

PROCESO DE FERMENTACIÓN DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN CAJAS DE DIVERSAS ESPECIES MADERABLES Y EN DISTINTAS ÉPOCAS DE COSECHAS PRODUCIDAS EN ALTO BENI

Fermentation Process of Cacao (*Theobroma cacao* L.) in Boxes of Different Timber Species and at Different Harvest Times Produced in Alto Beni

Pascual Churqui Sipe¹, Wilfredo Peñafiel Rodríguez²

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en predios de productores en las comunidades, de la zona del Alto Beni que comprenden los municipios de Palos Blancos y Alto Beni del departamento de La Paz, Bolivia. Evaluándose la fermentación de pepas de cacao en tres cajas construidas de diferentes tipos de madera y realizada durante cuatro cosechas, utilizando como material biológico pepitas frescas de cacao híbrido. Los objetivos fueron: valorar el proceso de fermentación y la calidad del grano en cajas de maderas: Ochoo, Toco Colorado y Quina Quina; evaluar el proceso de fermentación y la calidad del grano durante cuatro meses de cosecha en parcelas de productores del Alto Beni, determinar el tiempo de fermentación y la calidad del grano entre cajas de diversas especies maderables y en distintas épocas de cosechas. El trabajo se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar repetidos en el tiempo con tres tratamientos y cuatro repeticiones para cada época de cosecha, con cajas de Ochoo, Toco Colorado y Quina Quina en cuatro meses de cosecha. Evaluándose: días a la fermentación, temperatura de fermentación, peso del grano, diámetro del grano y porcentaje de fermentación. Las variables significativas fueron analizadas mediante la prueba Tukey al 5%. Para determinar el porcentaje de granos fermentados se analizaron las variables físicas: granos marrones, granos violetas y granos pizarrosos. Los resultados encontrados en las diferentes cajas fermentadoras a diferencia de las épocas de cosechas, tuvo influencia sobre las variables físicas. El mayor porcentaje de granos fermentados mostró para las cajas Ochoo y Toco Colorado con respecto a la caja de Quina Quina.

Palabras clave: cacao, fermentación, Ochoo (*Hura crepitans* L.), Toco Colorado (*Piptademia buchtiennii*), Quina Quina (*Myroxylon balsamum*).

ABSTRACT

This work was carried out on farms owned by producers in the communities of the Alto Beni area that includes the municipalities of Palos Blancos and Alto Beni in the department of La Paz, Bolivia. Evaluating the fermentation of cocoa beans in three boxes built of different types of wood and carried out during four harvests, using fresh hybrid cocoa beans as biological material. The objectives were: to assess the fermentation process and the quality of the grain in wooden boxes: Ochoo, Toco Colorado and Quina Quina; to evaluate the fermentation process and the quality of the grain during four months of harvest in plots of producers of Alto Beni, to determine the fermentation time and the quality of the grain between boxes of various timber species and at different harvest times. The work was carried out under a randomized complete block design repeated over time with three treatments and four repetitions for each harvest season, with boxes of Ochoo, Toco Colorado and Quina Quina in four harvest months. Evaluating: days to fermentation, fermentation temperature, grain weight, grain diameter and fermentation percentage. The significant variables were analyzed using the 5% Tukey test. To determine the percentage of fermented grains, the physical variables were analyzed: brown grains, violet grains and slaty grains. The results found in the different fermenting boxes, unlike the harvest seasons, had an influence on the physical variables. The highest percentage of fermented grains was found for the Ochoo and Toco Colorado boxes compared to the Quina Quina box.

Keywords: cocoa, fermentation, Ochoo (*Hura crepitans* L.), Toco Colorado (*Piptademia buchtiennii*) and Quina Quina (*Myroxylon balsamum*).

Artículo original

DOI: <https://doi.org/10.53287/gpig6349gj58o>

Recibido: 24/04/2023

Aceptado: 17/06/2023

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. pchurquis@gmail.com

² Docente, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3362-2861>. mwpenafiel@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

El cacao en sus diversas formas de procesamiento ha llegado a incursionar en el mercado internacional, contribuyendo la creciente demanda, a la mejora de la producción, almacenamiento, y transformación. Se calcula que en el mundo más de 20 millones de personas dependen directamente del cultivo del cacao para subsistir, en consecuencia, la producción cacaotera no solo enfrenta problemas de producción, sino también al mercado, aspectos derivados de los procesos de producción, acopio y transformación, de acuerdo al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (2007).

Bolivia exportó cacao por un valor de 26,68 millones de dólares en 12 años y el producto llega hasta las chocolaterías más importantes del mundo como es Nestlé en Suiza, según datos oficiales y del Viceministerio de Comercio Exterior. En 2021 se llegaron a producir 5.884 toneladas a nivel nacional (AGRONEWS, 2023). En la zona de Alto Beni gran parte de las comunidades se caracterizan por su vocación productiva del cacao, constituyéndose en una actividad económica principal, que contribuye en la mejora de las condiciones de vida de los productores; sin embargo, la calidad del grano de cacao seco es heterogénea en su fase de fermentación y secado, lo que afecta negativamente en la comercialización y precios.

