



Caracterización morfológica, fisicoquímica y microbiológica del cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) en Ecuador

Morphological, physicochemical and microbiological characterization of Macambo cocoa (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) in Ecuador

Vera-Chang, Jaime Fabián¹

Vásquez-Cortez, Luis Humberto^{2*}

Zapata-Quevedo, Karla Lizbeth¹

Rodríguez-Cevallos, Sanyí Lorena¹

¹Facultad de Ciencia de la Industria y Producción, Carrera Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Agroindustria, Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo, Los Ríos, Ecuador

Recibido: 10 Ene. 2024 | **Aceptado:** 02 Jun. 2024 | **Publicado:** 10 Jul. 2024

Autor de correspondencia*: lvazquezc@utb.edu.ec

Cómo citar este artículo: Vera-Chang, J. F., Vásquez-Cortez, L. H., Zapata-Quevedo, K. L. & Rodríguez-Cevallos, S. L. (2024).

Caracterización morfológica, fisicoquímica y microbiológica del cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) en Ecuador. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 4(2), e657. <https://doi.org/10.51252/raa.v4i2.657>

RESUMEN

El cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.), una variedad menos conocida en comparación con el cacao criollo o forastero, es un recurso valioso en el Ecuador por sus cualidades distintivas. La presente investigación buscó caracterizar los principales parámetros físicos, químicos y microbiológicos del cacao Macambo cultivado en los terrenos de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. El diseño experimental consistió en un diseño al azar bifactorial con 9 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos variaron según la división de la mazorca y los niveles de fermentación, utilizando cajas Rohan, fundas de polietileno y sacos de yute. Se aplicó un tiempo de fermentación de 72 horas, seguido de 6 días de secado al sol para reducir la humedad, los resultados mostraron que la fermentación de las almendras de la parte alta de las mazorcas en sacos de yute resultó en la menor humedad registrada (7,41%). Aunque los tratamientos exhibieron resultados similares en cenizas, se observó un pH más alto en el tratamiento T3 (6,12). Además, la medición del grado fermentativo fue concluyente y el nivel de cadmio se encontró dentro de los límites aceptables según las normativas. No se detectó crecimiento microbiológico en las almendras secas.

Palabras clave: cadmio; fermentación; humedad; microbiología; pruebas físicas

ABSTRACT

Macambo cocoa (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.), a lesser known variety compared to Criollo or Forastero cocoa, is a valuable resource in Ecuador for its distinctive qualities. The present research sought to characterize the main physical, chemical and microbiological parameters of Macambo cocoa grown on the lands of the State Technical University of Quevedo. The experimental design consisted of a two-factor randomized design with 9 treatments and 3 replications. The treatments varied according to the division of the pod and the levels of fermentation, using Rohan boxes, polyethylene covers and jute bags. A fermentation time of 72 hours was applied, followed by 6 days of sun drying to reduce humidity, the results showed that the fermentation of the almonds from the upper part of the pods in jute bags resulted in the lowest humidity recorded (7.41%). Although the treatments showed similar results in ash, a higher pH was observed in the T3 treatment (6.12). In addition, the measurement of the fermentative degree was conclusive and the cadmium level was within the acceptable limits according to the regulations. No microbiological growth was detected in the dried almonds.

Keywords: cadmium; fermentation; moisture; microbiology; physical tests



1. INTRODUCCIÓN

El grano de cacao es de gran importancia tanto para los países productores como para los consumidores, debido a su impacto significativo en la comercialización y el consumo, que genera ingresos económicos sustanciales (Vásquez et al., 2023). Este grano es un ingrediente esencial en una variedad de industrias, que incluyen la confitería, alimentos y bebidas, así como la farmacéutica y la cosmética. La sostenibilidad en su producción es crucial. Aunque el cacao es originario de la Amazonía, goza de fama mundial y se adapta a una amplia variedad de suelos. Su uso se remonta a hace aproximadamente 3500 años en Zamora Chinchipe, donde formaba parte de la dieta básica diaria (Gómez et al. 2019).

El árbol de cacao es una especie de género *Theobroma*, de la familia *Malvaceae*, misma que cuenta con más de 22 especies, entre ellas el *Theobroma bicolor* conocido como Macambo o pataxe, pataxe cacao, pataste patashe, cacao cimarrón, otras denominaciones que se otorgan es cacao blanco como es reconocido en el contexto ecuatoriano. Este tipo de cacao es originario de la zona tropical de América, tiene una amplia distribución, se encuentra en la Amazonía Colombiana, Peruana, Brasileña, así mismo en Ecuador, Venezuela, México, siendo aquí donde se encuentran cuatro variedades: Nacional, Trinitario, Criollo y Forastero, que se diferencian por forma, color y sabor (Vera et al. 2022).

Existen pocos estudios disponibles que determinen la caracterización de los principales parámetros físicos del cacao Macambo y su proceso de postcosecha en Ecuador. Por consiguiente, esta investigación busca generar resultados que permitan evaluar sus bondades y así motivar su conservación. Refiriendo al cacao *Theobroma bicolor*, en el contexto ecuatoriano es conocido como cacao blanco, en las comunidades kichwa de la Amazonia se lo denomina árbol patas y a las semillas patas muyo, siendo esta consumida por la pulpa del fruto y las semillas tostadas, mismas que se comercializan en los mercados a través de la degustación tipo asados en lugares turísticos (Ponce Sánchez, J., 2020).

1.1. Taxonomía de Macambo

El *Theobroma bicolor*, una especie silvestre, alcanza alturas de 25 a 30 metros con un diámetro de tronco de 20 a 30 centímetros. Su copa es oblonga e irregular, con floración de tonalidad concho de vino. A diferencia del *Theobroma cacao*, sus frutos se desarrollan desde el tronco en vertículos pendulares, siendo el más grande del género. La cáscara es leñosa y el fruto cae al suelo al madurar (Alvarado et al. 2024).

Theobroma bicolor, conocido comúnmente como Macambo, es una especie botánica perteneciente a la clase *Magnoliopsida*, subclase *Caryophyllidae*, orden *Malvales*, y familia *Sterculiaceae*. Este árbol, que forma parte del género *Theobroma*, se distingue por su importancia en diversas regiones de América Latina. En Ecuador, se le conoce como Macambo Patasmuyo o simplemente Patas, mientras que en Perú es llamado majambo, y en Brasil se conoce como cacau de Perú. En Colombia, es conocido como bacau o maraco. El nombre en inglés para esta especie es patashe. *Theobroma bicolor* es apreciado por sus semillas comestibles y su potencial en la industria alimentaria y medicinal, destacándose por sus características nutricionales y su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y tipos de suelos en la región amazónica (Paradas et al. 2019).

