

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).

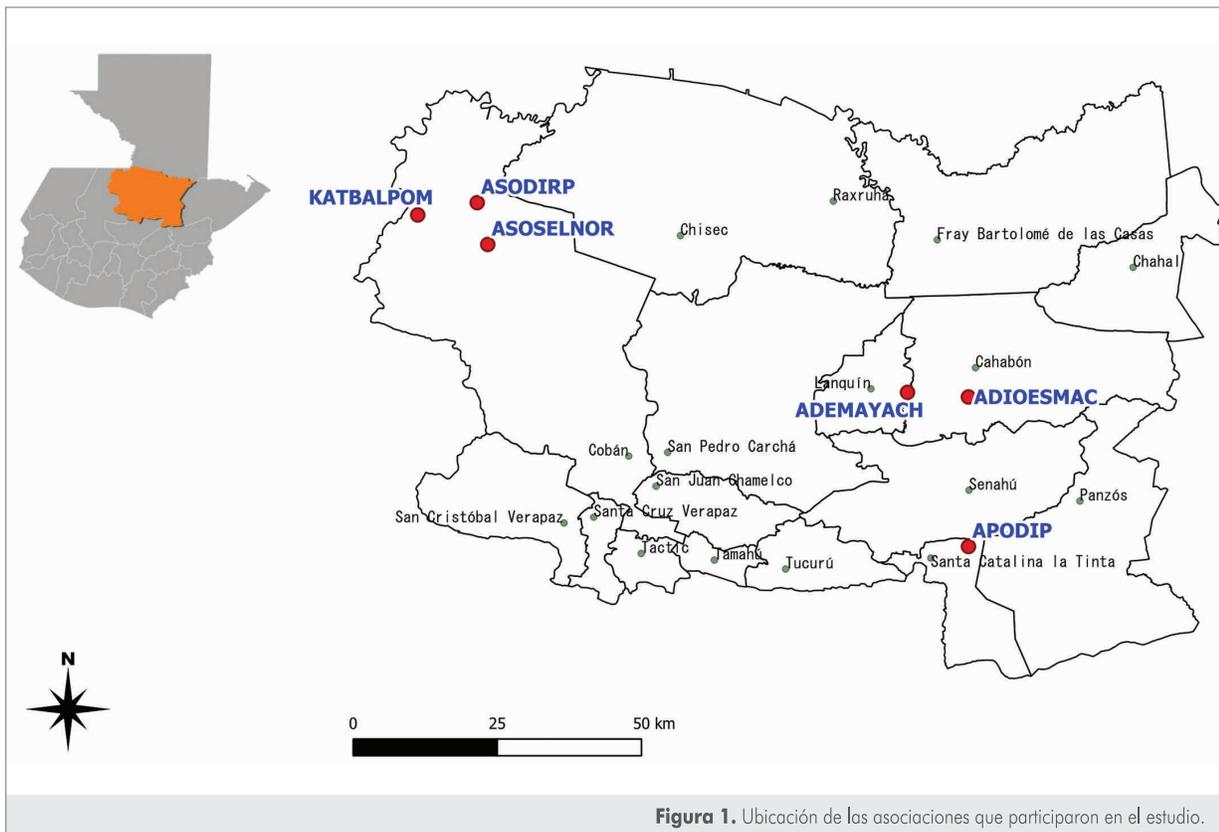


Figura 1. Ubicación de las asociaciones que participaron en el estudio.