La calidad de los granos del cacao, está en función al proceso de cada una de las etapas del beneficio de este cultivo; que comienza con la cosecha, partida de las mazorcas maduras para la obtención de los granos; continua con la fermentación y el secado del grano, terminando con la clasificación y almacenamiento; si este es bueno se obtiene un cacao rico en materias grasas y libre de granos defectuosas (pizarroso, violáceos, sobrefermentados, enmohecido, apolillados, germinados y dañados); en consecuencia un cacao de calidad con excelente sabor y aroma a chocolate enmarcado dentro de los requisitos exigidos por los mercados.

En la etapa del fermentado la mayor dificultad que presentan los productores es el control de temperatura de la masa del cacao, en tal sentido se quiere evaluar el uso de técnicas y materiales que permitan conservar la temperatura de fermentación, como cubiertas de yute y cajas fermentadoras de diferentes especies maderables como ser: maderas duras, semiduras y suave, con el propósito de valorar cuál se adecua mejor para evitar los cambios bruscos de la temperatura.

En el presente trabajo se planteó los siguientes Objetivos: el objetivo general es Evaluar el proceso de fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.) en cajas de diversas especies maderables y en distintas épocas de cosechas producidas en el Alto Beni. Los específicos son: Analizar el proceso de fermentación y la calidad del grano en cajas de maderas: Ochoo (*Hura crepitans* L.), Toco colorado (*Piptademia burchiennii*), y Quina Quina (*Myroxylon balsamum*); Evaluar el proceso de fermentación y la calidad del grano de cacao durante cuatro meses de cosecha en parcelas de productores del Alto Beni; Determinar el tiempo de fermentación y la calidad del grano entre cajas de diversas especies maderables y en distintas épocas de cosechas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se llevó a cabo en la región de Alto Beni, ubicada a 270 km al noreste del departamento de La Paz. Entre las coordenadas 15°10' y 15°55' Sur; 67°40' Oeste. Con una altitud de 450 a 700 metros sobre el nivel del mar. La región comprende las provincias de Sud Yungas, Caranavi y Larecaja (PDM Palos Blancos, 2008). Las parcelas de estudio están localizadas en los municipios de Palos Blancos y Alto Beni.

El clima es cálido y húmedo, con amplias variaciones estacionales. La temperatura promedio mensual varía desde 10,9°C (julio a agosto época de heladas o “surazos”) hasta 25,7°C durante los meses de enero y febrero. La precipitación anual promedio varía desde 1.300 mm en las zonas bajas; hasta 2.000 mm en las partes altas. En

Sapecho la precipitación promedio es de 1.580 mm. El periodo lluvioso se presenta entre noviembre a marzo y el periodo seco entre mayo a septiembre, la humedad relativa promedio es del 78% y el brillo solar promedio de 4,74 horas/día (Somarriba et al., 2002).

Trujillo (2007), sostiene que las temperaturas máximas extremas se presentan en los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero con 38°C, pero acentuado en octubre y noviembre. La época más seca se presenta entre los meses de septiembre y octubre; mientras que la época húmeda entre los meses de enero, febrero, marzo, mayo y junio con promedios de 82 a 94 %. Las horas sol en el día, mínimas en mayo, junio y julio con 4,7; 4,5; 4,8 y la máxima en septiembre y octubre con 5,9 y 6,1 horas promedio.

Las parcelas de estudio durante la investigación comprendieron a 4 productores de diferentes comunidades pertenecientes a las áreas II, III y VI de la zona de Alto Beni. Los criterios para la selección de las parcelas fueron: volumen de producción 450 kg de cacao húmedo por cosecha, edad de la parcela de cacao de 15 a 20 años, tipo de cacao híbrido.

Material de campo

Se utilizaron los siguientes materiales de campo: cajas de madera de las especies de Ochoo, Toco Colorado y Quina Quina; termómetro, balanza analítica.

Metodología

Las fermentadoras fueron construidas de maderas: Ochoo, Toco Colorado y Quina Quina con las siguientes dimensiones: 70 cm de largo x 50 cm de ancho x 50 cm de alto siendo el espesor de la madera 1,5 pulgadas, con capacidad para llenado de 150 kilogramos de cacao húmedo, las características de las cajas presentaron orificios en el fondo para la salida de los líquidos que libera la masa de granos, y fueron colocadas sobre una tarima a una altura de 20 cm con respecto al suelo, con espacios entre tratamientos de 40 cm se instalaron tres cajas de diferentes maderas por cada productor.