La composición nutricional del cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonp.) demuestra que a diferencia de otro tipo de cacao contiene un alto contenido de proteína, fibra y grasa. En el estudio se presenta la composición nutricional y fisicoquímica del fruto y las semillas de *Theobroma bicolor* (Macambo). La composición proximal del fruto seco, basada en 100 g, incluye un 87,90% de humedad, 1,66% de proteína, 0,48% de aceite, 7,44% de carbohidratos, 1,44% de fibra y 1,08% de cenizas, sumando un total del 100% (Sanclemente & Tigrero, 2018),

En cuanto a las semillas de cacao seco de Macambo, la literatura reporta una humedad del 3,55%, pH de 6,03, acidez del 0,452%, contenido de cenizas del 3,529%, contenido de grasas del 50,354%, carbohidratos del 49,245% y proteína del 21,30%. Estas características destacan la composición

diversificada y rica en nutrientes del fruto y las semillas de Macambo, subrayando su potencial tanto nutricional como funcional (Quinteros et al. 2018).

Las semillas de *Theobroma bicolor* son ricas en proteínas, grasas saludables, y micronutrientes como magnesio y hierro. Este perfil nutricional las convierte en un ingrediente valioso para alimentos diseñados para ofrecer beneficios nutricionales específicos, similar al cacao, las semillas de Macambo pueden ser utilizadas en la fabricación de chocolates, bebidas, productos de panadería y confitería, proporcionando una base para la innovación en sabores y texturas.

El cultivo de *Theobroma bicolor* puede contribuir a la sostenibilidad y conservación de la biodiversidad en las regiones amazónicas donde se origina. Fomentar su cultivo y uso puede ayudar a preservar los ecosistemas locales y proporcionar ingresos adicionales a las comunidades agrícolas.

El objetivo principal de esta investigación es realizar una caracterización integral del cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) en Ecuador, abarcando aspectos morfológicos, fisicoquímicos y microbiológicos, con el fin de establecer una base científica para su valorización y potencial aprovechamiento comercial. El estudio se enfoca en caracterizar los principales parámetros físicos, químicos y microbiológicos del cacao Macambo, incluyendo la caracterización fenotípica de la mazorca y física de las almendras fermentadas y secas, la estimación del grado fermentativo en condiciones aeróbicas y anaeróbicas, así como el análisis de la calidad microbiológica de las almendras secas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización de la investigación

El estudio se realizó en laboratorio de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo ubicado en la Finca Experimental La María, a 79° 28'29'24 de la latitud sur 85 msnm, con precipitación promedio de 2442.6 mm, temperatura de 25°C, humedad relativa de 85,15%. Se contó con la participación del laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP) (Vásquez et al. 2023).

2.2. Diseño de la investigación

Para la caracterización y fermentación del cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.), se implementó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo bifactorial que incluyó 9 tratamientos distribuidos en 3 repeticiones, según se detalla en la Tabla 1. Este estudio descriptivo utilizó análisis de varianza (ANOVA) para la evaluación de los resultados. Para la comparación de medias entre tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey con un nivel de significancia establecido en $p < 0,005$.

2.3. Arreglo de los tratamientos de estudio

La Tabla 1 presenta los arreglos de tratamientos de estudio y código, con su descripción específica.

Tabla 1.

Arreglo de tratamientos

N°	Código	Descripción
1	Aoro	Almendras de cacao de la parte alta de la mazorca, fermentada en cajas Rohan.
2	Aos1	Almendras de cacao de la parte alta de la mazorca fermentada en sacos de polietileno.
3	Aoif2	Almendras de cacao de la parte alta de la mazorca fermentadas en sacos de yute.
4	M1ro	Almendras de cacao de la parte media de la mazorca, fermentada en cajas Rohan.
5	M1s2	Almendras de cacao de la parte media de la mazorca, fermentada en sacos de polietileno.
6	M1if3	Almendras de cacao de la parte media de la mazorca, fermentadas en sacos de Yute.
7	B2r1	Almendras de cacao de la parte baja de la mazorca, fermentada en cajas Rohan.
8	B2s2	Almendras de cacao de la parte baja de la mazorca, fermentadas en fundas de polietileno.
9	B2if3	Almendras de cacao de la parte baja de la mazorca, fermentadas en sacos de Yute.

2.4. Obtención de muestra y caracterización morfológica del fruto

En la finca experimental La María, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo se seleccionaron 50 mazorcas procedentes de árboles de *Theobroma bicolor*, posteriormente se realizó su caracterización morfológica siguiendo los parámetros descriptivos de Intriago et al. (2023), tomando para el estudio 10 caracteres los cuales fueron: Peso total de mazorca, largo, número de surcos, circunferencia, ancho de la mazorca.

2.5. Variables morfológicas de las mazorcas

División de la mazorca

Se procedió a colocar la mazorca de forma vertical en una hoja de dibujo técnico de tamaño A1, que tiene una numeración, se obtuvo tu largo total, el dato obtenido del largo total se dividió para 3, quedando la parte superior, media e inferior, el corte de las tres partes de la mazorca se realizó con un machete previamente esterilizado.

Ancho

Después de haber dividido en tres partes las mazorcas, con un “vernier o pie de rey” manual se procedió a la toma de la medida de ancho en centímetros (cm), de cada una tanto parte inferior, parte media y parte superior.

Número de almendras

Después de haber partido y dividido las mazorcas en parte inferior, media y superior, se contabilizó el número de almendras que hay en cada una de las partes.

Peso de almendras

Para la medición de este parámetro se determinó en gramos (g) las almendras de cada una de las partes en una balanza de gramera marca CAMRY electrónica.

Espesor

Para la determinación del espesor se realizó con un “vernier o pie de rey” se hizo la lectura de medida en centímetros (cm), de cada una de las partes de la mazorca.

Peso de mazorca vacía

Se procedió el peso de la mazorca de cada una de las partes tanto inferior, media e inferior de la mazorca vacía en una balanza gramera (g) marca CAMRY electrónica.

2.6. Fermentación del cacao

En el marco del diseño experimental, se llevó a cabo el proceso de fermentación de manera individualizada para las distintas secciones de la mazorca de cacao (superior, media e inferior). Cada una de estas secciones fue sometida a tres métodos diferentes de fermentación: cajas Rohan, fundas de polietileno y sacos de yute, utilizando una capacidad de 2 kg de almendras frescas de Macambo por cada tratamiento. En total, se emplearon 27 kg de masa fresca de cacao para el experimento.