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

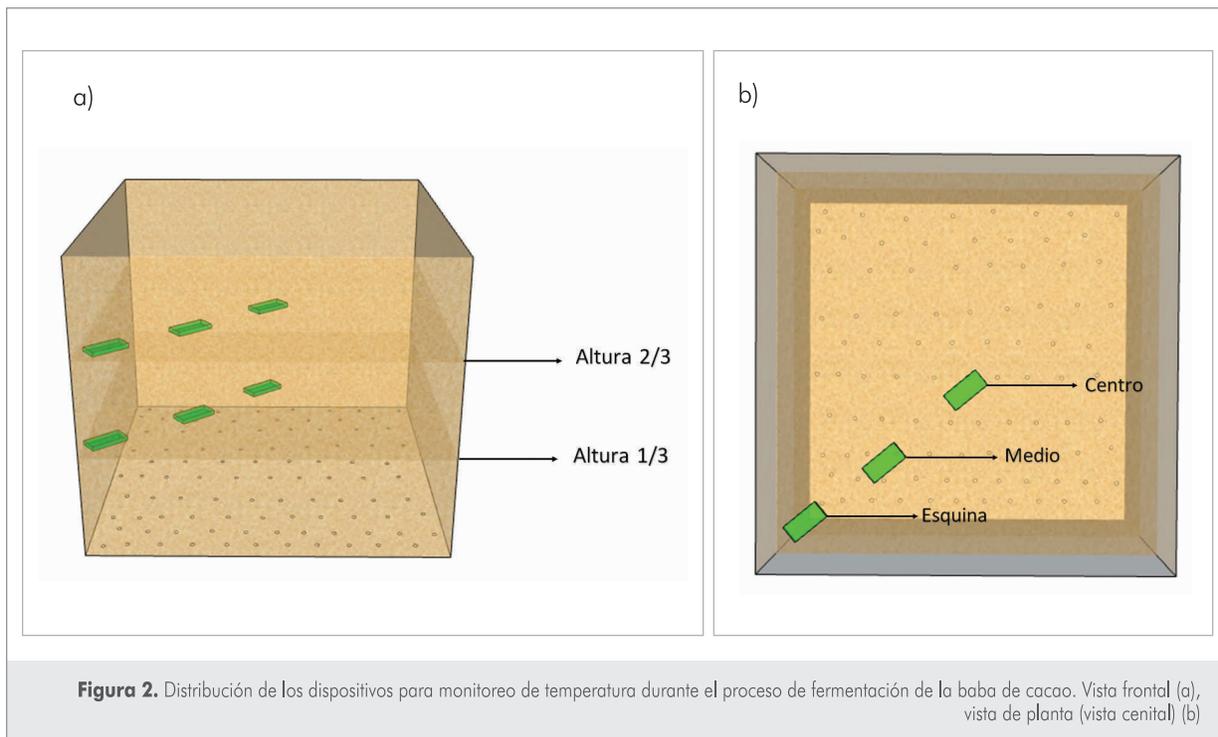
prima se realizó insertando directamente los dispositivos en la masa de grano de cacao en baba.

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.



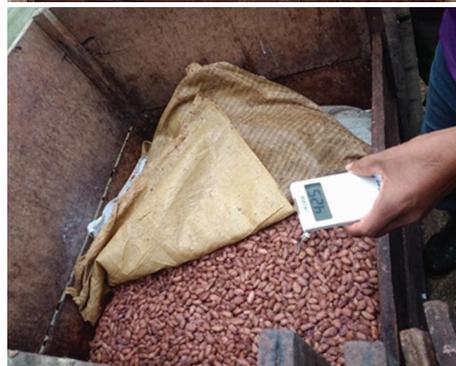
6. Proceso de fermentación del cacao en baba en la asociación ASOSELNOR

