

Caracterización fisicoquímica del licor de cacao (*Theobroma cacao* L.), de las variedades CCN-51 y Nacional considerando el manejo postcosecha y su entorno productivo

Physicochemical characterization of cocoa liquor (*Theobroma cacao* L.), of the CCN-51 and Nacional varieties, considering post-harvest handling and its production environment

Rosa Isabel NARVAEZ NARVAEZ¹, Oscar Andrés MONAR ENCARNACIÓN¹, Juan Alejandro NEIRA MOSQUERA¹, Sungey Naynee SANCHEZ LLAGUNO¹, Luis Humberto VÁSQUEZ CORTEZ^{2,3}, Kelly Estefania VACA ULLOA⁴, Jhoan Alfredo PLUA MONTIEL⁵

1 Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura. Av. General Rumiñahui s/n Sangolquí, Ecuador.

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

3 Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo. San Rafael, Argentina.

4 Autor Independiente.

5 Facultad de Ciencias de la Industria y Producción, Carrera de Agroindustria, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.

Recibido: 8/noviembre/2025. Aceptado: 13/enero/2026.

RESUMEN

Introducción: El cacao ecuatoriano constituye una de las principales fuentes de materia prima para la industria chocolatera internacional. La calidad del licor de cacao depende de factores genéticos, fermentativos y agroecológicos que determinan su composición química y sensorial.

Objetivos: Caracterizar el licor de cacao (*Theobroma cacao* L.) de las variedades Nacional y CCN-51 considerando los tipos de fermentación y las zonas de producción, con el fin de identificar las interacciones que influyen en su calidad.

Material y Métodos: El estudio se desarrolló en tres zonas agroecológicas de Santo Domingo de los Tsáchilas (Ecuador). Se aplicó un diseño trifactorial ($2 \times 2 \times 3$) con tres repeticiones. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos, bromatológicos y sensoriales. Los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0,05$), y se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos.

Resultados: Se encontraron diferencias altamente significativas entre variedades, métodos de fermentación y zonas. *Nacional* presentó menor acidez y mayor contenido de grasa, mientras que *CCN-51* mostró valores superiores de proteínas y cenizas. La fermentación en cascada favoreció la formación de aromas complejos y equilibrio de acidez. Puerto Limón se destacó por obtener resultados más homogéneos y equilibrados en composición y perfil sensorial.

Discusión: Los resultados evidencian la influencia sinérgica de los factores genéticos, ambientales y tecnológicos en la calidad final del licor, así como la necesidad de un manejo integral del proceso poscosecha.

Conclusiones: La combinación óptima de genotipo, fermentación y zona agroecológica permite obtener licores de cacao con propiedades fisicoquímicas y sensoriales superiores, fortaleciendo la diferenciación del cacao ecuatoriano en mercados internacionales.

PALABRAS CLAVE

Theobroma cacao L.; fermentación; análisis sensorial; composición química; calidad poscosecha.

Correspondencia:

Luis Humberto Vásquez Cortez
lvazquezc@utb.edu.ec

ABSTRACT

Introduction: Ecuadorian cocoa represents one of the main raw materials for the international chocolate industry. The quality of cocoa liquor depends on genetic, fermentative, and agroecological factors that determine its chemical and sensory composition.

Objectives: To characterize cocoa liquor (*Theobroma cacao* L.) from Nacional and CCN-51 varieties, considering fermentation types and production zones, in order to identify the interactions that influence its quality.

Materials and Methods: The study was carried out in three agroecological zones of Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. A three-factor factorial design ($2 \times 2 \times 3$) with three replications was applied. Physicochemical, bromatological, and sensory parameters were evaluated. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test ($p < 0.05$), and a hierarchical cluster analysis was performed.

Results: Highly significant differences were found among varieties, fermentation methods, and zones. The Nacional variety exhibited lower acidity and higher fat content, whereas CCN-51 showed higher protein and ash values. Cascade fermentation favored the development of complex aromas and balanced acidity. Puerto Limón stood out for its homogeneous and well-balanced results in composition and sensory profile.

Discussion: The results demonstrate the synergistic influence of genetic, environmental, and technological factors on the final quality of cocoa liquor, as well as the need for an integrated postharvest management approach.

Conclusions: The optimal combination of genotype, fermentation type, and agroecological zone allows the production of cocoa liquors with superior physicochemical and sensory properties, strengthening the differentiation of Ecuadorian cocoa in international fine-chocolate markets.

KEYWORDS

Theobroma cacao L.; fermentation; sensory analysis; chemical composition; postharvest quality.

INTRODUCCIÓN

Ecuador se ubica como el tercer productor mundial de cacao fino de aroma, siendo uno de los principales productos no petroleros de exportación. En 2024, este rubro generó ingresos por 3.617 millones de dólares, triplicando lo alcanzado el año anterior¹. Dentro de las variedades cultivadas, Nacional y CCN-51 son las predominantes, cada una con características organolépticas propias. El cacao Nacional es altamente valorado en la industria del chocolate gourmet por su aroma y sabor, mientras que el CCN-51, aunque inicialmente destinado a producción masiva, también presenta notas florales y frutales comparables².

La fermentación constituye la etapa más determinante en la calidad del cacao, ya que durante ella se generan compuestos bioquímicos como polifenoles, alcaloides (teobromina y cafeína) y ácidos volátiles, los cuales inciden en el sabor, aroma y astringencia del chocolate³. Factores como el tipo de fermentación, duración, volteo y materiales utilizados en los fermentadores influyen en el resultado final. En investigaciones previas se ha evidenciado que la madera, en especial el cedro, aporta mejor sabor y color al grano que otros materiales comparables⁴.

Asimismo, el entorno productivo, clima, temperatura, humedad, genética y manejo agrícola, impacta en la calidad de las almendras y en la aceptación del producto por los mercados internacionales⁵. A partir del grano de cacao se obtienen múltiples subproductos, entre ellos el licor de cacao, pasta base en la elaboración de chocolates y derivados, que se obtiene mediante fermentación, secado, tostado y refinado, sin contener alcohol⁶. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar el licor de cacao de dos variedades de cacao Nacional y CCN-51 (*Theobroma cacao* L.), considerando el manejo poscosecha y las zonas productivas, para identificar los rasgos diferenciales generados por los tipos de fermentación. Se realizaron análisis físico-químicos, bromatológicos y sensoriales con el fin de aportar conocimiento al mejor aprovechamiento y valorización del cacao ecuatoriano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Métodos

Localización

El estudio se realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, con muestras de cacao recolectadas en tres parroquias representativas: San Jacinto ($0^{\circ}13'59''$ S, $79^{\circ}22'26''$ O), La Concordia (0.0003° N, 79.3842° O) y Puerto Limón (0.2716° S, 79.2450° O), durante la temporada lluviosa de mayo de 2020. Los análisis de las muestras se realizaron en la Universidad de las Fuerzas Armadas, sede Santo Domingo de los Tsáchilas.