La extracción de las semillas de las mazorcas se realizó de forma manual. Luego, las semillas de la parte alta de la mazorca fueron fermentadas en cajas Rohan, las de la parte media en fundas de polietileno y las de la parte baja en sacos de yute. Todas las muestras se cubrieron con hojas de plátano en la superficie para iniciar la primera etapa de la fermentación, que es anaeróbica. Durante los tres días (72 horas) de fermentación, se monitorearon tres variables clave: temperatura, grados Brix y pH. Estas mediciones se

realizaron antes de iniciar la fermentación anaeróbica y se repitieron cada 12 horas hasta completar el proceso (Erazo et al. 2021).

2.7. Secado del cacao

Después de la fermentación, viene el secado del cacao, donde se procedió a secar las almendras en el sol durante 6 días consecutivos de manera tradicional, obteniendo humedad promedio de las almendras de 6%, luego se procedió hacer un descascarillado manual, para así obtener el cotiledón de la almendra listo para realizar los análisis, para determinar la humedad se utilizó un AQUA BOY KPM (Intriago et al. 2019).

2.8. Pruebas físico-químicas

Determinación de pH

Se determinó el potencial de hidrógeno en el cotiledón de cada tratamiento y repetición siguiendo los siguientes pasos; posterior tomar 10g de muestra de cada muestra de cotiledón y triturar la muestra con un mortero, luego colocar 100 ml de agua destilada y colocar en un matraz junto con la muestra triturada y se mezcla, seguido colocamos el potenciómetro en la muestra y anotamos el resultado, finalmente colocar el potenciómetro en mezcla y tomamos la medida (Vera et al. 2023).

Determinación de temperatura

La temperatura se tomó con un termómetro digital de marca HANNA origen de Estados Unidos, colocando directamente en cada una de las muestras y tratamientos.

Determinación de grados brix

Se colocó una parte de la almendra en un Refractómetro digital de marca OPTI, y se tomó directamente la medida, de todos los tratamientos y repeticiones.

Análisis de ceniza

Todos los materiales utilizados fueron completamente esterilizados y limpios antes de su uso. Posteriormente, se procedió a la implementación de todos los tratamientos y repeticiones según el diseño experimental establecido: Se procedió a lavar cuidadosamente y secar el crisol de porcelana con la misma muestra preparada. Posteriormente, se realizó un segundo lavado, secando el crisol en la estufa ajustada a 100°C durante 30 minutos. Después, se dejó enfriar en el desecador y se pesó con una precisión de aproximadamente 0,1 mg. Sobre el crisol, se pesaron aproximadamente 2 g de muestra con la misma precisión de 0,1 mg. El crisol con su contenido se colocó cerca de la puerta de la mufla abierta durante unos pocos minutos para evitar pérdidas por proyección de material que podrían ocurrir si el crisol se introducía directamente en la mufla. Luego, se introdujo el crisol en la mufla a 600°C hasta obtener cenizas libres de partículas de carbón, lo cual tomó aproximadamente 3 horas. Finalmente, se retiró el crisol con las cenizas, se dejó enfriar en el desecador y se pesó nuevamente con una precisión de 0,1 mg.

Formulación para determinación de cenizas

$$C = \frac{W_2 - W_1}{w_0} \times 100$$

Donde:

W_0 = Peso de muestra (g)

W_1 = Peso del crisol vacío

W_2 = Peso del crisol más la muestra calcinada (Alvarado et al., 2023).

Análisis de humedad

Todos los materiales utilizados fueron completamente esterilizados y limpiados meticulosamente. Se realizaron todos los tratamientos y repeticiones necesarias. Posteriormente, el procedimiento fue el siguiente: se calentó un crisol de porcelana en una estufa durante 30 minutos, en el cual se colocó la muestra. Luego, se permitió que el crisol se enfriara a temperatura ambiente antes de proceder a pesarlo. La muestra fue homogeneizada y se tomaron 2 gramos con una precisión de 0,1 mg. Estos 2 gramos fueron llevados a la estufa a una temperatura de 130°C durante dos horas. Después de este periodo, la muestra fue retirada y se dejó enfriar en un desecador durante media hora antes de proceder a su pesado con precisión.

Fórmula para determinación de humedad

$$\% H = \frac{W_2 - W_1}{w_0} \times 100$$

Donde:

W_0 = Peso de muestra (g)

W_1 = Peso del crisol más la muestra después del secado

W_2 = Peso del crisol más la muestra antes del secado

%MS= 100 - HT

2.9. Pruebas microbiológicas

La preparación de la muestra se realizó mediante maceración con un mortero, a fin de llevar a cabo las pruebas físico-químicas y microbiológicas. Para evaluar la calidad microbiológica del cotiledón, se efectuaron dos pruebas microbiológicas específicas para cada tratamiento y repetición: mohos/levaduras y *Escherichia coli*, pruebas esenciales debido al proceso de secado al sol, a fin de establecer la calidad microbiológica del cacao.

Durante la fermentación de los granos de cacao, existe presencia de diversos microorganismos, como levaduras, bacterias lácticas, bacterias acéticas y hongos filamentosos, fundamentales para el proceso de fermentación del grano. Sin embargo, durante el secado, su concentración disminuye. Los análisis realizados después del descascarillado son cruciales para el control de calidad, ya que en esa etapa es esencial asegurar una manipulación adecuada del alimento (Rodríguez-Lopez, C., 2019).

Prueba microbiológica de *Escherichia Coli*

Para la preparación del medio de cultivo, se mezclaron 25 g de AGAR MACCONKEY TM MEDIA en 500 ml de agua destilada y se homogeneizó la mezcla durante 5 minutos. A continuación, se esterilizaron las cajas Petri, el medio de cultivo, las puntas amarillas y azules para pipetas, y los tubos de microcentrifugación de 2 ml en una autoclave. Luego, todos los materiales se expusieron en la cámara UV durante 15 minutos.

De manera aséptica, se pesaron 0,5 g de cada muestra de cotiledón, se trituraron y se colocaron en un tubo de dilución de 2 ml. Posteriormente, se procedió al sembrado de las muestras en las cajas Petri, las cuales se incubaron en una estufa a 25°C durante 48 horas. Finalmente, se contabilizaron las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) utilizando un contador de colonias.