Para la fermentación de los granos se construyó 12 cajas tipo individuales de diferentes especies maderables de la zona como ser: Caja 1 (madera Ochoo o Solimán), Caja 2 (Toco Colorado), y Caja 3 (Quina Quina). Instalando tres cajas para cada bloque tomando en cuenta que el estudio se llevó a cabo con 4 familias de productores. Con la finalidad de evaluar el desarrollo adecuado del proceso de fermentación y verificar las diferencias entre estas.

Diseño experimental

El presente trabajo se desarrolló bajo un diseño de Bloques al Azar repetidos en el tiempo considerando 3 tratamientos (cajas fermentadoras) distribuidas en cuatro bloques. El análisis combinado se realizó combinando las cuatro épocas de cosecha propuesto por: Litle (1987); Cochran y Cox (1997).

Modelo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \theta_j + \varepsilon_{ij} + \alpha_k + (\theta\alpha)_{ik} + (\beta\alpha)_{ik} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Dónde: Y_{ijk} = una observación; μ = media poblacional; β_i = efecto del i -ésimo bloque (parcelas); θ_j = efecto del j -ésimo tratamiento (cajas); ε_{ij} = error experimental de "A"; α_k = efecto del k -ésimo factor cosecha; $(\theta\alpha)_{jk}$ = interacción entre j -ésimo tratamiento con el k -ésimo factor cosecha; $(\beta\alpha)_{ik}$ = interacción entre i -ésimo bloque con el k -ésimo factor cosecha; ε_{ijk} = error experimental de "B".

Tratamientos

Los tratamientos en cada factor fueron: 1) FA: cajas, c1 = Ochoo, c2 = Toco Colorado, c3 = Quina Quina; 2) FB: cosechas, 4 de junio, 3 de Julio, 3 de agosto, 5 de septiembre.

Variables de respuesta

Días a la fermentación: Esta variable se observó mediante el proceso de fermentación y el material biológico que se utilizó granos de cacao fresco del tipo híbrido, con registros diarios en cada caja desde la fecha de inicio hasta su conclusión, datos tomados mediante calendario y reloj. Para determinar los días a la fermentación se realizó mediante la prueba de corte en grano fermentado.

Temperaturas de fermentación: Se evaluó durante la fermentación cada caja a diario por las mañanas a las 8:00 antes de realizar la remoción, con la ayuda de un termómetro de mercurio expresado en grados centígrados. Durante la fermentación de los granos la temperatura aumenta día a día, alcanzando entre 45 a 55 grados centígrados.

Peso del grano: Se pesaron los granos fermentados mediante una balanza analítica de precisión y expresada en gramos, a la conclusión de la fermentación entre los días ocho y nueve del proceso de fermentación, tomando de cada caja cien granos al azar. En promedio, se espera que un grano seco pese mínimo 1,0 – 1,2 gramos, equivalente a 100 – 120 granos por cien granos de cacao. Cuando el número de granos es menor que 90, con seguridad que el lote de cacao tendrá un descuento en el precio.

Diámetro del grano: Se midieron el diámetro de los granos al finalizar la fermentación correspondiente a los días ocho y nueve, tomando cien granos al azar en cada caja, mediante el instrumento Vernier expresada en milímetros.

Porcentaje de fermentación: La evaluación de esta variable se realizó en cien granos secos al azar. Los parámetros físicos analizados fueron: porcentajes de granos fermentados, granos violetas y granos pizarrosos. Estos se evaluaron mediante la prueba de corte propuestos por: Tomlins et al. (1993); Stevenson et al. (1993), que consistió en analizar la coloración interna del grano, así como las estrías que se forman producto de la fermentación, realizando cortes longitudinales a 100 granos secos con la finalidad de agrupar aquellos que presenten las siguientes similitudes:

Granos fermentados: granos cuyos cotiledones presentan en su totalidad una coloración marrón o marrón rojiza y estrías profundas de fermentación. *Granos violetas:* granos cuyos cotiledones presentan una coloración violeta intenso. *Granos pizarrosos:* granos cuyos cotiledones presentan una coloración gris negruzco o verdoso y aspecto compacto.

Los cambios de color se evidencian con la muerte del embrión, donde hay difusión de pigmentos en las células que inicialmente no las contenía ya que al penetrar el ácido acético destruye la semipermeabilidad de la membrana de las células para que los pigmentos se difundan por todo el cotiledón (Enríquez, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días a la fermentación

De acuerdo a la evaluación que se efectuó en el periodo transcurrido en los días a la fermentación del cacao desde su inicio hasta la conclusión de la fermentación, procesadas en tres cajas individuales construidas de diferentes maderas efectuados durante cuatro meses evaluando una cosecha por mes.

A continuación, se describe los promedios de los tratamientos de días a la fermentación, obteniéndose que en promedio se tiene 8 ($\pm 0,50$) días para llegar a la fermentación entre las cajas de Ochoo, Quina Quina y Toco. Entre cajas de fermentación no existen diferencias numéricas en los días a la fermentación. Las bandejas de diferentes tipos de maderas utilizados como tratamientos no influyen en los días a la fermentación del cacao, probablemente esto se debe a que las maderas no influyen en los procesos bioquímicos que intervienen en los días a la fermentación.

