

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 encuentra 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).

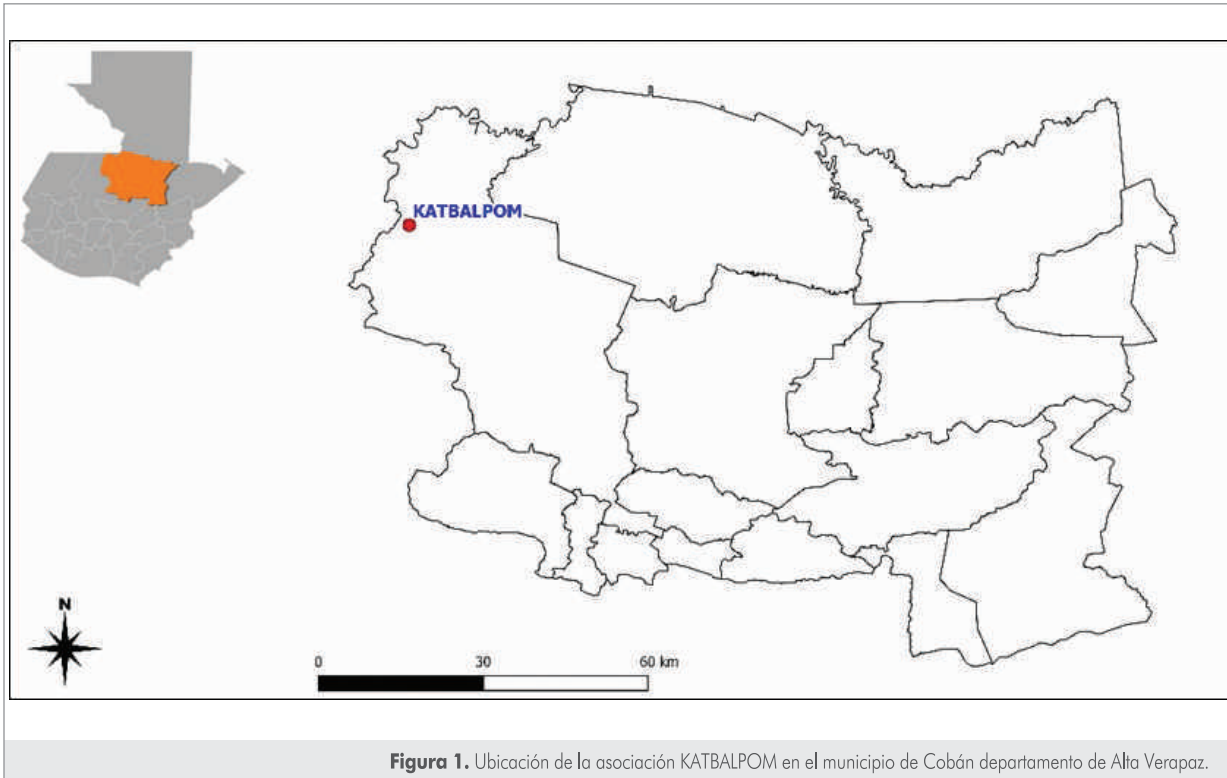


Figura 1. Ubicación de la asociación KATBALPOM en el municipio de Cobán departamento de Alta Verapaz.



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.