2.10. Análisis de cadmio

El análisis de cadmio en tejido de cacao se realizó mediante espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GF-AAS). Las muestras de cacao se recolectaron, se secaron a temperatura ambiente y

se maceraron hasta obtener un polvo fino. Se pesaron 0,5 g de cada muestra y se digirieron con 5 ml de ácido nítrico (HNO₃) y 2 ml de ácido perclórico (HClO₄) en un vaso de precipitados calentado gradualmente hasta 150-180°C hasta obtener una solución clara. Después de enfriar, la solución digerida se filtró en un matraz aforado de 50 ml y se llevó a volumen con agua destilada.

Se prepararon soluciones estándar de cadmio (0, 1, 2, 5, 10, 20 ppb) y se analizaron en el GF-AAS para obtener las absorbancias y construir la curva de calibración. Las muestras digeridas se analizaron en el GF-AAS y las concentraciones de cadmio se determinaron utilizando la ecuación de la curva de calibración. Los resultados se expresaron en mg/kg de muestra seca, asegurando precisión y exactitud en la determinación de cadmio en el cacao (Intriago et al., 2019).

3. RESULTADOS

3.1. Características físicas del fruto

Según se aprecia en la Tabla 2 las variables morfológicas de cacao Macambo, el peso total de la mazorca presenta un límite inferior 714 gramos y el límite superior 1443 gramos en cuanto al peso, no obstante el largo rodea un rango entre 21,00 a 25,30 cm, el total de largo de la mazorca fue 25,3 no obstante este tuvo el mayor peso a su vez el total de largo de la mazorca incrementa a mayor peso, los números de surcos no hubo ninguna diferencia numérica, en contexto la circunferencia es mayor al peso de la mazorca, su ancho relativamente es parecido a valores que se asemejan a los encontrados por el autor (Gálvez et al. 2018).

Tabla 2.

Variables morfológicas de la mazorca de cacao Macambo (Theobroma Bicolor)

	Peso total de la mazorca	Longitud de la mazorca	Total, del diámetro de la mazorca	Número de Surcos	Diámetro
	714	21,0	42,5	10	10,8
	915	21,2	43,8	10	10,7
	999	22,3	46,1	10	11,1
	1060	23,0	46,5	11	11,0
	1109	23,7	48,2	11	10,8
	1148	24,7	48,5	11	10,8
	1153	24,7	48,5	10	10,8
	1240	24,1	49,6	10	11,5
	1443	25,3	52,6	10	11,5
Promedio	1087	23	47	10	11

Según Intriago et al. (2023), en su investigación presenta las características del *Theobroma cacao* L.; al comparar estas características con las del cacao común, se observan diferencias notables. Las mazorcas de (*Theobroma cacao* L.) generalmente pesan entre 400 y 800 gramos, aunque pueden alcanzar hasta 1 kg en algunas variedades, lo que indica que el Macambo es considerablemente más pesado. En términos de longitud, las mazorcas de cacao común suelen medir entre 15 y 30 cm, por lo que el largo de las mazorcas de Macambo está dentro de este rango, aunque las más largas tienden a ser más pesadas que las del cacao común.

Morfología del Macambo

En la tabla 3, se muestra las características de almendra del cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.), en cuanto a al ancho no presentó diferencia estadística significativa $p \leq 0,05$ de Tukey no obstante en la parte alta de la mazorca tuvo mayor tamaño 11,66 cm a diferencia de la parte baja tuvo menor tamaño correspondiente a 9,64 cm.

Tabla 3.

Variables morfológicas de la mazorca de cacao Macambo y almendras de cacao fresca (*Theobroma Bicolor Humb Bonp*).

Factor		Variable				
División Mazorca		Ancho (Cm)	Espesor (Cm)	Nº de almendras	Peso de almendras frescas (g)	Mazorcas sin almendras (peso)
Alta		11,16	1,01	9,93	89,07	212,36
Media		10,14	1,05	17	176,10	220,64
Baja		9,64	1	10,13	96,98	187,91
Probabilidad	EEMM ±	1,05	1,24	0,4	4,32	7,33
	Clasificación morfológica	0,3655	0,3748	<0,0001**	<0,0001 **	0,0056*

Nota: **= Altamente significativo ($p < 0.01$); *= Significativo ($p < 0.05$).

Para la otra variable de Espesor no existió un comportamiento estadístico significativo en cuanto a la prueba de rangos múltiples de Tukey $p \leq 0,05$ siendo los datos semejantes en cuanto a la división de la mazorca.

En cuanto a la variable de Número de almendras presentó diferencia estadística muy significativa a la prueba de rango múltiples de Tukey a la probabilidad $p \leq 0,05$ donde se evidenció la mayor cantidad de almendras en la parte media de la mazorca con un promedio de 17 habas de Macambo por lo contrario la parte alta fue de menor cantidad de habas de Macambo un valor de 9,93 almendras.

Correspondiente a la variable de peso de pepas se encontró diferencia altamente significativa según la prueba de Tukey $p \leq 0,05$ donde la parte media de la mazorca en cuanto al peso de almendras tuvo mayor valor de 176,10 gramos, donde hubo menor peso fue en la parte alta de la mazorca 89,07 gramos.

En el caso de la variable del peso de la mazorca sin almendras presentó un comportamiento estadístico significativo en cuanto a la prueba de Tukey $p \leq 0,05$ la parte donde existió mayor peso sin almendras en la mazorca fue la parte morfológica media con 220,64 y el peso menor fue la parte baja con un valor de 187,31.

Datos muy distintos obtuvo Parada et al. (2019), con respecto al peso de la mazorca sin almendras frescas lo cual tuvo un valor de 637,63 gramos, correspondiente está dentro del rango peso de la cáscara con la investigación realizada cual valor fue 620,91 gramos, se puede mencionar que los *Theobroma bicolor* (Patashte) de Honduras se evidencia una cáscara más gruesa (cascarudas).

Variable de temperatura

Durante el proceso de fermentación no se detectaron diferencias estadísticas significativas en la temperatura variable ($p < 0,05$ según la prueba de Tukey). En la Tabla 4 se presentan los promedios de las temperaturas registradas en las almendras de cacao Macambo (*Theobroma bicolor Humb & Bonpl.*) durante los tres días consecutivos de fermentación. La temperatura inicial fue más alta en la parte baja de la mazorca, registrando 29,73°C, seguida por la parte media con 29,70°C y la parte alta con 29,50°C; las almendras fueron tomadas de la parte baja, alta y media de la mazorca.

Tabla 4.

Temperatura en la etapa fermentativa del cacao Macambo (*Theobroma bicolor Humb & Bonpl.*).