Diseño experimental

Para este trabajo de investigación se aplicará un ANOVA con arreglo trifactorial $A \times B \times C$. El experimento se conformó de tres repeticiones por tratamiento, con un total de 36 unidades experimentales, como primer factor las variedades de cacao: (Nacional y CCN-51); como segundo factor: tipos de fermentación (Fermentación controlada y Fermentación en cascada) y como tercer factor: Zona de influencias: (San Jacinto, La concordia y Puerto Limón). Para el análisis estadístico se empleó el esquema de ANOVA utilizando la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para la identificación de las medias, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores y niveles del experimento

Factores	Código	Niveles
Variedades de cacao	A	a ₀ = Nacional
		a ₁ = CCN51
Tipos de fermentación	B	b ₀ = Fermentación controlada
		b ₁ = Fermentación en cascada
Zonas de influencia	C	c ₀ = San Jacinto
		c ₁ = La Concordia
		c ₂ = Puerto Limón

Las almendras fueron extraídas manualmente mediante cortes longitudinales y transversales, procurando no dañar las semillas para evitar contaminación por mohos. Posteriormente se pesaron 1000 g de granos por tratamiento para conformar las unidades experimentales. La fermentación se realizó bajo dos modalidades: en cascada, utilizando cajones de madera de laurel dispuestos en forma escalonada y cubiertos con hojas de plátano para favorecer la acción de levaduras y bacterias, y controlada, bajo condiciones de laboratorio en recipientes de vidrio estériles, con volteos a las 24 y 72 h; en ambos casos, el proceso tuvo una duración de cinco días⁷.

El secado se efectuó en tendales de madera a exposición solar directa durante 10–12 días hasta alcanzar un rango 5 a 7 % de humedad⁸. Las almendras secas fueron tostadas a una temperatura de 100 a 150 °C de 20 a 45 minutos, enfriadas a temperatura ambiente y descascarilladas manualmente⁹. Seguidamente, las almendras fueron molidas en molino de acero inoxidable hasta obtener una pasta homogénea, la cual se refinó durante 3 horas para reducir el tamaño de partícula a menos de 30 micras, considerado óptimo para productos derivados del cacao. La masa resultante se moldeó en recipientes plásticos sanitizados de 50 g y se almacenó a 4 °C durante 24 h para estabilizar su estructura¹⁰. Finalmente, las muestras fueron empaquetadas en bolsas plásticas herméticas y almacenadas en condiciones controladas de 18–20 °C y humedad relativa inferior al 60 %, obteniendo así el licor de cacao apto para su análisis fisicoquímico, bromatológico y sensorial¹¹.

Equipos y reactivos

Las muestras de licor de cacao obtenidas fueron sometidas a análisis fisicoquímicos y bromatológicos bajo normas estandarizadas. Se determinó la acidez titulable y pH mediante la titulación de extractos alcohólicos con hidróxido de sodio 0,02 N en presencia de fenolftaleína como indicador, siguiendo metodologías validadas⁶. El contenido de grasa se cuantificó por el método Soxhlet empleando éter de petróleo como disolvente orgánico, lo que permitió obtener el porcentaje lipídico. La humedad

se evaluó colocando 5 g de muestra en estufa a 130 ± 3 °C por 30 minutos, con un rango óptimo esperado del 1,8 al 2¹². El contenido proteico se determinó mediante el método Kjeldahl, en el cual el nitrógeno total se transformó en ion amonio y posteriormente se valoró por titulación con ácido clorhídrico 0,1 N. El contenido de cenizas se obtuvo por calcinación de 5 g de licor en una mufla a 550 °C durante 3 h 30 min, expresando los resultados en porcentaje respecto a la masa inicial. Asimismo, se efectuó un análisis sensorial en el laboratorio de Bromatología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sede Santo Domingo, con un panel de tres catadores especializados. Las muestras fueron calentadas a 50 °C y servidas a 40 °C, evaluándose atributos como acidez, amargor, astringencia y notas florales, frutales y de nuez mediante una escala de 0 a 10 puntos. Para evitar sesgos, entre degustaciones se empleó agua purificada y galleta salada como neutralizadores del paladar¹³.

Diagrama de flujo

El diagrama de flujo representa el proceso agroindustrial integral para la obtención de licor de cacao (*Theobroma cacao* L.), destacando las operaciones postcosecha, fermentativas y de transformación industrial aplicadas a los genotipos *Nacional* y *CCN-51*, procedentes de tres zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano (San Jacinto, La Concordia y Puerto Limón). El proceso inicia con la cosecha de mazorcas maduras y la extracción manual de almendras frescas, que posteriormente se pesan y clasifican para el tratamiento experimental. Las almendras se someten a fermentación controlada y en cascada, realizadas en cajas de madera o bajo condiciones de laboratorio, con monitoreo de temperatura y humedad durante 5 a 7 días. Esta etapa es determinante para el desarrollo de precursores de aroma, color y sabor característicos del cacao fermentado.

Una vez completada la fermentación, las almendras se secan hasta alcanzar una humedad inferior al 7%, para luego pasar a la selección manual, donde se eliminan granos defectuosos. Posteriormente, se procede al tostado controlado (100–140 °C por 35 min), lo que permite intensificar el perfil aromático y reducir compuestos volátiles no deseados. El descascarillado se para la testa del cotiledón, obteniendo nibs listos para la molienda. Durante la etapa de molienda y refinado, los nibs se trituran en molinos especializados hasta obtener una pasta homogénea con partículas menores a 30 µm, dando lugar al licor de cacao, el cual es moldeado y almacenado a 5 °C para su conservación. Finalmente, se realiza el análisis fisicoquímico y sensorial en laboratorio, con el fin de evaluar la calidad y estabilidad del producto final. El flujograma sintetiza las operaciones unitarias clave del proceso postcosecha e industrial del cacao, permitiendo visualizar la secuencia tecnológica desde la recolección de las mazorcas hasta el análisis del licor, integrando los aspectos biotecnológicos, térmicos y fisicoquímicos que determinan la calidad del producto final, como se visualiza en la figura 1.