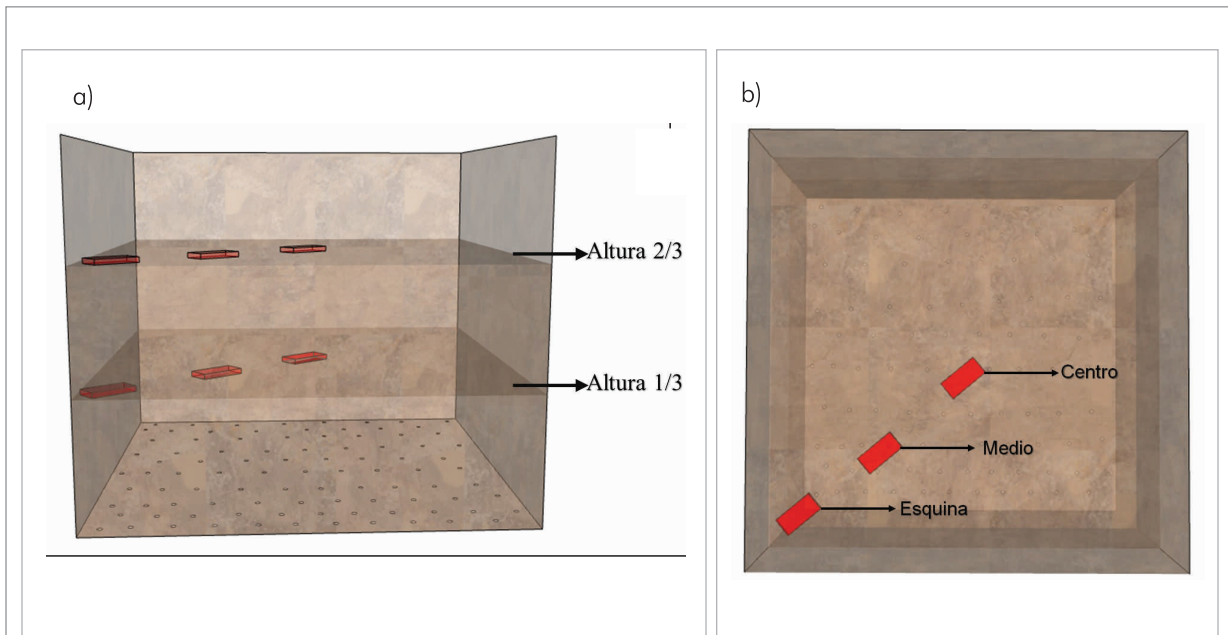


Figura 3. Distribución de los dispositivos para monitoreo de temperatura durante el proceso de fermentación de la baba de cacao en el ensayo 1. Vista frontal (a), vista de planta (vista cenital) (b)

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.

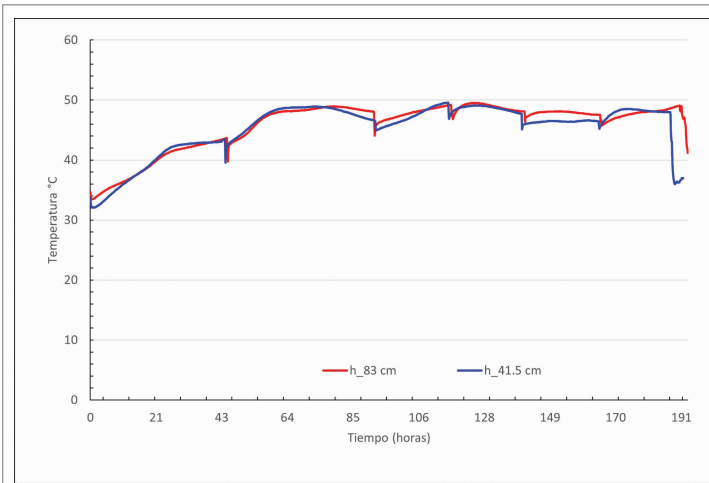


Figura 4. Dinámica de temperatura durante el proceso de fermentación en ensayo 1.

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.

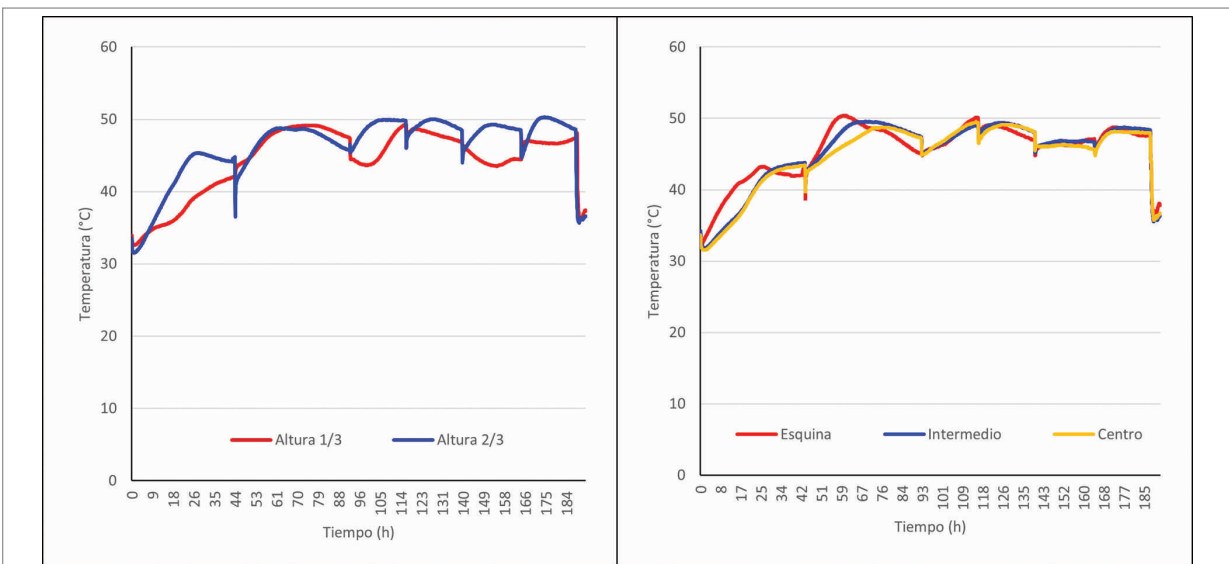


Figura 5. Dinámica de temperatura según altura y posición de dispositivos 2019, con masa de cacao en baba de 41.5cm de alto.