Factor		Variable		
División mazorca	Método fermentación	Temp1	Temp2	Temp3
Alta	Rohan	29,50	39,30	45,30
	Sacos polietileno	29,63	38,37	45,37

	Sacos de yute	29,63	35,27	39,57
Media	Rohan	29,57	39,40	45,57
	Sacos polietileno	29,57	39,70	45,30
	Sacos de Yute	29,70	35,77	38,87
Baja	Rohan	29,57	39,27	45,87
	Sacos polietileno	29,73	39,17	45,73
	Sacos de Yute	29,60	36,17	39,77
	EEMM±	0,05	0,18	0,07
Probabilidad	División morfológica Mazorca	0,8282	0,0491*	<0,0001**
	Método de Fermentación	0,3007	<0,0001**	<0,0001**
	División de Mazorca*Métodos de Fermentación	0,6547	0,2642	0,0085*

Nota: **= Altamente significativo ($p < 0.01$); *= Significativo ($p < 0.05$).

En el último día de fermentación, la temperatura mostró diferencias altamente significativas según la división morfológica de la mazorca. La parte baja registró la mayor temperatura (45,87°C), seguida por la parte media (45,57°C) y la parte alta (45,37°C). En cuanto al método de fermentación, las cajas Rohan alcanzaron la temperatura final más alta (45,58°C), seguidas por las fundas de polietileno (45,46°C). Los sacos de yute tuvieron la temperatura final más baja (39,40°C), mostrando diferencias altamente significativas.

En el factor de interacción entre división de la mazorca*métodos de fermentación no se evidenció una diferencia estadística significativa a la probabilidad.

De acuerdo a lo encontrado por Vásquez et al. (2022), en fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) por método de cajas Rohan de la variedad Nacional presentó en el cuarto día (final) de fermentación 41,16°C y en el cacao Trinitario siendo un tipo de cacao tuvo un valor final 41,33°C, guarda relación en cuanto los encontrados en el presente estudio, de acuerdo a la investigación por Alvarado et al. (2022) en fermentación de cacao por cajas micro fermentadoras su valor fue 41,48 °C, cual valor está por arriba de los datos encontrados, Cedeño et al. (2023) realizó una fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cajas micro fermentadoras y sacos de yute los cuales midieron por 5 días la fermentación 38,67°C y 37,67°C; valores diferentes presentó (Vera et al. 2022) en la fermentación de (*Theobroma cacao* L.) en híbridos experimentales con respecto a la temperatura fue menor porcentaje.

Variable pH

Durante los 3 días de fermentación de las almendras de cacao Macambo, no se observaron diferencias estadísticas significativas en el pH inicial según la división morfológica de la mazorca, como se muestra en la Tabla 5. Sin embargo, en los diferentes métodos de fermentación, se encontró que los sacos de yute mostraron el pH más alto (6,39), mientras que las cajas Rohan registraron el pH más bajo (6,18).

Tabla 5.

Determinación de pH en postcosecha de Theobroma bicolor

Factor		Variable		
División mazorca	Método fermentación	pH1	pH2	pH3
Alta	Rohan	6,23	5,88	5,59
	Sacos polietileno	6,23	5,78	5,57

	Sacos de yute	6,39	6,19	5,99
Media	Rohan	6,28	5,79	5,53
	Sacos polietileno	6,29	5,75	5,53
	Sacos de Yute	6,20	6,06	5,91
Baja	Rohan	6,18	5,74	5,56
	Sacos polietileno	6,24	5,72	5,52
	Sacos de Yute	6,30	6,09	5,91
	EEMM±	0,02	0,01	0,01
Probabilidad	División morfológica Mazorca	0,2191	<0,0001**	0,0047*
	Método de Fermentación	0,0370*	<0,0001**	<0,0001**
	División de Mazorca*Métodos de Fermentación	0,0035*	0,2246	0,7580

Nota: **= Altamente significativo ($p < 0.01$); *= Significativo ($p < 0.05$).

La interacción entre la parte morfológica de la mazorca y los métodos de fermentación reveló diferencias significativas, destacando una menor acidez (pH 6,23) en las almendras de la parte alta de la mazorca fermentadas en cajas Rohan. En el segundo día, se observaron diferencias muy significativas en el pH entre la parte alta (6,19) y la parte baja (5,72) de la mazorca de Macambo.

Vásquez et al. (2022), indica que el valor inicial en cuanto al primer día de fermentación fue para el cacao Nacional 3,83, el mismo sentido la variedad Trinitario fue 3,50, datos muy distintos a los encontrados en el *Theobroma bicolor* fermentados en cajas Rohan sus valores son altos que al (*Theobroma cacao* L.) llegando un pH final de en el Nacional 5,10 y Trinitario 4,60, no guarda relación con los pH final de esta investigación, de acuerdo a Alvarado et al. (2022); su valores están cercanos a los de pH final en la etapa de fermentación de siendo el valor se acerca es 5,44 a 5,52 de pH cacao Macambo.

Gálvez et al (2016), En la investigación realizada en México sobre la determinación química del (*Theobroma bicolor*), se encontró que el pH era de 6,03, un valor mayor al observado en el presente estudio, lo que podría atribuirse a factores geográficos y a las condiciones específicas de la fermentación. Durante la fermentación del cacao, diversos microorganismos como levaduras, bacterias lácticas y bacterias acéticas metabolizan los azúcares de la pulpa, produciendo alcoholes y ácidos orgánicos que penetran en las almendras, causando cambios bioquímicos significativos. Externamente, la fermentación descompone la pulpa y produce ácido acético, mientras que internamente

Estos ácidos y el aumento de temperatura rompen las paredes celulares de las almendras, liberando enzimas y precursores de sabor. Estos procesos bioquímicos tienden a disminuir el pH de las almendras, aunque la magnitud de este cambio depende de la duración y control de la fermentación, las condiciones ambientales y la composición inicial de la pulpa, que varían según la región y la variedad del cacao (Vera et al., 2023).

Grados Brix

En la tabla 6, durante la fermentación de almendras de Macambo, los sólidos solubles fueron evaluados. En la división morfológica de la mazorca, no hubo diferencias significativas, con la parte baja mostrando el valor más bajo (13,70 °Brix) y la parte media el más alto (14,63 °Brix). En los métodos de fermentación, no se observaron diferencias estadísticas. La interacción entre la división de la mazorca y los métodos de fermentación no mostró comportamiento estadístico significativo según la prueba de Tukey.