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

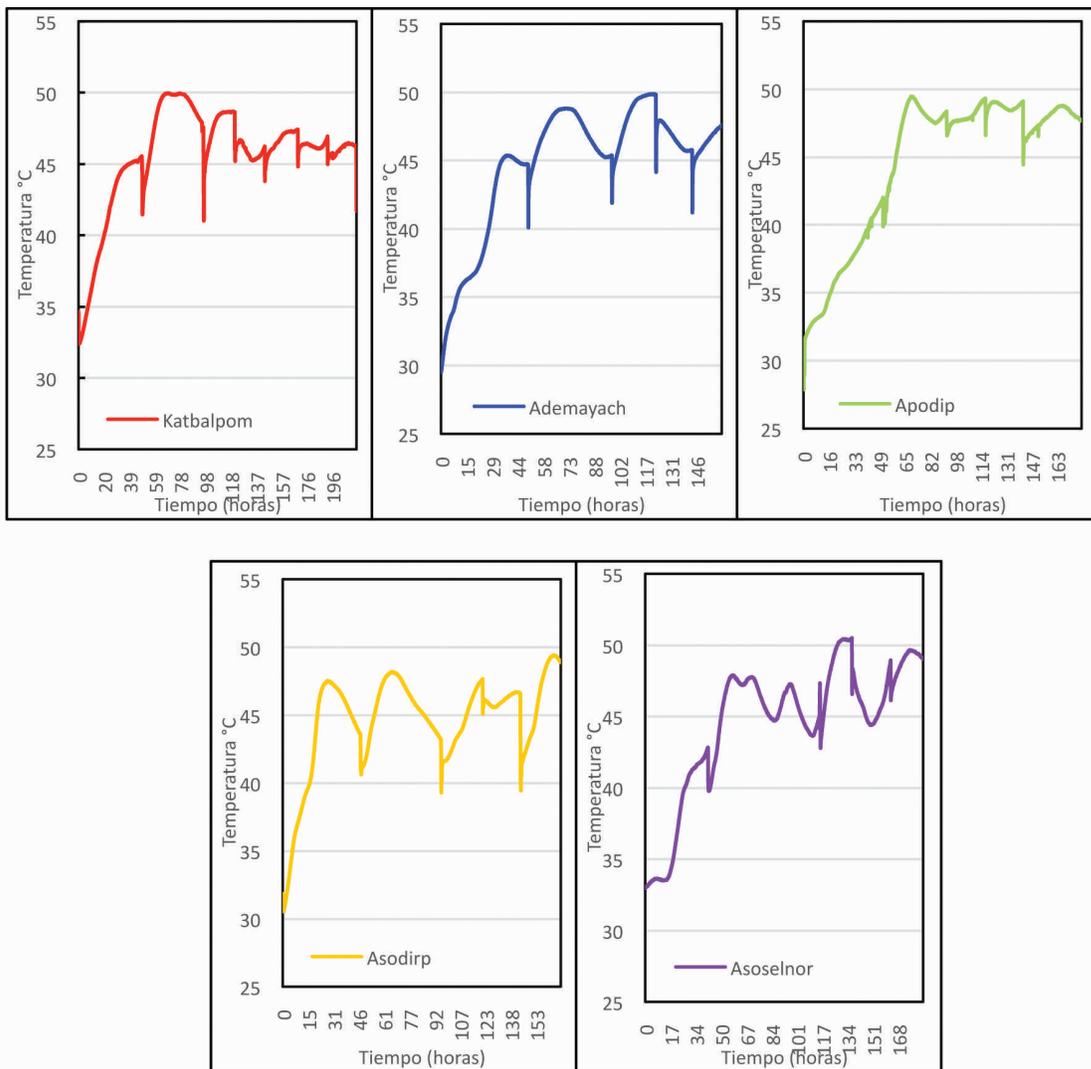


Figura 3. Dinámica de temperatura durante el proceso de fermentación de cacao de cada asociación.

• 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.