En la Tabla 1, se observan entre los meses junio, julio, agosto y septiembre; los días a la fermentación es el siguiente: junio de 8 ($\pm 0,45$) días, julio de 9 ($\pm 0,00$) días, agosto de 9 ($\pm 0,45$) días y septiembre de 8 ($\pm 0,00$) días, no se tienen diferencias estadísticas entre los meses; como indica Peñafiel (2009).

Tabla 1. Promedios de días a la fermentación por mes.

Tratamientos	Promedio de días	Desvío estándar
Junio	8,0	$\pm 0,45$
Julio	9,0	$\pm 0,00$
Agosto	9,0	$\pm 0,45$
Septiembre	8,0	$\pm 0,00$

El tiempo de fermentación está relacionado con el tipo de cacao. El criollo fermenta más rápidamente que el forastero, tardando el primer tipo de cacao de 2 a 3 días y el segundo de 5 a 7 días. No obstante, las condiciones climáticas, el volumen de la masa y el método aplicado ejercen un papel importante sobre la duración del proceso y pueden causar grandes variaciones (Braudeau, 1970 citado por Ortiz et al., 2009).

En las cosechas evaluadas durante cuatro meses, los días a la fermentación en los meses de julio y agosto, se aprecian diferencias numéricas con respecto a junio y septiembre, sin embargo, no existen diferencias estadísticas en las cosechas realizadas durante cuatro meses. Para desarrollar una adecuada fermentación se necesita de 4 a 6 días, de acuerdo a la zona y a las condiciones climáticas (CIPCA, 2007).

Temperaturas de fermentación

La evaluación de temperatura de la masa del cacao en fermentación tomados diariamente a la misma hora antes de la remoción desde el primer día hasta su culminación de la fermentación entre los días 8 y 9, procesados en tres cajas construidas de maderas diferentes durante cuatro meses evaluando una cosecha por mes, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 2. Análisis de varianza de temperatura en el proceso.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrados medios	F Cal.	Pr. > F
Bloques	3	40,2450	13,4150	76,20	
Tratamientos	2	46,8904	23,4452	133,18	<,0001**
Error experimental "A"	6	1,0562	0,1760	-	-
Mes	3	158,5266	52,8422	46,58	<,0001**
Interacción Trat. por mes.	6	8,6445	1,4407	1,27	0,3194 ns
Bloque por mes	9	79,9116	8,8790	-	-
Error experimental "B"	18	20,4220	1,1345	-	-

F Cal= F calculada; Pr.F= Probabilidad de F; ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo. C.V. = 2,68 %.

De acuerdo al análisis de varianza de la Tabla 2, sobre la temperatura de fermentación, se observa que entre Tratamientos y el mes se observan diferencias altamente significativas ($Pr < 0,01$), y no se tiene diferencias estadísticas entre la interacción tratamiento por mes ($Pr > 0,05$). El cual nos indica que tanto las cajas

fermentadoras como las cosechas ejercieron de manera independiente sus efectos en la temperatura de la masa fermentante.

Tabla 3. Promedios y prueba de Tukey de temperatura de la fermentación por tratamiento.

Tratamientos	Temperatura (°C)	Prueba Tukey (5%)
Toco	40,67	A
Ochoo	40,07	A
Quina Quina	38,33	B

Tratamientos seguidos por la misma letra no significativo.

En la Tabla 3, se observan los promedios de los tratamientos y la prueba de Tukey (5%), entre la caja de Toco con 40,67°C y la caja de Ochoo con 40,07°C que presentan temperaturas similares entre sí, la caja de Quina Quina obtuvo una temperatura de 38,33°C que es estadísticamente menor a las cajas de Toco y Ochoo. En las bandejas construidas de diferentes maderas los promedios de temperatura de la masa fermentante, alcanzándose en las cajas de Toco colorado y Ochoo temperaturas de 40,67 y 40,07°C, valor superior considerada como óptima para el proceso, con respecto a la caja de Quina Quina, con 38,33°C. El incremento de esta variable es producto del calor generado por las reacciones exotérmicas asociadas con la actividad de las levaduras y las bacterias que se desarrollan durante la fermentación (Cros y Jeanjean 1995; Senayake et al., 1995).

Tabla 4. Promedios de temperatura de la fermentación y prueba de Tukey por mes.

Tratamientos	Temperaturas (°C)	Prueba Tukey (5%)
Septiembre	42,0	A
Agosto	40,1	B
Julio	39,8	B
Junio	36,9	C

Tratamientos seguidos por la misma letra no significativo.

