibliografía citada en texto debe cumplir con los requisitos antes mencionados.

Ensayos y Artículos de Opinión

La presentación es de libre contexto de acuerdo a la especialidad. La exposición debe dividirse en secciones con subtítulos de acuerdo a la narrativa. Pueden emplearse citas a pie de nota o acumuladas al final del texto. Las gráficas, fotos, diagramas y reproducciones deben identificarse con números cardinales. La bibliografía citada en texto debe cumplir con los requisitos antes mencionados.

Nota:

Para los autores que utilicen EndNote una vez finalizado el artículo deberán grabarlo utilizando "remove field codes".

CAMPUS SUR
Universidad del Valle de Guatemala
www.campussur.uvg.edu.gt



Exelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

km. 92.5 Finca Camantulul Carretera
a Mazatenango, Santa Lucía
Cotzumalguapa, Escuintla.
Teléfono: 7955-2800
www.campussur.uvg.edu.gt

ALTIPLANO
Universidad del Valle de Guatemala
www.altiplano.uvg.edu.gt



Exelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

Km. 137 Cantón El Xolbé,
Aldea El Tablón, Sololá.
Teléfonos: 7931-0814
www.altiplano.uvg.edu.gt