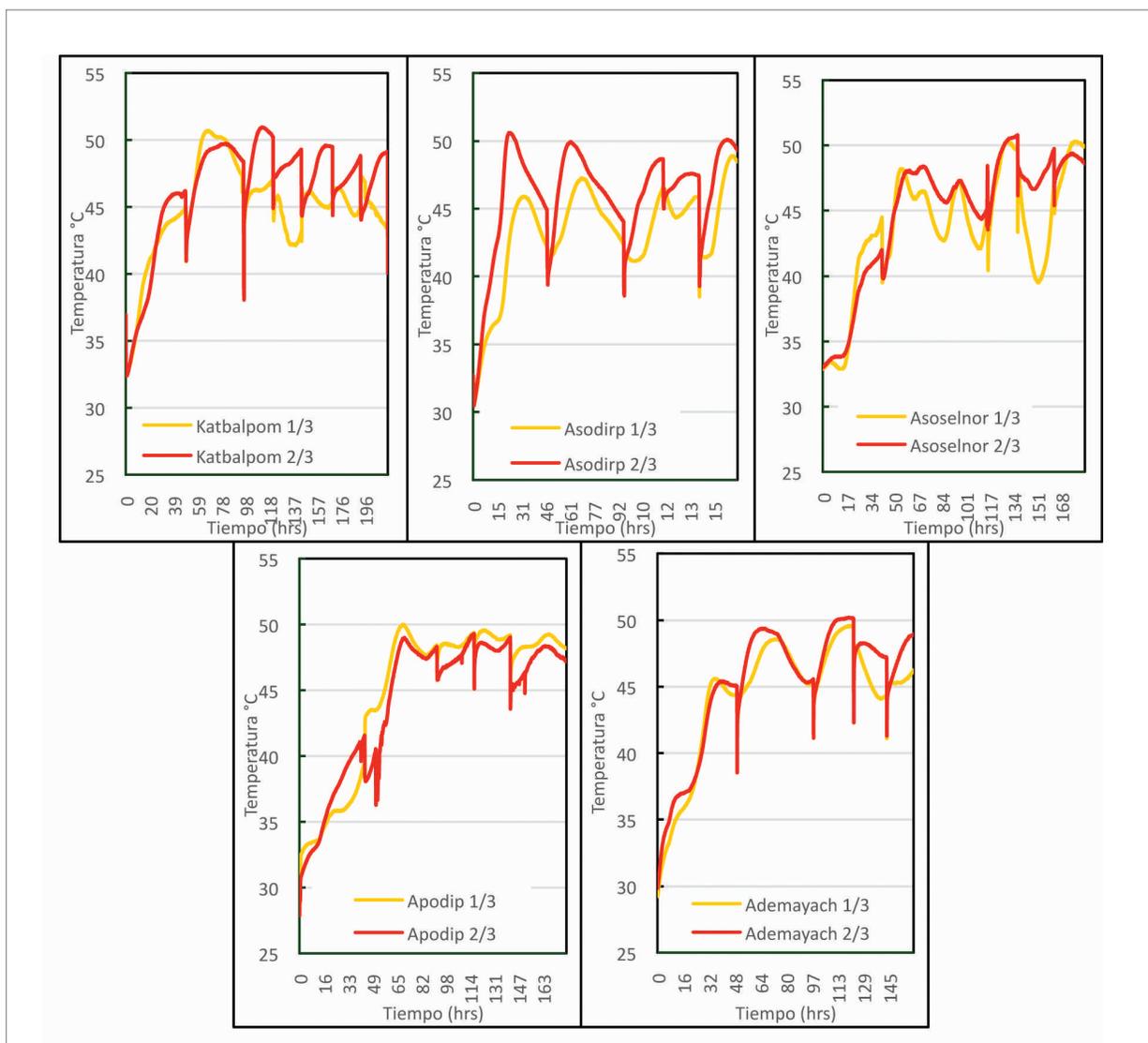


Figura 4. Dinámica de temperatura de acuerdo con la posición del sensor en el plano vertical según asociación.