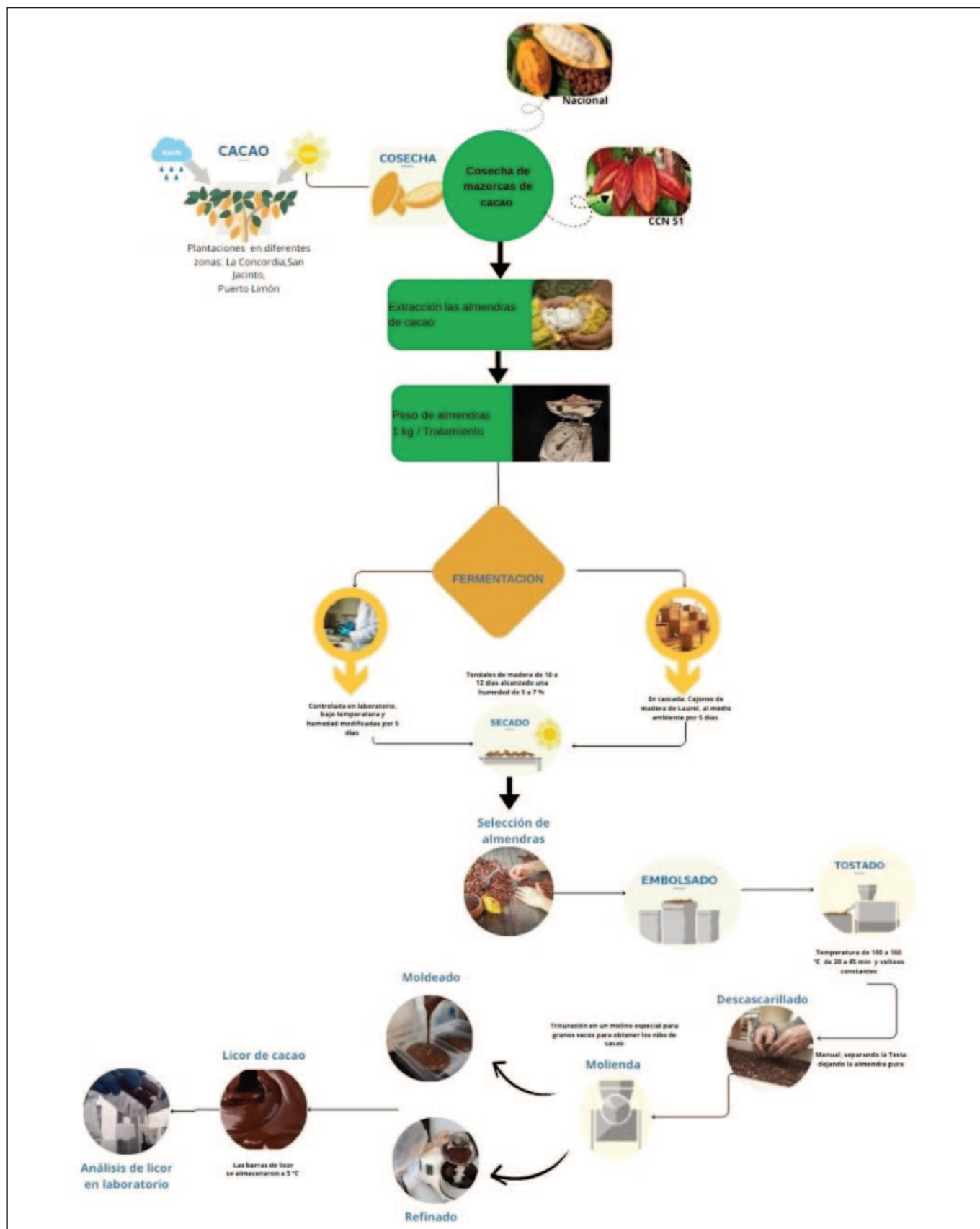


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso agroindustrial para la obtención de licor de cacao (*Theobroma cacao* L.)

RESULTADOS

Interacción varietal, fermentativa y agroecológica en la morfología de la mazorca de cacao: una visión integral hacia la calidad del licor

El análisis de varianza según como se muestra en la Tabla 2, reveló diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) entre las variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.), los métodos de fermentación y las zonas agroecológicas evaluadas. Se registraron también interacciones significativas en la mayoría de las variables, confirmando la influencia conjunta de los factores en los parámetros morfológicos del fruto. El coeficiente de variación (CV) se mantuvo por debajo del 10% en todas las variables, mientras que los errores estándar de la media (EEM \pm) fueron bajos, lo que garantiza la confiabilidad y precisión experimental. En relación con el número de almendras, la variedad CCN-51 presentó los valores más altos en todos los tratamientos, alcanzando un máximo de 67 almendras en la interacción Cascada \times Puerto Limón, mientras que la variedad Nacional registró un rango de 21 a 39 almendras. El peso de mazorca mostró un patrón similar, con valores superiores en

CCN-51, destacándose nuevamente el tratamiento Cascada \times Puerto Limón con 973,67 g, mientras que Nacional osciló entre 419,00 y 867,33 g. Respecto al peso de la almendra, CCN-51 alcanzó valores entre 5,13 y 6,46 g, mientras que Nacional presentó un rango de 2,99 a 5,13 g. La combinación de factores más favorable correspondió a CCN-51 \times Controlada \times Puerto Limón, con un valor de 6,22 g. El peso de la placenta de cacao se vio influenciado significativamente por las interacciones, alcanzando su máximo en CCN-51 \times Cascada \times Puerto Limón (41,65 g), mientras que Nacional registró valores entre 11,10 y 16,03 g. Estos resultados confirman la variabilidad fenotípica entre las variedades, la importancia del método de fermentación y la influencia marcada de la zona de producción sobre los parámetros morfológicos y productivos del cacao.

Evaluación integral de variedades y métodos de fermentación en diferentes zonas agroecológicas: efectos en la calidad del cacao (*Theobroma cacao* L.)

El análisis de varianza como se manifiesta en la Tabla 3, mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) para las

Tabla 2. Efecto de las variedades, métodos de fermentación y zonas de producción sobre el número de almendras, peso de mazorca, peso de almendra y peso de la placenta de cacao en *Theobroma cacao* L.