Los promedios de temperaturas en la fermentación y la prueba de Tukey por mes se observan en la Tabla 4, donde el mes de septiembre es superior estadísticamente con 42,0°C al mes de agosto con 40,1°C, al mes de Julio con 39,8°C y al mes de junio con 36,9°C; los meses agosto y julio son estadísticamente similares entre si y superiores al mes de junio. Durante el periodo fermentativo en el mes junio registra temperaturas menores de la masa fermentante con respecto a los meses septiembre, agosto y julio.

En las cosechas efectuadas durante cuatro meses, el mes de septiembre se aprecia mayor fermentación, con respecto a los meses julio y agosto que presentan menor fermentación, probablemente influenciado por temperaturas ambientales que generan reacciones exotérmicas asociadas con la actividad microbiana. Ferreira et al. (2013), sostienen que las temperaturas externas bajas dificultan el aumento de temperatura de la masa húmeda dentro la caja fermentadora, en épocas más cálidas del año el proceso de fermentación tiende a ser más rápido, asimismo en zonas con climas calientes la fermentación tarda menos que en otras zonas con temperaturas moderadas.

Peso del grano

La medición del rendimiento en el peso del grano fermentado registrados a la conclusión de la fermentación en 3 cajas individuales construidas de diversas maderas durante 4 meses con una cosecha por mes, se registra sus resultados a continuación:

Tabla 5. Análisis de varianza del peso de grano

Fuente de Variación	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrados medios	F Cal.	Pr. > F
Bloques	3	1,0934	0,3644	285,08	
Tratamientos	2	0,0638	0,0319	24,96	0,0012**
Error experimental "A"	6	0,0076	0,0012	-	-
Mes	3	0,2419	0,0806	7,29	0,0021**
Interacción Trat.por mes.	6	0,1735	0,0289	2,61	0,0532 ns
Bloque por mes	9	1,2130	0,1347	-	-
Error experimental "B"	18	0,1992	0,0110	-	-

F Cal= F calculada; Pr.F= Probabilidad de F; ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo. C.V. = 4,18%.

El análisis de varianza de la Tabla 5 del peso de grano, entre los Tratamientos y mes, se observan diferencias altamente significativas ($Pr < 0,1$), entre la interacción Tratamiento por mes no se observa diferencias estadísticas. Lo que muestra que cada uno de los factores actúa de manera independiente en sus efectos sobre el peso del grano fermentado. Asimismo, se observa en el mismo Cuadro el coeficiente de variación de 4,18% indicando que los datos son homogéneos y altamente confiables, como indica Calzada (1982).

Tabla 6. Promedios del peso de grano y prueba de Tukey por tratamiento.

Tratamientos	Peso (g)	Prueba Tukey (5%)
Quina Quina	2,56	A
Toco	2,52	A
Ochoo	2,47	B

Tratamientos seguidos por la misma letra no significativo.

En la Tabla 6, se observan los promedios de los tratamientos y la prueba de Tukey (5%), entre la caja de Quina Quina con 2,56 g de peso de grano y la caja de Toco con 2,52 g de peso de grano, son estadísticamente superiores en el peso de grano a la caja de Ochoo con 2,47 g de peso de grano. En los promedios de peso del grano en la caja de Ochoo registró menor peso de grano con respecto a las cajas de Quina Quina y Ochoo, debido a una mayor fermentación, estas diferencias probablemente se deben a que en la madera Ochoo ocurre mayor concentración de calor favoreciendo la pérdida de humedad mediante las exudaciones producidas por la actividad microbiana durante el proceso.

El peso del grano depende en primer término de la variedad y en segundo término de la cosecha (CCI, 2001), a esto podemos sumar que el envase de madera también probablemente pueda influir. Por su parte IDIAF (2004), en estudio de evaluación de la calidad del cacao en tres métodos de fermentación con una masa de cacao fresco de 100 kg sostienen, que el peso del grano tiene relación directa con la humedad del grano: observándose en el método montón 45,3 kg; en el método sacos 47,5 kg estadísticamente mayor al método cajas con 38,2 kg, debido a una fermentación deficiente en los primeros dos métodos.

Tabla 7. Promedios del peso de grano y prueba de Tukey por mes.

Tratamientos	Promedio de peso (g)	Prueba Tukey (5%)
Junio	2,64	A
Septiembre	2,48	B
Julio	2,48	B
Agosto	2,47	B

Tratamientos seguidos por la misma letra no significativos.

En la Tabla 7, se observan los promedios de peso de grano y la prueba de Tukey por mes, siendo el mes de junio superior estadísticamente con 2,64 g de peso a los meses de septiembre con 2,48 g de peso, al mes de julio con 2,48 g de peso y al mes de agosto con 2,47 g de peso; y son estadísticamente similares entre los meses de septiembre, julio y agosto.

En los promedios de peso del grano en los meses de septiembre, julio y agosto registraron menor peso con relación al mes de junio, debido a un mayor escurrimiento de las exudaciones observadas. En junio se obtiene valores de peso del grano superiores con respecto a las anteriores, probablemente se deba al volumen de cacao fermentado que retarda la salida del jugo, y las condiciones ambientales en épocas de cosecha.