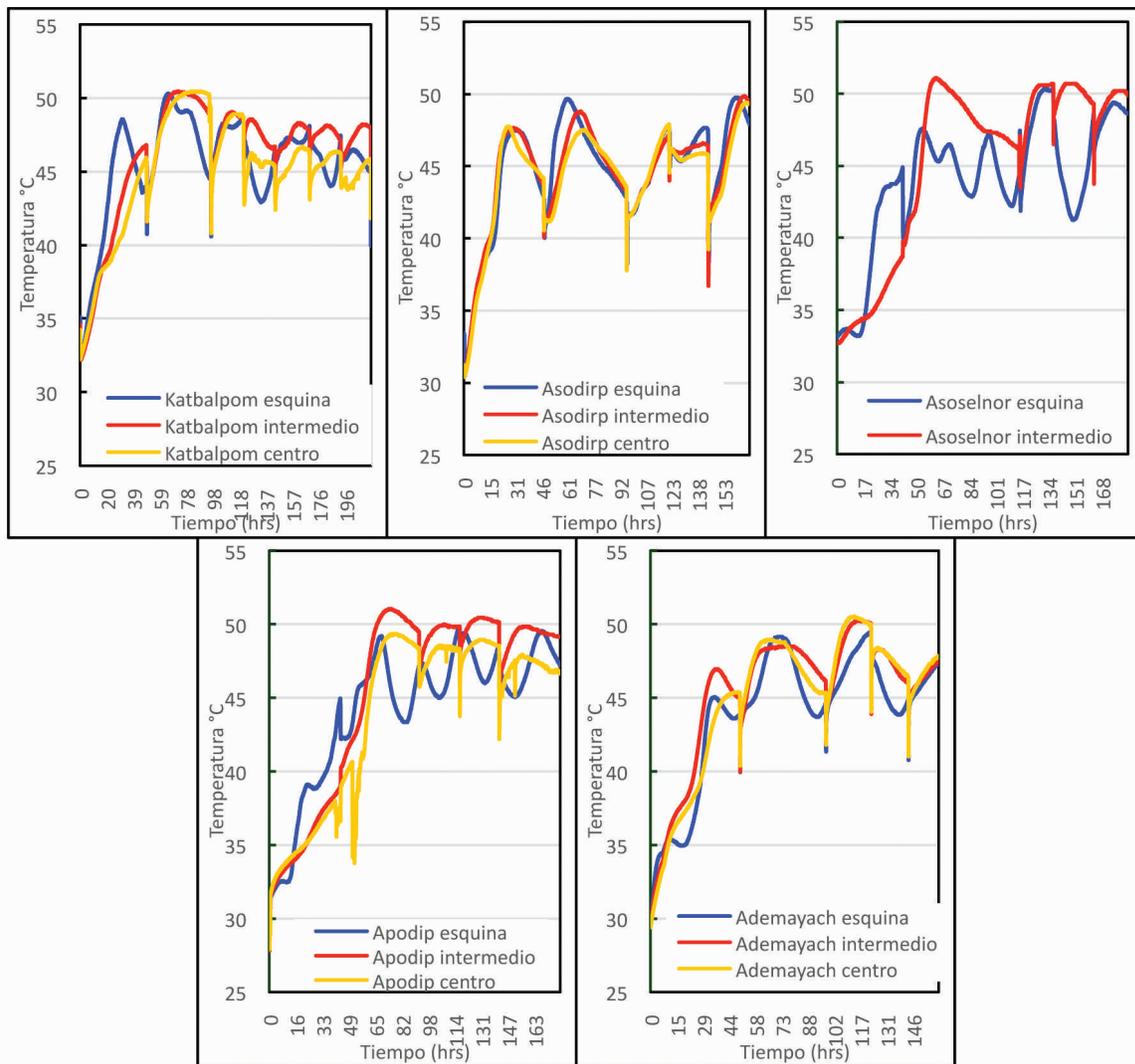


Figura 5. Dinámica de temperatura de acuerdo con la posición de los dispositivos en el plano horizontal según asociación.

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.

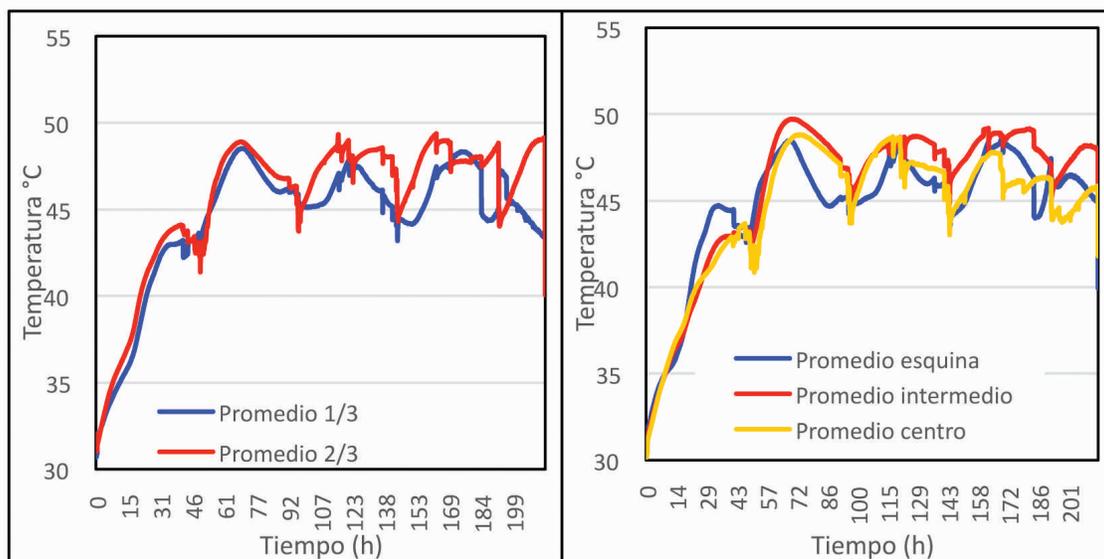


Figura 6. Dinámica de la temperatura promedio registrada en las 5 asociaciones en función de la ubicación de los dispositivos.

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 ($p > 0.05$).