Factor			Variable			
Variedades	Métodos de fermentación	Zonas	Nº de almendras	Peso de mazorca (g)	Peso de almendra (g)	Peso de la placenta de cacao (g)
Nacional	Controlada	San Jacinto	21,00	419,00	2,99	11,10
Nacional	Controlada	La Concordia	38,00	408,67	3,82	12,12
Nacional	Controlada	Puerto Limón	39,00	867,33	5,13	16,03
Nacional	Cascada	San Jacinto	25,33	444,67	3,10	12,25
Nacional	Cascada	La Concordia	34,00	428,67	3,34	13,19
Nacional	Cascada	Puerto Limón	37,66	830,67	4,88	15,35
CCN-51	Controlada	San Jacinto	51,66	890,00	5,13	31,47
CCN-51	Controlada	La Concordia	58,33	893,33	5,23	29,10
CCN-51	Controlada	Puerto Limón	54,33	933,33	6,22	16,97
CCN-51	Cascada	San Jacinto	59,67	415,33	5,14	33,08
CCN-51	Cascada	La Concordia	64,33	951,33	5,30	32,83
CCN-51	Cascada	Puerto Limón	67,00	973,67	6,46	41,65
	CV		7,85	9,32	6,47	11,28
	EEM \pm		1,25	14,62	0,18	1,92

Tabla 3. Efecto de la variedad, método de fermentación y zona agroecológica sobre la acidez, ceniza, grasa y humedad de las almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor			Variable			
Variedades	Métodos de fermentación	Zonas	Acidez	Ceniza	Grasa	Humedad
Nacional	Controlada	San Jacinto	7,05	5,70	63,89	47,40
Nacional	Controlada	La Concordia	5,10	3,30	47,22	47,75
Nacional	Controlada	Puerto Limón	5,93	6,10	50,03	48,51
Nacional	Cascada	San Jacinto	2,85	7,60	49,91	62,98
Nacional	Cascada	La Concordia	5,10	9,40	52,21	62,98
Nacional	Cascada	Puerto Limón	2,35	3,60	55,67	63,19
CCN-51	Controlada	San Jacinto	6,30	2,90	50,83	48,75
CCN-51	Controlada	La Concordia	9,30	10,00	52,93	48,58
CCN-51	Controlada	Puerto Limón	17,15	8,40	52,80	49,78
CCN-51	Cascada	San Jacinto	10,15	36,50	51,12	60,89
CCN-51	Cascada	La Concordia	4,20	17,90	43,50	53,09
CCN-51	Cascada	Puerto Limón	15,90	6,20	44,19	59,34
	CV		8,95	14,32	7,80	12,05
	EEM \pm		0,42	0,87	1,65	1,98

variables acidez, ceniza y grasa, mientras que la humedad presentó diferencias significativas a nivel de variedades y métodos de fermentación ($p < 0,05$). El coeficiente de variación (CV) fue adecuado en todas las variables (8,95 % para acidez; 14,32 % para ceniza; 7,80 % para grasa y 12,05 % para humedad), confirmando la confiabilidad de los resultados. Los errores estándar de la media (EEM \pm) fueron bajos, lo que respalda la precisión experimental. En relación con la acidez, los valores oscilaron entre 2,35 y 17,15, siendo los más altos en la variedad CCN-51 bajo el método controlado en Puerto Limón. La variedad Nacional registró los valores más bajos en los tratamientos de fermentación en cascada. La concentración de ceniza presentó una variación de 2,90 a 36,50, con los mayores valores en CCN-51 fermentado en cascada en San Jacinto, mientras que los valores más bajos correspondieron a Nacional bajo fermentación controlada. El contenido de grasa se mantuvo dentro de un rango de 43,50 a 63,89. Los valores más elevados se observaron en Nacional bajo fermentación controlada en San Jacinto, mientras que los valores más bajos se registraron en CCN-51 bajo fermentación en cascada en La Concordia y Puerto Limón.

En cuanto a la humedad, los valores fluctuaron entre 47,40 y 63,67. Los valores más altos se encontraron en la variedad Nacional bajo fermentación en cascada, mientras que los más bajos correspondieron a CCN-51 bajo fermentación controlada en San Jacinto y La Concordia.

Estos resultados evidencian la influencia conjunta de la variedad, el método de fermentación y la zona de producción en la expresión de los parámetros químicos de la almendra de cacao.

Variaciones en pH y contenido de proteína de almendras de cacao bajo diferentes variedades, métodos de fermentación y zonas agroecológicas

El análisis de varianza como se demuestra en la Tabla 4, reveló diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) en los valores de pH y proteína de las almendras de cacao, influenciadas por la variedad, el método de fermentación y la zona de producción. El coeficiente de variación (CV) fue bajo en ambas variables (4,85 % para pH y 9,72 % para proteína), y los errores estándar de la media (EEM \pm) se mantuvieron en

Tabla 4. Efecto de la variedad, el método de fermentación y la zona de producción sobre el pH y la proteína de las almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Factor			Variable	
Variedades	Métodos de fermentación	Zonas	pH	Proteína
Nacional	Controlada	San Jacinto	5,05	12,21
Nacional	Controlada	La Concordia	5,05	12,18
Nacional	Controlada	Puerto Limón	5,31	13,48
Nacional	Cascada	San Jacinto	5,69	15,16
Nacional	Cascada	La Concordia	5,24	16,05
Nacional	Cascada	Puerto Limón	5,48	15,16
CCN-51	Controlada	San Jacinto	4,92	16,39
CCN-51	Controlada	La Concordia	5,15	14,42
CCN-51	Controlada	Puerto Limón	5,29	16,78
CCN-51	Cascada	San Jacinto	5,26	16,17
CCN-51	Cascada	La Concordia	5,28	19,23
CCN-51	Cascada	Puerto Limón	5,22	18,18
		CV	4,85	9,72
		EEM ±	0,08	0,65

niveles adecuados ($\pm 0,08$ y $\pm 0,65$, respectivamente), lo que asegura la precisión experimental y la confiabilidad de los datos. En relación con el pH, los valores oscilaron entre 4,92 y 5,69. Los niveles más bajos se registraron en la variedad CCN-51 bajo fermentación controlada en San Jacinto (4,92), mientras que los valores más altos correspondieron a Nacional bajo fermentación en cascada en San Jacinto (5,69). Estos resultados evidencian un comportamiento diferencial entre variedades y métodos de fermentación en distintas zonas agroecológicas.

En cuanto al contenido de proteína, se observaron variaciones entre 12,18 y 19,23 %. La variedad CCN-51 presentó los mayores valores, destacando la fermentación en cascada en La Concordia (19,23 %) y Puerto Limón (18,18 %). La variedad Nacional mostró valores inferiores, con un rango de 12,18 a 16,05 %, independientemente del método de fermentación. Las interacciones variedad \times método y variedad \times zona resultaron significativas ($p < 0,05$), confirmando que los cambios en pH y proteína dependen de la combinación de factores genéticos, poscosecha y ambientales.