Al respecto Trujillo (2007), en estudio de evaluación de clones foráneos, selección y caracterización de plantas superiores de cacao en la zona de Alto Beni, indica que los periodos con bastante humedad, hace que las pepas tengan mayor peso y los periodos más secos hace que las pepas bajen de peso, pero así también influye en el índice de mazorca.

Diámetro de grano

En el análisis de varianza de la Tabla 8 de diámetro de grano, entre los Tratamientos y la interacción Tratamiento por mes se observan que no existen diferencias estadísticas ($Pr > 0,05$), y entre los meses se observa diferencias altamente significativas ($Pr < 0,01$). En el mismo, se observa el coeficiente de variación de 1,92 % indicando que los datos son altamente homogéneos y confiables, como indica Calzada (1982).

Tabla 8. Análisis de varianza del diámetro de grano.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrados medios	F Cal.	Pr. > F
Bloques	3	0,0464	0,0154	13,89	
Tratamientos	2	0,0041	0,0020	1,85	0,2363 ns
Error experimental "A"	6	0,0066	0,0011	-	-
Mes	3	0,0206	0,0068	16,31	<,0001**
Interacción Trat.por mes	6	0,0009	0,0001	0,39	0,8758 ns
Bloque por mes	9	0,0243	0,0027	-	-
Error experimental "B"	18	0,0075	0,0004	-	-

F Cal= F calculada; Pr.F= Probabilidad de F; ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo. C.V.= 1,92%.

En la Tabla 9, se observan los promedios de los tratamientos y el desvío estándar, en la caja de Ochoo se obtuvo 1,06 ($\pm 0,05$) cm de diámetro de grano, en la caja de Quina Quina se obtuvo 1,06 ($\pm 0,05$) de diámetro de grano y la caja de Toco obtuvo 1,08 ($\pm 0,04$) de diámetro de grano. En los datos solo se observan diferencias numéricas.

Tabla 9. Promedios de diámetro de grano por tratamiento.

Tratamientos	Promedio de diámetro (cm)	Desvío estándar
Ochoo	1,06	$\pm 0,05$
Quina Quina	1,06	$\pm 0,05$
Toco	1,08	$\pm 0,04$

En la Tabla 10, se observan los promedios de diámetro de grano y la prueba de Tukey por mes, donde el mes de Junio es superior estadísticamente con 1,09 cm de diámetro de grano a los meses de julio con 1,06 cm de diámetro de grano y agosto con 1,04 cm de diámetro de grano, y es similar al mes de Septiembre con 1,08 cm de diámetro de grano, el mes de septiembre estadísticamente es similar al mes de Julio, y es superior al mes de agosto; los meses de julio y agosto son estadísticamente similares en el diámetro de grano.

Tabla 10. Promedios de diámetro de grano y prueba de Tukey por mes.

Tratamientos	Promedio de diámetro(cm)	Prueba Tukey (5%)
Junio	1,09	A
Septiembre	1,08	A B
Julio	1,06	B C
Agosto	1,04	C

Tratamientos seguidos por la misma letra no significativo.

En las cosechas de junio y septiembre se obtuvieron mayor índice de hinchamiento debido a una mayor fermentación, mientras en la cosecha de julio y agosto se aprecia menor índice de hinchamiento resultado de una baja fermentación. El incremento del diámetro de grano ocurre debido a los procesos bioquímicos al interior del grano y está relacionada con la temperatura de la masa de cacao alcanzado durante el proceso. Estas diferencias se pueden atribuir a las condiciones climáticas registradas en la zona durante el estudio.

Porcentaje de fermentación

En la evaluación de los porcentajes de fermentación efectuados en grano seco mediante la prueba de corte, procesadas en 3 cajas construidas de maderas diferentes durante 4 cosechas evaluando una cosecha por mes. El análisis de datos se muestra en la siguiente Tabla 11.

Tabla 11. Análisis de varianza del porcentaje de fermentación.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Sumatoria de cuadrados	Cuadrados medios	F Cal.	Pr. > F
Bloques	3	49,8958	16,6319	14,69	
Tratamientos	2	212,5416	106,2708	93,88	<,0001**
Error experimental "A"	6	6,7916	1,1319	-	-
Mes	3	3,5625	1,1875	0,71	0,5599 ns
Interacción Trat. por mes	6	11,1250	1,8541	1,10	0,3975 ns
Bloque por mes	9	69,8541	7,7615	4,62	
Error experimental "B"	18	30,2083	1,6782	-	-

F Cal= F calculada; Pr.F= Probabilidad de F; ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo. C.V.=1,45 %.

En el análisis de varianza de la Tabla 11 del porcentaje de fermentación, se observa que entre Tratamientos se tiene diferencias altamente significativas ($Pr < 0,01$) en el porcentaje de fermentación, y no se observa diferencias estadísticas entre la fuente de variación mes y entre la interacción tratamiento por mes ($Pr > 0,05$). Asimismo, se observa en el mismo Cuadro el coeficiente de variación de 1,45% indicando que los datos son homogéneos y altamente confiables, como indica Calzada (1982).