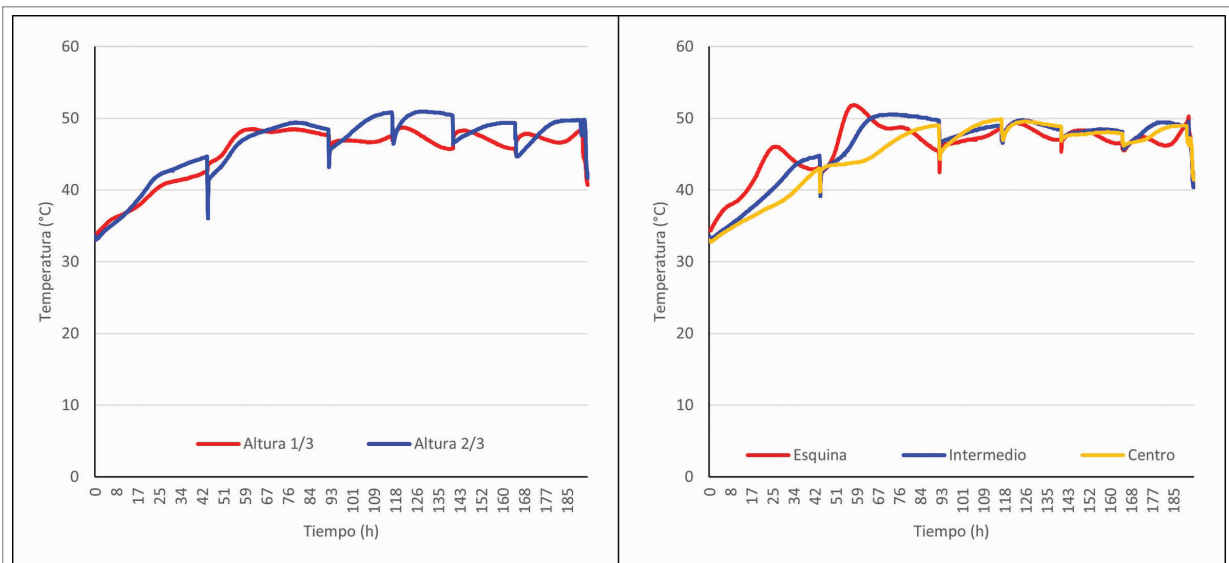


Figura 6. Dinámica de temperatura según altura y posición de dispositivos 2019, con masa de cacao en baba de 83 cm de alto.

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.

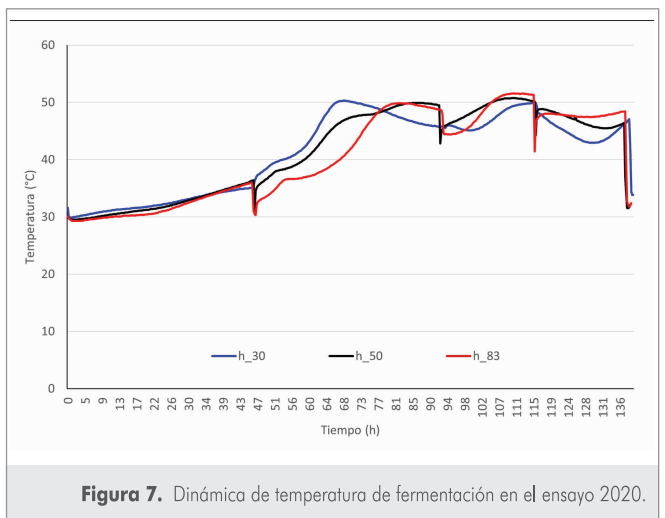
Homogeneidad de la materia prima

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).