Análisis sensorial del licor de cacao

El análisis sensorial del licor de cacao, evaluado bajo escala hedónica de 1 a 9, mostró diferencias claras entre los seis tratamientos (T1–T6) en los atributos considerados: amargor, astringencia, acidez, cacao, floral, frutal y nuez como se visualiza en la Gráfica 1. El amargor fue uno de los atributos dominantes, con valores que oscilaron entre 6,5 y 8,0. Los tratamientos T2 y T5 alcanzaron los puntajes más altos, mientras que T1 y T6 registraron intensidades menores, aunque dentro de un rango moderado-alto. La astringencia siguió un comportamiento paralelo, con valores entre 5,0 y 6,5, destacando T2 y T5 como los de mayor percepción. En cuanto a la acidez, las puntuaciones se distribuyeron entre 3,0 y 5,0, siendo T4 el tratamiento con el nivel más elevado, mientras que T6 presentó el valor más bajo. El atributo nota cacao fue el descriptor más consistente y de mayor intensidad, con un rango estrecho de 7,8 a 8,7, mostrando estabilidad sensorial independientemente del tratamiento, aunque T5 alcanzó el valor máximo. Los descriptores asociados a complejidad aromática, como floral, frutal y nuez, mostraron menor intensidad que los atributos básicos. La nota flo-

ral osciló entre 2,5 y 4,0, con los mayores valores en T3 y T5. El descriptor frutal varió entre 2,8 y 4,2, también con predominio en T5. Finalmente, la nota nuez presentó valores entre 3,0 y 4,5, siendo más intensa en T5 y más reducida en T6. En conjunto, los resultados evidencian que los tratamientos T2, T3 y T5 lograron un equilibrio entre atributos básicos (amargor, astringencia y cacao) y atributos complementarios (floral, frutal y nuez), configurando perfiles sensoriales más complejos. Por otro lado, T6 presentó valores bajos en casi todos los atributos, lo que refleja un perfil menos robusto en comparación con los demás tratamientos, como se muestra en la figura 2.

Análisis de conglomerados jerárquicos de tratamientos fermentativos y procedencias en genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.)

El análisis de conglomerados jerárquicos permitió diferenciar claramente dos grupos entre las variedades. La Nacional formó un grupo sólido gracias a su composición estable, con una acidez entre 2,35% y 7,05%, cenizas entre 3.3 % y 7.6 % y un porcentaje de grada entre 49 % y 64 %, lo que evidencia su consistencia independientemente de método de fermentación utilizado o la localidad. En contraste, la variedad CCN-51 presentó una amplia dispersión en el dendrograma,

asociado a valores más altos en acidez que alcanzaron 15,9%, cenizas 17,9% y proteínas entre 14% y 19%, especialmente bajo el tipo de fermentación en cascada y para la localidad de Puerto Limón. En conjunto, acidez, cenizas y grasa fueron los parámetros más determinantes para separar los grupos, como se muestra en la Figura 3.

Agrupamiento jerárquico de tratamientos fermentativos en genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.)

El Dendrograma basado en variables morfológicas permitió comparar claramente dos grupos: uno de la variedad nacional, caracterizada por un menor número de almendras por mazorca (21–39), pesos menores de mazorca (408–867 g) y la placenta de cacao (11–16 g), así como almendras de tamaño medio (2,99–5,13 g), demostrando su menor rendimiento, pero reconocida estabilidad en calidad. El segundo grupo correspondiente principalmente al cacao CCN-51, que presentó un mayor número de almendras (51–67), pesos mayores de las mazorcas (890–973 g) y la placenta de cacao (29–41 g), junto con almendras de mayor tamaño (hasta 6,46 g), confirmando su orientación hacia rendimientos altos y mayor producción de granos. En conjunto, los rasgos morfológicos diferenciaron de manera efectiva ambas variedades: Nacional como un mate-