Tabla 6.
Brix en la etapa fermentativa *Theobroma bicolor*

Factor		Variable		
División mazorca	Método fermentación	Brix1	Brix2	Brix3
Alta	Rohan	14,43	9,40	5,87
	Sacos polietileno	14,50	9,36	6,16
	Sacos de yute	13,93	10,86	7,22
Media	Rohan	14,23	9,53	5,55
	Sacos polietileno	14,23	9,70	5,13
	Sacos de Yute	14,63	11,03	7,04
Baja	Rohan	13,70	9,73	5,34
	Sacos polietileno	14,26	9,66	5,69
	Sacos de Yute	14,50	11,16	7,16
	EEMM±	0,13	0,07	0,06
	División morfológica Mazorca	0,5221	0,0210*	<0,0001**
Probabilidad	Método de Fermentación	0,3943	<0,0001**	0,0013*
	División de Mazorca*Métodos de Fermentación	0,0673	0,8874	0,0013*

Nota: **= Altamente significativo ($p < 0.01$); *= Significativo ($p < 0.05$).

En la variable del °Brix 2 en cuanto al factor de división morfológica se puede observar donde presentó mayor porcentaje de sólidos solubles 9,36 en las almendras de la parte alta de la mazorca, caso contrario ocurrió en las almendras de la parte baja de la mazorca 11,16 sólidos solubles; con respecto al factor de métodos de fermentación tuvo un comportamiento altamente significativo en cuanto a la probabilidad de Tukey $p \leq 0.05$, el cual tuvo mayor de porcentaje de sólidos solubles el método de fermentación por sacos de yute 11,16 °Brix y el valor más bajo correspondió a 9,40 fermentados por cajas Rohan.

El análisis ANDEVA con prueba de Tukey reveló diferencias altamente significativas ($p \leq 0,05$) en el °Brix de las almendras de cacao Macambo. La parte alta de la mazorca tuvo el valor más alto (7,22), mientras que la parte media tuvo el más bajo (5,13). El método de fermentación también influyó, siendo sacos de yute el más alto (7,22) y cajas Rohan el más bajo (5,34). La interacción mostró que las almendras de la parte alta fermentadas en sacos de yute tuvieron el valor más alto, mientras que las de la parte baja fermentadas en cajas Rohan tuvieron el menor.

En concordancia de lo anterior de acuerdo al estudio de Vásquez et al. (2022), en el °Brix inicial en fermentación de cacao Nacional en 4 días de estudio tuvo un valor de 13,12 °Brix hasta 10,03 °Brix, y el Trinitario 12,78 a 8,19 °Brix, se puede evidenciar que el *Theobroma bicolor* en el tercer día de estudio tuvieron 14,43 °Brix inicial a 5,87 final °Brix, en secuencia de lo mencionado Alvarado et al. (2022) en la fermentación de cacao menciona que los sólidos solubles son consumidos por los microorganismos presentes en el proceso de postcosecha, tanto el día 1 13,47 °Brix como el día 3 6,18°Brix guarda relación los valores, según Cedeño et al. (2023) al pasar más días de fermentación los sólidos solubles aumentan.

Variabes Físicas

Según la tabla 7, el cuadro de variables físicas de *Theobroma bicolor* con respecto al cuadro de ANOVA de la variable de Humedad después del secado de las almendras de cacao en base al factor de división

morfológica de la Mazorca no registró diferencia estadística significativa en cuanto a la probabilidad de Tukey $p \leq 0.05$ el mismo comportamiento registró el factor de método de fermentación, referente a la interacción de la mazorca*método de fermentación no presentó un comportamiento estadístico.

Tabla 7.*Variables físicas Theobroma bicolor*

Factor		Variable		
División mazorca	Método fermentación	Humedad	Ceniza	pH Almendra Seca
Alta	Rohan	7,49	5,00	5,82
	Sacos polietileno	7,48	4,94	5,87
	Sacos de yute	7,41	4,82	6,12
Media	Rohan	7,62	4,91	5,77
	Sacos polietileno	7,71	5,08	5,83
	Sacos de Yute	7,50	5,14	6,06
Baja	Rohan	7,55	5,07	5,63
	Sacos polietileno	7,52	4,89	5,84
	Sacos de Yute	7,53	5,22	6,10
EEMM±		0,09	0,12	0,02
Probabilidad	División morfológica Mazorca	0,5334	0,6459	0,0449
	Método de Fermentación	0,7675	0,864	<0,0001**
	División de Mazorca*Métodos de Fermentación	0,9707	0,7007	0,0971

Nota: **= Altamente significativo ($p < 0.01$); *= Significativo ($p < 0.05$).

No se encontraron diferencias estadísticas significativas en la variable de contenido de cenizas en relación con la división morfológica de la mazorca ni entre los distintos métodos de fermentación. La interacción entre la división de la mazorca y los métodos de fermentación tampoco mostró diferencias significativas, aunque se observó un aumento numérico. El valor más alto de contenido de cenizas se registró en la fermentación con sacos de yute de almendras de la parte baja de la mazorca, mientras que lo opuesto se observó en la fermentación con sacos de yute de almendras de la parte alta de Macambo.

La variable de pH del cotiledón de haba seca de Macambo, al considerar la división morfológica de la mazorca, mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$), siendo más alto en las almendras de la parte alta (5,87) y más bajo en la parte media (5,06). En cuanto al método de fermentación, el pH fue significativamente mayor en sacos de yute (6,09) y menor en cajas Rohan (5,63). La interacción de división de mazorca y método de fermentación no presentó diferencias estadísticas significativas.

En comparación de lo registrado por Paradas et al. (2019) su humedad correspondió un valor de 4,33% lo cual se asemeja con los valores encontrados por Gálvez (Avendaño-Arrazate, C., 2016) una humedad de 3,55% sin fermentar, lo cual en la presente investigación llegó a una humedad entre 7,41% a 7,62%, según la normativa de cacao INEN 176 (INEN, 2018) cual valor no debe ser ni mayor ni menor a 7% no es recomendable un valor mayor por motivo que puede proliferar microorganismos que afecten la calidad del chocolate por lo tanto si el valor es menor a 7 el rendimiento disminuye por motivo que los precursores de aroma se verían afectados y no es aceptado en mercados internacionales, en cuanto (Tinajero et al. 2021) encontró humedad en almendras de Pataxte que rodea entre 3,1% a 20,5% por siguiente indica que el Macambo tiene mucho mucílago.