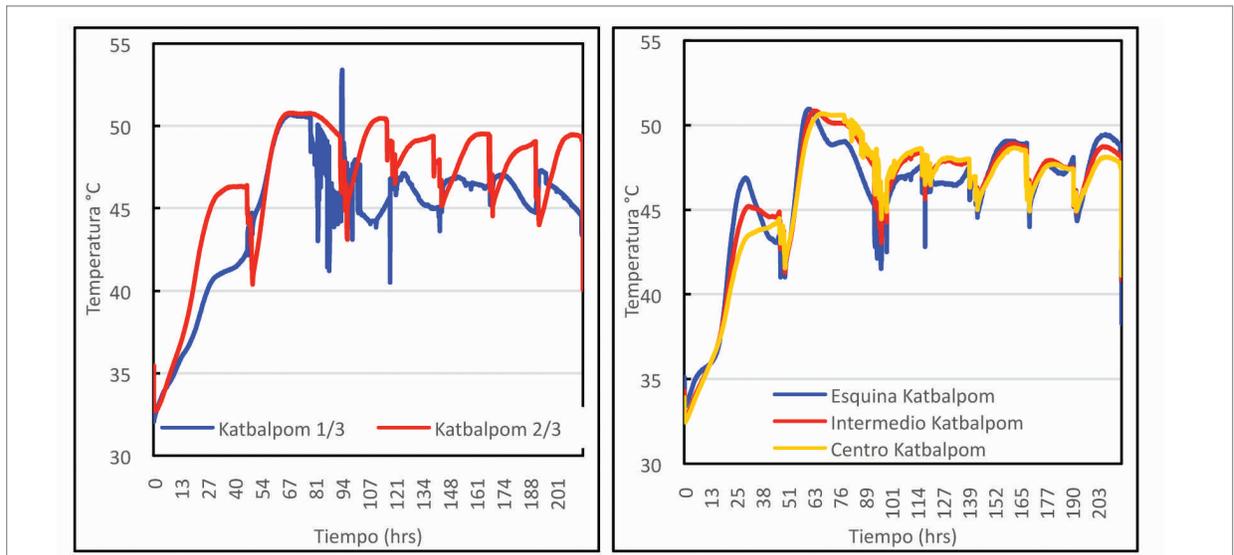


Figura 7. Dinámica de temperatura en KATBALPOM según altura y posición de dispositivos.

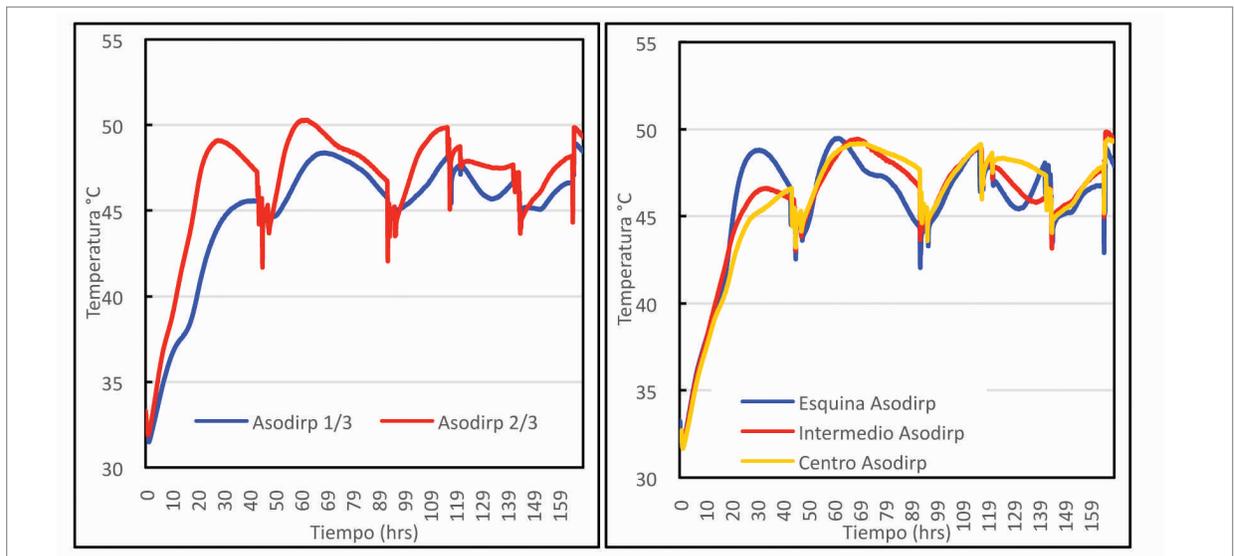


Figura 8. Dinámica de temperatura en ASODIRP según altura y posición de dispositivos.

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?nyprm=1%7C842%7C%7C%7C1806%7C%7C%7C4%7C1%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>.