Tabla 12. Promedios del porcentaje de fermentación y prueba de Tukey por tratamiento.

Tratamientos	Porcentaje	Prueba Tukey (5%)
Toco	91,2	A
Ochoo	90,0	B
Quina Quina	86,3	C

Tratamientos seguidos por la misma letra no significativo.

En la Tabla 12, se observan los promedios de los tratamientos y la prueba de Tukey (5%) en el porcentaje de germinación, la caja de Toco con 91,2% es superior estadísticamente a la caja de Ochoo con 90,0% y a la caja de Quina Quina con 86,3%, la caja de Ochoo es estadísticamente superior a la caja de Quina Quina.

Entre cajas de diferentes tipos de madera se puede apreciar: la caja de Toco colorado y la caja de Ochoo, sus porcentajes de granos fermentados muestran índices de fermentación mayor que responden probablemente a un buen manejo en caja, mientras en la caja de Quina Quina revelaron un porcentaje inferior con relación a los anteriores debido a mayor presencia de granos violetas con respecto a las demás cajas. Paucara (2011) menciona que en un estudio realizado, el porcentaje de fermentación mediante dos técnicas en recubrimiento de caja: la técnica fibra de vidrio alcanzo porcentaje de fermentación en tres bandejas con: 100, 90 y 80% de granos fermentados; la técnica de yute logró porcentajes de fermentación en tres bandejas con: 80, 50 y 40% de granos fermentados.

Tabla 13. Promedios del porcentaje de fermentación por mes.

Tratamientos	Porcentaje	Desvío estándar
Junio	89,1	±2,8
Septiembre	89,1	±2,7
Julio	88,8	±3,5
Agosto	89,6	±2,6

Entre los meses el porcentaje de fermentación en el Cuadro 13, se obtuvieron los siguientes resultados, junio de 89,1 ($\pm 2,8$) %, septiembre de 89,1 ($\pm 2,7$) %, julio de 88,8 ($\pm 3,5$) % y agosto de 89,6 ($\pm 2,6$) %, no se tienen diferencias estadísticas entre los meses; como indica Peñafiel (2009).

Aunque numéricamente la cosecha de julio es ligeramente inferior, que en los meses de junio, septiembre y agosto. Esto se puede atribuir a los días a la fermentación que demandó cada una de las cosechas hasta su conclusión. Estevenson et al. (1993) citado por Maisincho (2006), indica que la masa de cacao que ha recibido una fermentación normal, debe satisfacer de manera general de 0-2% de almendras pizarras, 35% de almendras parcial o totalmente violetas y 65% de almendras completamente marrones. Asimismo, Ramos (2004) señala que, la proporción de almendras fermentadas en relación con las no fermentadas debe superar el 75%.

CONCLUSIONES

En promedios por tratamiento se tiene 8 ($\pm 0,50$) días para llegar a la fermentación entre las cajas de Ochoo, Quina Quina y Toco colorado, y en consecuencia las diferentes cajas no influyen en los días a la fermentación. En cuanto a las cosechas efectuados entre los meses revelaron periodos de fermentación para junio de 8 días, julio 9 días, agosto 9 días y septiembre de 8 días, sin embargo, las demora en un día en los meses julio y agosto que estuvieron atribuidas a las bajas temperaturas ambientales registradas durante el proceso fermentativo.

En la evaluación de temperaturas de fermentación en las cajas de Toco colorado con 40,67°C y Ochoo 40,67°C que representan las bandejas más apropiadas bajo las condiciones de estudio, seguido por la caja de Quina Quina con una temperatura de 38,33°C. Entre las cosechas los promedios de temperaturas de fermentación de cacao en el mes de septiembre con 42,0°C que alcanzó temperaturas elevadas que favorecen el proceso fermentativo, seguidos por el mes de agosto con 40,1°C y el mes de Julio con 39,8°C. En cambio, en el mes de junio con temperaturas de 36,9°C debido a una fermentación deficiente.

Los promedios de peso de grano de los tratamientos caja Toco colorado con 2,52 g y la caja de Ochoo con 2,47 g, revelaron mayor fermentación debido a las exudaciones, en cambio la caja de Quina Quina con 2,56 g debido a una fermentación deficiente. Entre las cosechas los meses de septiembre con 2,48 g de peso, el mes de julio con 2,48 g de peso y el mes de agosto con 2,47 g de peso mostraron menor humedad debido a una mayor fermentación, mientras que el mes de junio el valor del peso del grano fue superior a las demás debidos a una deficiente fermentación.