Avendaño-Arrazate, C. (2016) en la determinación de Ceniza fue menor de 3,52, no obstante, el valor guarda relación a Tinajero et al. (2021) 2,23 a 2,35 en la evaluación de determinación de cenizas en

almendras de *Theobroma bicolor* sin fermentar, lo cual los datos de ceniza de (Parada et al., 2019) en Honduras analizó las cenizas en almendras de Macambo el cual está por debajo de los valores encontrados en la presente investigación 4,33%.

De acuerdo a Amores et al. (2009), indican que en cacao Nacional su pH en almendras secas es 5,20 lo cual el comportamiento del Macambo es menor al cacao convencional.

De acuerdo con Vera et al. (2024), la humedad en una investigación por Quinteros, en Perú. Se menciona que en la humedad tiene un porcentaje de 7,09%, estando en concordancia encontrado en esta presente investigación, el mismo autor indica que las muestras de un cacao de alta calidad, los valores catalogados seguros, están en un rango de 7 y 8%, por lo cual se le tiene la actividad fermentativa y ayuda a eliminar la disponibilidad de contenido de agua en la almendra del Macambo.

3.2. Análisis Microbiológicos

Análisis Mohos y Levaduras en el cotiledón de las almendras del cacao

Según los resultados encontrados en la Tabla 8, en el análisis de mohos y levaduras se puede determinar que existió el crecimiento de una UFC en cuatro tratamientos, lo que significa que se encuentran en los rangos permisibles de acuerdo a la Norma INEN 176 para el consumo humano, o a su vez para realizar un siguiente proceso a las almendras como es el chocolate (INEN, 2018).

Tabla 8.

Resultados del análisis de Mohos y Levaduras en las almendras fermentadas y secas de cacao Macambo (Theobroma bicolor Humb & Bonpl.).

TRAT	MEDIAS
T8	9,67e+00 a
T5	9,67e+00 a
T2	6,33e+00 ab
T9	5,00e+00 b
T3	3,33e+00 bc
T4	3,30e-01 c
T6	3,30e-01 c
T1	0,00e+00 c
T7	0,00e+00 c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Análisis de *Escherichia coli* en almendras de cacao

Se puede observar que existió una ausencia total de Unidades Formadoras de Colonia en ninguno de los tratamientos y repeticiones de las almendras de cacao fermentadas, lo que explica que no hubo contaminación y tampoco desarrollo de microorganismos durante el proceso de fermentación y el secado de las almendras de cacao

Análisis de cadmio a la muestra de cotiledón de almendra de cacao

En lo encontrado en este estudio en el análisis de cadmio en la Tabla 9 se muestra los contenidos de cadmio que están por debajo de los límites permisibles que son 0,80 mg/kg de cadmio.

Tabla 9.

Análisis de cadmio la almendra

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	Cd/mg kg
1189	Alto-Medio-Bajo	0,19

De acuerdo a la Unión Europea (U/E) 2021/1323 de la COMISIÓN nos indica la norma que el contenido máximo de cadmio es hasta 0.80 mg/kg (Comisión Europea, 2021).

La conformidad de los niveles de cadmio en el cacao Macambo (*Theobroma bicolor*) subraya su potencial como una alternativa frente al cacao común (*Theobroma cacao*), especialmente en mercados latinoamericanos donde el cadmio representa un desafío significativo. Este hallazgo destaca la capacidad del Macambo para cumplir con los estándares regulatorios internacionales, asegurando la viabilidad económica y la sostenibilidad del cultivo en Ecuador y otros países productores.

CONCLUSIONES

La investigación sobre las mazorcas de cacao Macambo (*Theobroma bicolor*) reveló que el método de fermentación en sacos de yute resultó en almendras con la menor humedad (7,41%) y el pH más alto (6,12). A lo largo del estudio, el grado fermentativo mostró una disminución lineal de grados Brix, destacando el T4 (7,22) y el más bajo, el T5 (5,13). Aunque no se observaron cambios estadísticos significativos en el pH con el tiempo, la temperatura aumentó con los días de estudio.

Los análisis microbiológicos no detectaron *Escherichia coli*, pero sí se observó crecimiento de mohos y levaduras en tratamientos sin aire durante la fermentación. La medición de parámetros físicos y morfológicos es crucial para la estandarización y calidad del fruto, permitiendo identificar características consistentes que aseguran la uniformidad del producto y optimizan el rendimiento. Existe una correlación significativa entre los parámetros físicos y los resultados físico químicos; por ejemplo, un menor contenido de humedad mejora la conservación del producto y el pH influye en las propiedades organolépticas.

Para potencializar este cultivo, es necesario optimizar los métodos de fermentación, implementar prácticas agrícolas sostenibles y controlar los parámetros de postcosecha. Además, es importante investigar el impacto de diferentes métodos de fermentación y secado, la variabilidad genética del Macambo, la sostenibilidad de las prácticas agrícolas y el potencial nutricional y funcional del cacao, lo cual podría abrir nuevos mercados y aplicaciones para el producto.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Vera-Chang, J. F., Vásquez-Cortez, L. H., Zapata-Quevedo, K.L., Rodríguez-Cevallos, S.

Curación de datos: Vera-Chang, J. F., Vásquez-Cortez, L. H., Rodríguez-Cevallos, S. L.

Análisis formal: Vera-Chang, J. F., Vásquez-Cortez, L. H., Rodríguez-Cevallos, S. L.,

Investigación: Vera-Chang, J. F., Vásquez-Cortez, L. H., Zapata-Quevedo, K. L., Rodríguez-Cevallos, S. L.

Metodología: Vera-Chang, J. F., Vásquez-Cortez, L. H., Zapata-Quevedo, K. L., Rodríguez-Cevallos, S. L.

Redacción - borrador original: Vera-Chang, J. F., Vásquez-Cortez, L. H.