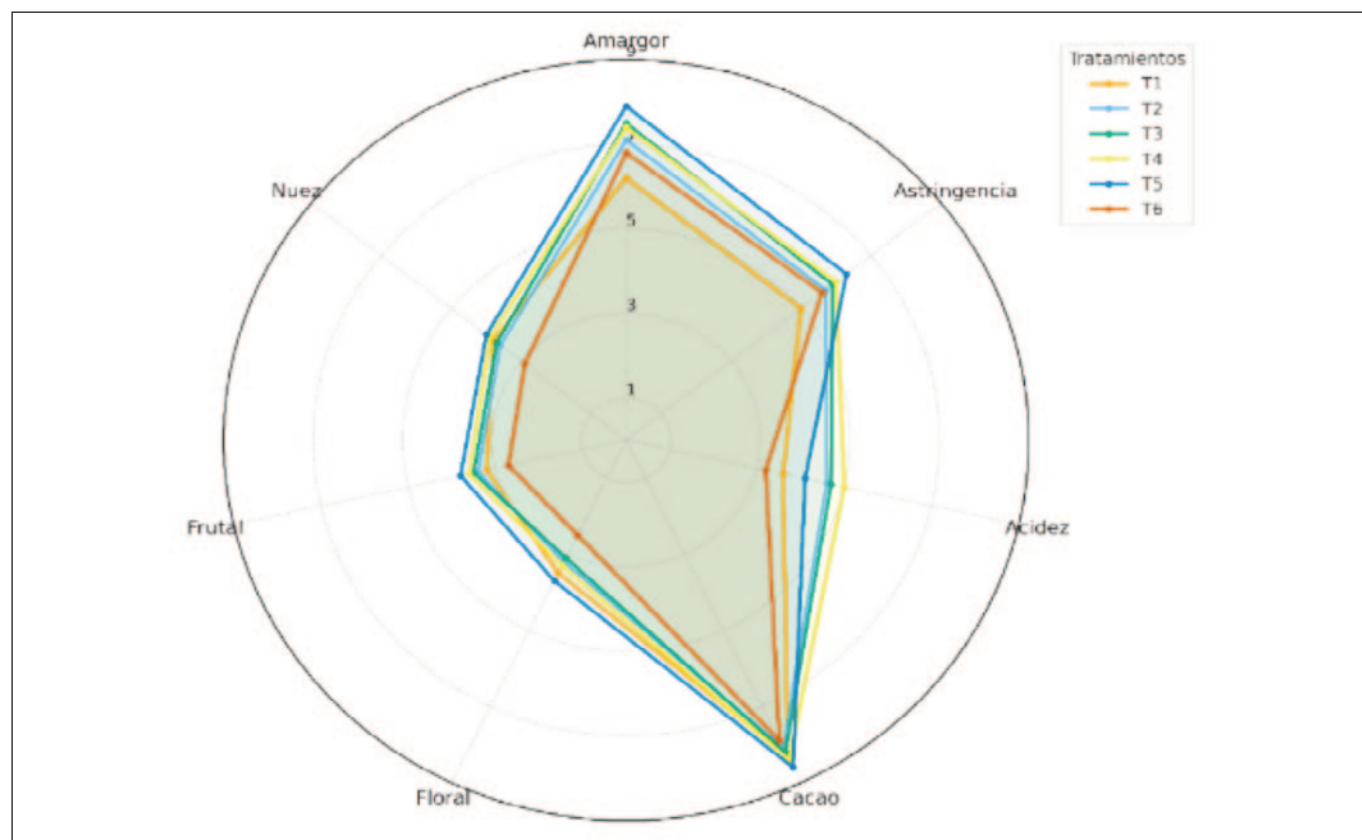


Figura 2. Comparación de atributos sensoriales en licor de cacao mediante análisis tipo radar

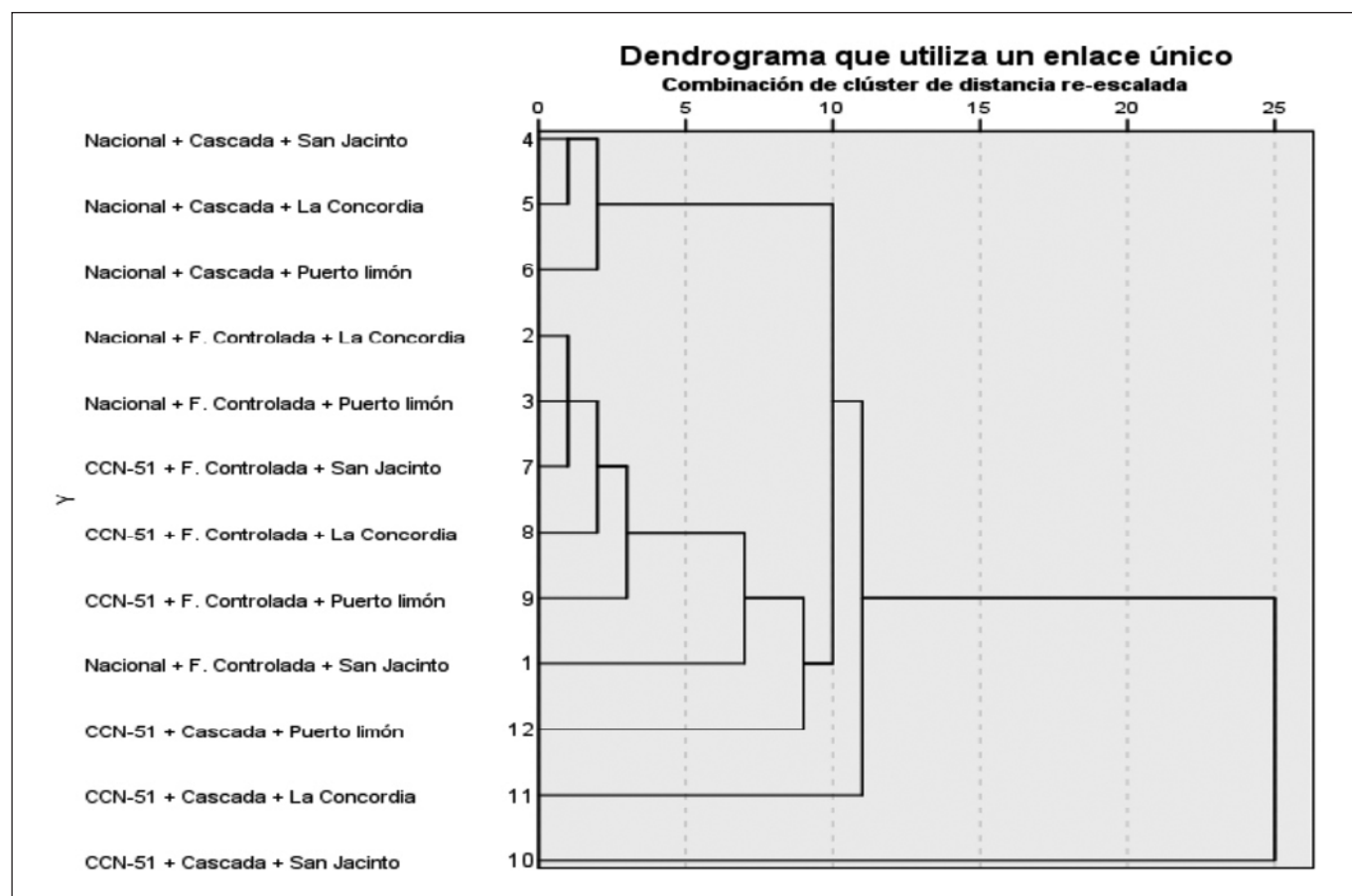


Figura 3. Dendrograma de agrupamiento jerárquico (método de enlace único) que muestra la similitud entre tratamientos de fermentación (controlada y en cascada) en dos genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) procedentes de diferentes zonas de producción (San Jacinto, La Concordia y Puerto Limón)

rial de calidad estable, pero de bajo rendimiento, mientras que CCN-51 como una variedad altamente productiva, aunque influenciada por condiciones ambientales y el manejo postcosecha, como se puede observar en la Figura 4.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio confirman que la calidad del licor de cacao está determinada por una interacción compleja entre genotipo, tratamiento de fermentación y zona de producción, lo cual es consistente con la literatura reciente. Por ejemplo, en un metanálisis de fermentación espontánea de cacao, Balcáza 2023¹⁴ señalan que la duración de la fermentación, junto con la variedad del grano, induce variaciones en los metabolitos responsables de sabor, aroma y calidad. Este resultado apoya la conclusión de que no basta con una materia prima de calidad, sino que el protocolo poscosecha debe adaptarse al genotipo.