En el diámetro de grano no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de cajas, en la caja de Ochoo se obtuvo 1,06 cm de diámetro de grano, en la caja de Quina Quina se obtuvo 1,06 de diámetro de grano y en la caja de Toco se observó 1,08 cm de diámetro de grano. En los promedios de diámetro de grano por mes se observaron diferencias estadísticas, donde las cosechas de junio con 1,09 cm y septiembre con 1,08 cm revelaron valores superiores en diámetro de grano debido a una mayor fermentación, con respecto a los meses de julio con 1,06 cm y agosto con 1,04 cm respectivamente.

En el porcentaje de fermentación entre tratamientos, se observó en las cajas de Toco con 91,2% y la caja de Ochoo con 90,0% ambas bandejas presentan mayor porcentaje de granos marrón debido a un manejo adecuado, con respecto a la caja de Quina Quina con 86,3% de fermentación. Entre los meses en el porcentaje de fermentación

no se observaron diferencias estadísticas, el mes de junio obtuvo 89,1%, septiembre 89,1%, julio 88,8% y agosto 89,6% de granos fermentados.

BIBLIOGRAFÍA

- AGRONEWS. (2023). es un medio de comunicación independiente dedicado a difundir información sobre el sector agropecuario. <https://agronews.com.bo/produccion/agroforestal/1890-bolivia-exporto-cacao-por-mas-de-us-26-millones-y-llego-a-las-chocolaterias-mas-reconocidas>.
- Calzada, B. (1982). Métodos estadísticos para la investigación. Universidad Nacional la Molina, Lima, Perú.
- CCI (Centro de Comercio Internacional). (2001). Cacao Guía de Prácticas Comerciales. Ginebra 104p.
- CIPCA (Centro de Investigación y Promoción del Campesinado). (2007). Manual Beneficiado de cacao criollo. Bolivia. 10p.
- Cochram, W., Cox, G. (1997). Diseños experimentales. Segunda edición. Trillas. México.
- Cros, E., Jeanjean, N. (1995). Cocoa quality: of fermentation and drying. Plantations, Recherche, developpement. 24: 25-27.
- Enríquez, G. (2004). Cacao orgánico guía para productores ecuatorianos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Manual 54. Quito, Ecuador 360p.
- Ferreira, A.C.; Ahnert, D.; Neto, B.; Melo, D. (2013). Guía de beneficiamiento de cacau de qualidade. Instituto Cabruca. Bahia, Brasil. 52p.
- IDIAF (Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales). (2004). Resultados de investigación en Cacao. Santo Domingo, República Dominicana. 73p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2007). Plan Estratégico de la Cacaocultura en Bolivia. La Paz, Bolivia. 51p.
- Litle, T.M. (1987). Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. Segunda edición. México D.F. 268p.
- Maisincho, M. (2006). Fermentación de cacao (*Theobroma cacao*) variedad CCN-51 inoculando *Acetobacter*. Universidad técnica de Ambato. Tesis Ingeniería en alimentos. Ambato, Ecuador. 34p.
- Ortiz, L., Rovedas, G., Graziani, L. (2009). Influencia de varios factores sobre índices físicos del grano en fermentación. Revista científica agronomía tropical. Instituto de Investigaciones Agrícolas. INIA, Aragua, Venezuela. 59(1): 81-88.
- Paucara, P. (2011). Mejora de la calidad del grano (*Theobroma cacao* L.) fermentado mediante el uso de técnicas de amortiguación ante cambios bruscos de temperatura en la zona de Sapecho, Alto Beni. Tesis Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 93p.
- PDM Palos Blancos. (2008). Programa de Desarrollo Municipal Palos Blancos, Honorable Alcaldía Municipal de Palos Blancos.
- Peñafiel, R. W. (2009). Estadística aplicada. Impreso en Artes Gráficas FLOWERS. La Paz, Bolivia. 124p.
- Ramos, G. (2004). La fermentación, el secado y almacenamiento del cacao. In Taller Internacional de Calidad Integral de cacao. INIAP, Quevedo, Ecuador. 44p.
- Senayake, M., E. Janz, K. Bukle. (1995). Effect of variety and location on optimum fermentation requirements of cocoa beans: An aid to fermentation on cottage scale. J. Sci. Food Agric. 6: 461- 465.
- Somarriba, E., Stoian, D., Zelada, E., Palencia, G. (2002). Modernización de la cacaocultura orgánica del Alto Beni. (Viceministerio de Desarrollo Alternativo, BO). CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). La Paz, Bolivia. 69p.
- Stevenson, C., Corven, J., Villanueva, G. (1993). Manual para el análisis de cacao en laboratorio. IICA, PROCACAO, San José, Costa Rica. 108p.
- Tomlins, K., Baker, D., Daplyn P., Adomako, D. (1993). Effect of fermentation and drying practies on the chemical and physical profiles of Ghana cocoa. Food Chem. 46:257-263.
- Trujillo, G., 2007. Establecimiento y manejo del cultivo de cacao. Manual de capacitación en la producción ecológica. PIAF/EL CEIBO. Alto Beni, Bolivia. 69 p.