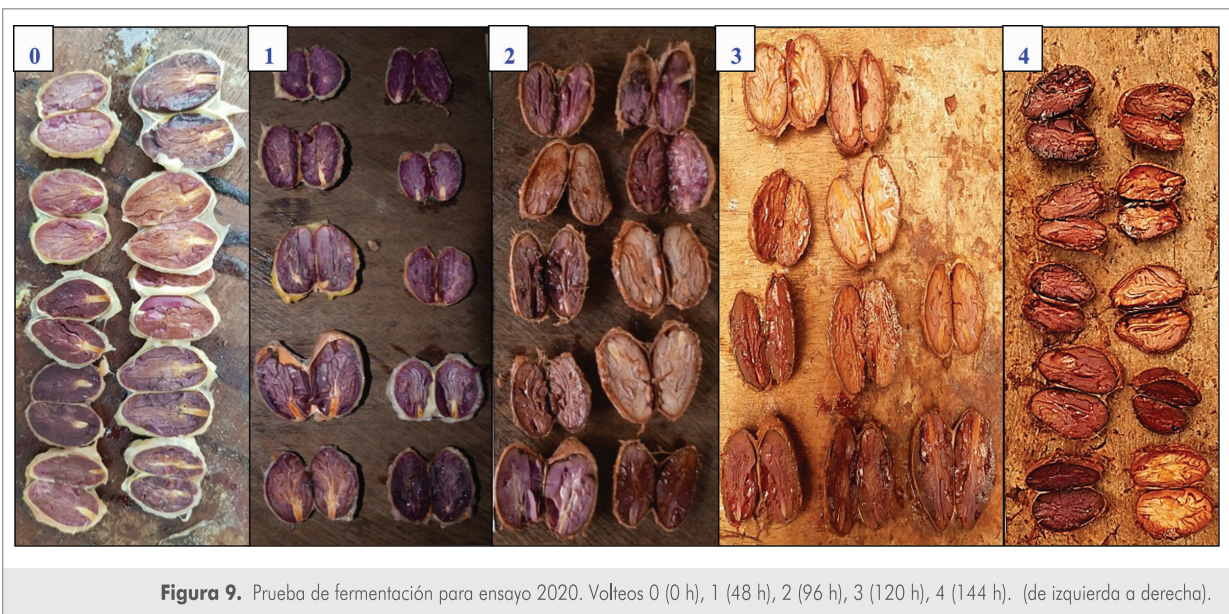
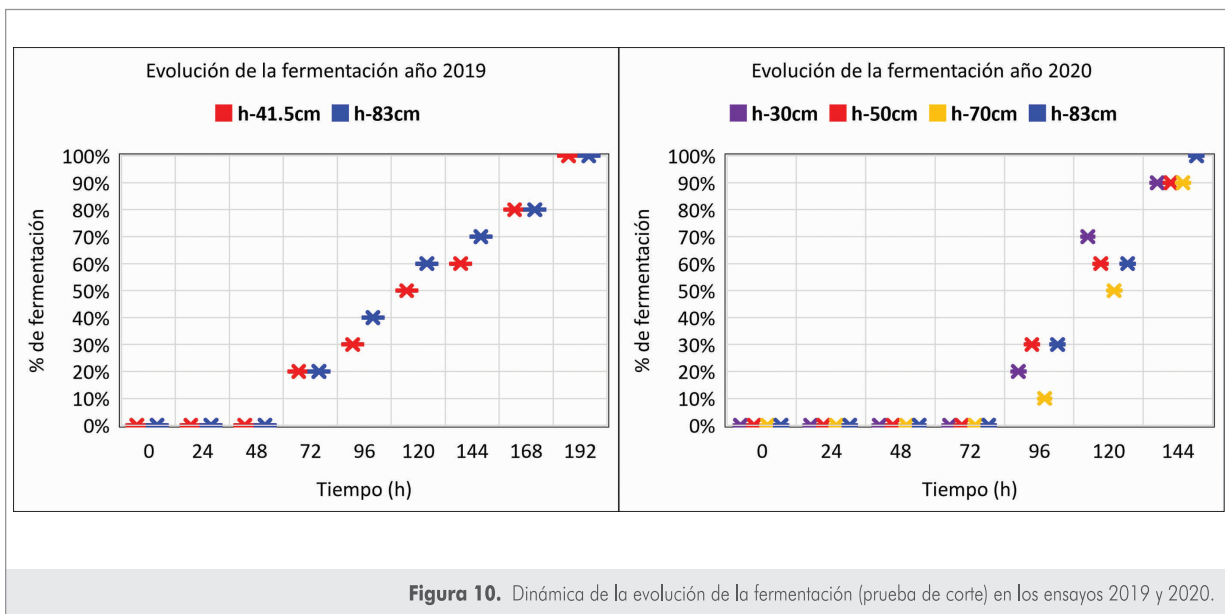


Figura 9. Prueba de fermentación para ensayo 2020. Volteos 0 (0 h), 1 (48 h), 2 (96 h), 3 (120 h), 4 (144 h). (de izquierda a derecha).

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.