La comparación entre los dos genotipos analizados, Nacional y CCN-51, revela que mientras CCN-51 tiene ventajas desde el punto de vista de rendimiento y adaptabili-

dad, su comportamiento frente al tratamiento de fermentación y al entorno exige un ajuste específico. En el estudio de Orbe 2024¹⁵ se documentó que la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles disminuyen de forma significativa durante la fermentación, aunque CCN-51 mostró mayor retención de estos compuestos respecto a Nacional. Esta evidencia subraya que las diferencias genéticas son un factor crítico para optimizar el proceso de fermentación acorde a la variedad.

Asimismo, la zona agroecológica emerge como un componente clave para modular el perfil final de calidad. Estudios previos han identificado que variables como altitud, clima, composición del suelo y micromanejo poscosecha afectan la composición de flavan-3-oles y metilxantinas del grano de cacao¹⁵. Dado que nuestras muestras mostraron diferencias según zona, esta coincidencia respalda la interpretación de que cada lote requiere consideración del "terroir" para alcanzar calidad diferenciada.

En relación al manejo técnico tales como los pasos de tostado, descascarillado, molienda, la evidencia también indica

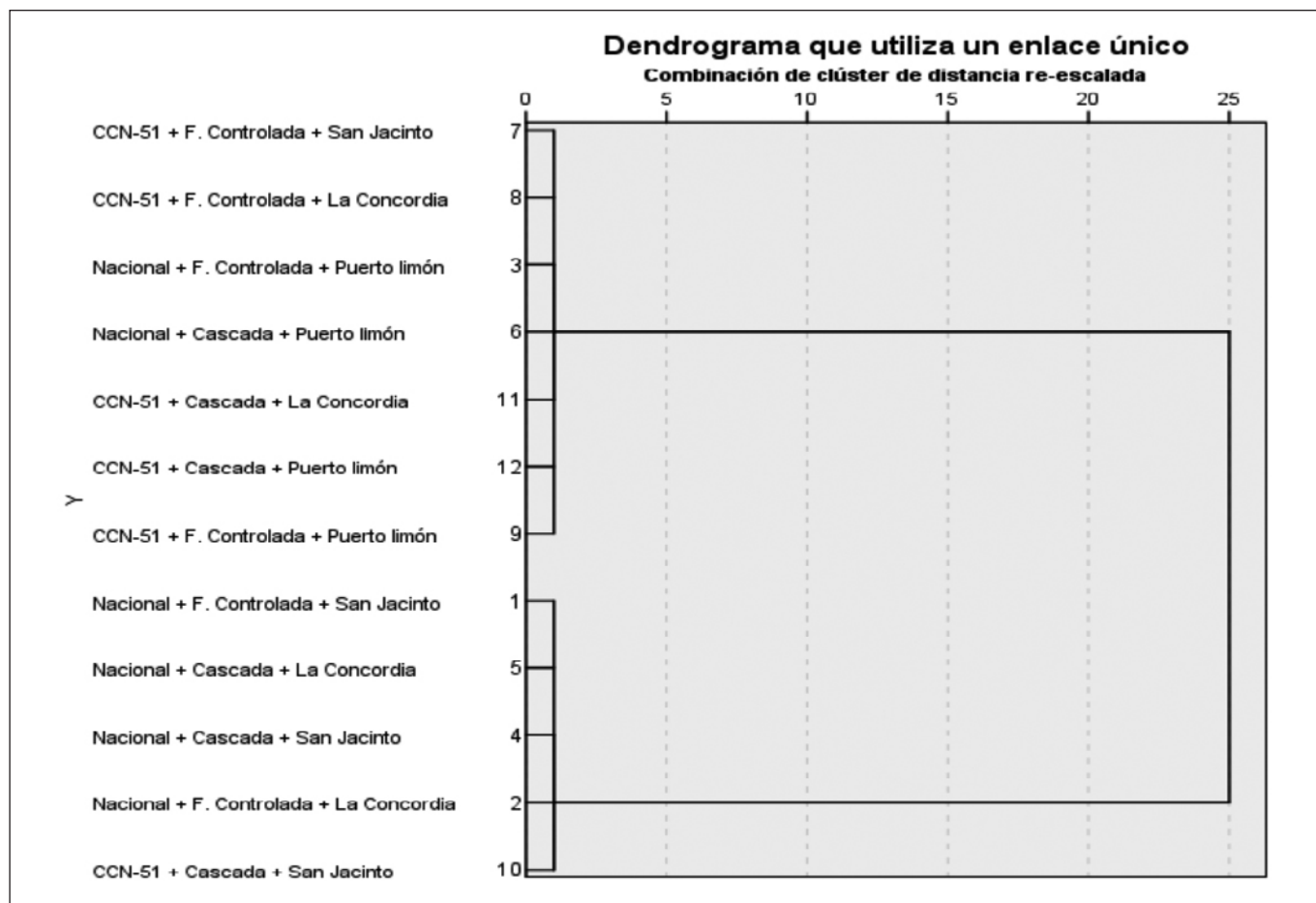


Figura 4. Dendrograma jerárquico de similitud entre genotipos de cacao y tratamientos de fermentación en distintas zonas agroecológicas

que el procesamiento térmico puede compensar o amplificar las ventajas de un buen material fermentado. Por ejemplo, la literatura ha demostrado que el tostado altera los precursores volátiles formados durante la fermentación¹⁶ y, por tanto, influye en la calidad sensorial final. En este contexto, los tratamientos que combinaron fermentación optimizada y manejo térmico controlado en este estudio lograron mejores perfiles sensoriales, lo que sugiere la relevancia de una cadena integrada: desde la elección genética hasta el procesamiento final.

El uso del análisis de conglomerados jerárquicos para agrupar tratamientos por semejanza también se alinea con la tendencia actual en el estudio del cacao fino, donde se prioriza el análisis multivariado para definir lotes de alto valor agregado¹⁷. Esta aproximación permite identificar combinaciones óptimas genotipo-zona-fermentación, lo cual favorece la trazabilidad y la diferenciación comercial.

Desde una perspectiva de aplicación, los tratamientos que en este estudio generaron perfil sensorial elevado y retención de compuestos funcionales representan una oportunidad para

posicionar estos licores en mercados premium. Esto implica que los programas de mejora genética, así como los protocolos de fermentación y procesamiento, deben diseñarse de forma coherente con el contexto productivo (variedad + zona + metodología). Esta integración es fundamental para satisfacer los estándares exigidos por la industria del chocolate de alta gama.