Redacción - revisión y edición: Vera-Chang, J. F., Vásquez-Cortez, L. H.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, Rivadeneira, C., & Intriago, F. (2024). Utilización de extracto natural del Muicle (*Justicia spicigera*) en la elaboración de chocolate a partir de dos variedades de cacao (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl. y *Theobroma cacao* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 4(1), 1–19. <https://doi.org/10.51252/raa.v4i1.633>
- Alvarado, Vera, J., Tuarez, D., & Intriago, F. (2022). Fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.) con adición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y enzima (PPO's) en la disminución de metales pesados. *Centrosur*, 2014, 1–24.
- Alvarado, Vera, J., Vásquez, L., Intriago, G., & Barzola, J. (2023). Tiempos y temperaturas de torrefacción en almendras de tres variedades de cacao nacional, trinitario, forastero para la obtención de nibs. *Suplemento CICA Multidisciplinario*, 7(015), 100–135. <https://doi.org/10.60100/scicam.v7i015.94>
- Amores, Agama, J., Francisco, M., Jimenez, J., Loor, G., & Quiroz, J. (2009). *Nuevos Clones de Cacao Nacional para la producción bajo riego en la península de Santa Elena*. INIAP - Estación Experimental Pichilingue, 134, 1–54. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1583>
- Avendaño-Arrazate, C. (2016). PATAXTE (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.): Especie subutilizada en México. *Agro Productividad*, 9(1), 41–47. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/706>
- Cedeño, Parraga, C., & Intriago, F. (2023). *Inducción de microorganismos eficaces (EM) en la masa fermentativa del cacao (Theobroma cacao L.) y su incidencia las características físico química y antioxidante*. Universidad Técnica de Manabí.
- Comisión Europea. (2021). Reglamento (UE)2021/1323 de la Comisión de 10 de agosto de 2021 que modifica el Reglamento (CE) Nº 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en determinados productos alimenticios. *Diario Oficial de La Unión Europea*, 10(1), 13–18. <https://www.boe.es/doue/2021/288/L00013-00018.pdf>
- Erazo, Bravo, K., Tuárez, D., Fernández, Á., Torres, Y., & Vera, J. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (*theobroma cacao* L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42–55. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153>
- Gómez, Villanueva, S., & Henríquez, M. (2019). Tendencia mundial en la elaboración de productos derivados del cacao. *Revista INGENIERÍA UC*, 26(2), 213–222. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/>
- INEN. (2018). Granos de cacao. Requisitos NTE INEN 176-5. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 5, 8.
- Intriago, Chávez, G., Vásquez, L., Alvarado, K., Escobar, R., Vera, J., Radice, M., & Raju, M. (2023). Evaluación del contenido de cadmio y caracterización fisicoquímica de almendras y pasta de cacao (*Theobroma cacao*). *Innovaciencia*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.15649/2346075X.3411>
- Intriago, Talledo, M., Cuenca, G., Macías, J., Álvarez, J., & Menjívar, J. (2019). Evaluación del contenido de metales pesados en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L) durante el proceso de beneficiado. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 3(26), 17–23. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol3iss26.2019pp17-23>
- Parada, Vásquez, E., Lovo, L., Arias, A., & Molina, M. (2019). Rescate de patashte (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) y cushta (*Theobroma angustifolium*) dos especies promisorias en peligro de extinción en El Salvador. *Revista Minerva*, 2(1), 109–122. <https://doi.org/10.5377/revminerva.v2i1.12531>

- Paradas, Vásquez, E., Lovo, L., Arias, A., & Molina, M. (2019). Rescate de patashte (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) y cushta (*Theobroma angustifolium*) dos especies promisorias en peligro de extinción en El Salvador. *Revista Minerva*, 2(1), 109–122.
<https://doi.org/10.5377/revminerva.v2i1.12531>
- Ponce Sánchez, J. (2020). *Biología reproductiva del cacao blanco (Theobroma bicolor Humb. & Bonpl.) en Napo Ecuador*. Universidad Regional Amazónica IKIAM.
https://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/542
- Quinteros, Quinteros, A., Chumacero, J., & Castro, P. (2018). Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en la aceptabilidad sensorial de pasta alimenticia de Macambo (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.). *Agroindustrial Science*, 8(1), 27–31.
<https://doi.org/10.17268/agroind.sciendo.2018.01.04>
- Rodriguez-Lopez, C. (2019). *Potencial de bacterias aisladas de fermento de cacao para remoción de cadmio y arsénico*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75963>
- Sanclemente, & Tigrero, J. (2018). *Sustitución de Theobroma Cacao por Theobroma (Pataxte) Y su aplicación en repostería*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/41752>
- Tinajero, González-Pérez, A. L., Rodríguez-Castillejos, G. C., Castañón-Nájera, G., & Ruíz-Salazar, R. (2021). Comparación proximal en cacao (*Theobroma cacao*) y pataxte (*T. bicolor*) de tabasco y Chiapas, México. *Polibotánica*, 0(52), 135–149. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.10>
- Vásquez, Rivadeneira, S., Intriago, F., Durazno, L., Vera, J., & Arboleda, L. (2023). Utilización de extracto de jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*) como estrategia para mejorar la calidad del grano de cacao. *InvestiGo*, 4(8), 95–117. <https://doi.org/10.56519/g3zy6452>
- Vásquez, Vera, J., Alvarado, K., Ochoa, K., Intriago, F., Naga, M., & Radice, M. (2023). Calidad sensorial de cuatro cruces experimentales de cacao adicionando pasta de frutas deshidratadas. *Revista Multidisciplinaria Desarrollo Agropecuario, Tecnológico, Empresarial y Humanista*, 5(1), 1–9.
<https://dateh.es/index.php/main/article/view/112>
- Vásquez, Vera, J., Erazo, C., & Intriago, F. (2022). Induction of rhizobium japonicum in the fermentative mass of two varieties of cacao (*Theobroma Cacao* L.) as a strategy for the decrease of cadmium. *International Journal of Health Sciences*, 3(April), 11354–11371.
<https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8672>
- Vera, Benavides, J., Vásquez, L., Alvarado, K., Reyes, J., Intriago, F., Naga, M., & Castro, V. (2023). Effects of two fermentative methods on cacao (*Theobroma cacao* L.) Trinitario, induced with *Rhizobium japonicum* to reduce cadmium. *Revista Colombiana de Investigación Agroindustriales*, 10(1), 95–106. <https://doi.org/10.23850/24220582.5460>
- Vera, Intriago, F., Alvarado, K., & Vasquez, L. (2022). Inducción anaeróbica de bradyrhizobium japonicum en la postcosecha de híbridos experimentales de cacao y su mejoramiento en la calidad fermentativa. *Journal of Science and Research*, 7(2), 50–69.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7723254>
- Vera, Torres, A., Vásquez, L., Alvarado, K., & Intriago, F. (2023). Extraction of cocoa powder for the preparation of a drink by adding mucilage and guava. *Sarhad Journal of Agriculture*, 39(2), 1–10.
<https://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2023/39/s2.10.18>

Vera, Vásquez, L., Alvarado, K., Intriago, F., Raju, M., & Radice, M. (2024). Physical and Organoleptic Evaluation of 12 Cocoa Clones (*Theobroma Cacao* L.) of National Type, in Cocoa Liquor—a Study from Ecuador. *Systems, Smart Technologies and Innovation for Society*, *870*, 199–211.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-51982-6_18