Finalmente, aunque este estudio aborda varios factores sinérgicos, aún quedan oportunidades para profundizar en: (1) el análisis de compuestos volátiles y péptidos precursores para vincularlos con los atributos sensoriales observados; (2) estudios de escalado industrial para verificar la reproducibilidad en condiciones comerciales; y (3) evaluación de aceptación de consumidores o paneles industriales para confirmar la aplicabilidad comercial de los tratamientos óptimos.

CONCLUSIÓN

El presente estudio demostró que la calidad del licor de cacao ecuatoriano está determinada por la interacción entre el

genotipo, el tipo de fermentación y la zona agroecológica de producción.

Los análisis físicoquímicos evidenciaron diferencias significativas en los parámetros de acidez titulable, grasa, proteína y cenizas, los cuales se identificaron como las variables más discriminantes entre tratamientos.

La variedad Nacional presentó menor acidez, mayor contenido lipídico y perfiles sensoriales caracterizados por notas florales y frutales, mientras que CCN-51 exhibió mayor concentración de proteínas y cenizas, asociadas a perfiles de sabor más intensos en notas de cacao, amargor y astringencia.

El tratamiento de fermentación en cascada generó un mejor desarrollo aromático, equilibrio de acidez y mayor complejidad sensorial en comparación con la fermentación controlada, que mostró mayor homogeneidad pero menor diversidad aromática.

Entre las zonas analizadas, Puerto Limón destacó por sus valores equilibrados en las variables físicoquímicas y sensoriales, consolidándose como la región con mayor potencial para la obtención de licor de cacao de alta calidad.

En conjunto, los resultados confirman que la optimización integrada de factores genéticos, fermentativos y ambientales es esencial para fortalecer la trazabilidad, el valor agregado y la diferenciación del cacao ecuatoriano en mercados internacionales de chocolate fino.

REFERENCIAS

1. Intriago, Alvarado, K., Vera, J., Vásquez, L., Tigselema, S., & Verduga, C. (2024). Post-harvest quality of cacao (*Theobroma cacao* L.) for the chocolate industry. In García, M. Naga, F. Zambrano, & D. Aguilar (Eds.), *Sustainable Cacao Cultivation in Latin America* (1st ed., pp. 270–291). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003381761-17/post-harvest-quality-cacao-theobroma-cacao-chocolate-industry-frank-intriago-flor-kerly-alvarado-v%C3%A1squez-jaime-vera-chang-luis-v%C3%A1squez-cortez-solanyi-tigselema-zambrano-cristhian-verduga-l%C3%B3pez?context=ubx&refId=66c90aef-fa25-4662-821f-687e31dc2bf2>
2. 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/https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8672> Induction
3. Intriago, Cedeño, J., Parraga, C., Alvarado, K., Vásquez, L., Revilla, K., & Aldas, J. (2024). Induction of effective microorganisms (EM) in the fermenting mass of cacao (*Theobroma cacao* L.) and their impact on physicochemical and antioxidant characteristics. *Biotechnia*, 26(2422), 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.18633/biotechnia.v26.2422>
4. Obinze, S., Ojmelukwe, P., y Eke, B. (2022). Box fermentation and solar drying improve the nutrient composition and organoleptic quality of chocolate from cocoa beans. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1023123>.
5. Alcívar, Julca, A., Quiroz, J., Vásquez, L., Oviedo, M., & Soto, D. (2025). Caracterización química del cacao Nacional y CCN-51 en Los Ríos, Ecuador. *Revista de Investigación En Ciencias Agroindustriales y Veterinarias*, 9(26), 582–606.
6. Vásquez, Cevallos, C., Uvidia, M., Segobia, S., & Plua, M. (2025). Evaluación de métodos fermentativos de cacao Nacional y CCN51 induciendo microorganismos en yute y cajas Rohan para mejora organoléptico. *Luna Azul*, 60(60), 1–31. <https://doi.org/10.17151/luaz.2025.60.10>
7. 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, 8–15. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-51982-6_18
8. Vásquez, Montoya, E., Cadena, L., Plua, J., Camacho, C., Cobos, F., Rodríguez, S., & Pazmiño, P. (2025). Evaluación físico química y sensoriales del cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 fermentado con *Saccharomyces cerevisiae* y extracto de fruta (Mango manila) en diferentes grados de madurez. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 45(3), 117–128. <https://doi.org/10.12873/453vasquez>
9. 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/https://doi.org/10.60100/scicam.v7i015.94>
10. Vera, Vasquez, L., Zapata, K., & Cevallos, R. (2024). Caracterización morfológica, físicoquímica y microbiológica del cacao Macambo (*Theobroma bicolor* Humb & Bonpl.) en Ecuador. *Revista Agrotecnología Amazónica*, 4(2), 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.51252/raa.v4i2.657>
11. Vásquez, Clavijo, S., Rodríguez, S., Carrillo, M., & Coello, C. (2025). Modulación de los perfiles sensoriales y químicos del licor de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante microorganismos eficientes y extractos de frutos en granos fermentados de las variedades CCN-51 y Nacional. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 5, 1–24. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20252509>
12. Vasquez, Alvarado, K., Intriago, F., Vera, J., Raju, N., & Prasad, R. (2024). Banana and apple extracts with efficient microorganisms and their effect on cadmium reduction in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). *Discover Food*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s44187-024-00205-5>
13. 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/https://doi.org/10.23850/24220582.5460>
14. Balcáza, Pajuelo, A., Trigos, D., Iliquin, A., Fernández, E., Yoplac, I., Muñoz, L., Rodríguez, N., Maza, I., Cayo, I., Chagas, G., Maicelo,

- J., & Castro, E. (2023). Reduction in the cocoa spontaneous and starter culture fermentation time based on the antioxidant profile characterization. *Foods*, 12(3291), 1–35. <https://doi.org/10.3390/foods12173291>
15. Orbe, Manosalvas, L., Mosquiera, N., & Samaniego, I. (2024). Effect of fermentation parameters on the antioxidant activity of Ecuadorian cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Agriculture and Food*, 9(3), 872–886. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2024047>
16. Ibrahim, Hidayat, C., Utami, T., Yanti, R., & Witasari, L. (2024). Flavor precursor and volatile compounds formation of unfermented cocoa beans hydrolyzed by papain. *Food Science and Technology*, 44, 1–7. <https://doi.org/10.5327/fst.00224>
17. Wexler, Cubero, E., Vega, C., Alvarado, P., & Hernández, L. (2025). Fermentation time effect on the quality of ancestral cocoa cultivars from Upala, Costa Rica, using physicochemical and sensory characteristics. *CyTA - Journal of Food*, 23(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/19476337.2025.2486226>