






## Caracterización sensorial de genotipos amazónicos de cacao evaluados bajo condiciones estacionales contrastantes de disponibilidad hídrica, Ecuador

### Sensory characterization of Amazonian cocoa genotypes evaluated under contrasting seasonal conditions of water availability, Ecuador

Kleber Vinicio Peralta-Fonseca<sup>1\*</sup> , César Octavio Quinaluisa-Morán<sup>2</sup> , Andrés Fernando Ramírez-Cruz<sup>1</sup> ,

Jorge David Bajaña-Dume<sup>1</sup> 

#### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo caracterizar los perfiles sensoriales de genotipos amazónicos de cacao evaluados bajo condiciones estacionales contrastantes de disponibilidad hídrica en Mocache, Ecuador. Se analizaron 28 genotipos de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, distribuidos en época húmeda y seca. La evaluación integró mediciones de humedad del suelo, análisis físico de almendras, preparación de licor de cacao, catación ciega por catadores entrenados y análisis estadísticos mediante componentes principales, agrupamiento jerárquico y prueba de Kruskal-Wallis al 5 %. Los atributos sensoriales considerados fueron acidez, amargor, astringencia, dulce, cacao, floral, frutal, nuez, verde y moho. Los resultados evidenciaron mayor disponibilidad hídrica en época húmeda y una reducción marcada en época seca, condición asociada con cambios en la expresión sensorial. En época húmeda predominaron atributos específicos deseables, como cacao, floral, frutal y nuez, destacando ZAMO 016 PL 21, PANG 006\*, NUPA 001 PL 56, NUPA 001 PL 55 y YACU 004\*. En época seca se observó mayor expresión de acidez, amargor, astringencia y verde; sin embargo, NUPA 001 PL 32 sobresalió por su perfil frutal, cacao y dulce. Aunque las comparaciones deben interpretarse con prudencia porque los genotipos no fueron idénticos entre épocas, los resultados aportan una base técnica para seleccionar y valorizar materiales amazónicos con potencial sensorial diferenciado.

**Palabras clave:** *Theobroma cacao* L., cacao amazónico, caracterización sensorial, disponibilidad hídrica, fermentación.

#### ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the sensory profiles of Amazonian cocoa genotypes evaluated under contrasting seasonal water availability conditions in Mocache, Ecuador. Twenty-eight genotypes from the INIAP Pichilingue Tropical Experimental Station were analyzed, distributed across the wet and dry seasons. The evaluation included soil moisture measurements, physical analysis of cocoa beans, preparation of cocoa liquor, blind tasting by trained tasters, and statistical analysis using principal component analysis, hierarchical clustering, and the Kruskal-Wallis test at the 5% level. The sensory attributes considered were acidity, bitterness, astringency, sweetness, cocoa, floral, fruity, nutty, green, and moldy. The results showed greater water availability during the wet season and a marked reduction during the dry season, a condition associated with changes in sensory expression. During the wet season, specific desirable attributes such as cocoa, floral, fruity, and nutty predominated, with ZAMO 016 PL 21, PANG 006\*, NUPA 001 PL 56, NUPA 001 PL 55, and YACU 004\* standing out. During the dry season, greater expression of acidity, bitterness, astringency, and green notes was observed; however, NUPA 001 PL 32 stood out for its fruity, cocoa, and sweet profile. Although comparisons should be interpreted with caution because the genotypes were not identical across seasons, the results provide a technical basis for selecting and valuing Amazonian materials with distinct sensory potential.

**Keywords:** *Theobroma cacao* L., Amazonian cacao, sensory characterization, water availability, fermentation.

<sup>1</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

<sup>2</sup>Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, Pueblo Viejo, Los Ríos, Ecuador.

\*Autor de correspondencia. E-mail: kperaltaf@uteq.edu.ec

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) constituye uno de los cultivos tropicales de mayor relevancia económica, social y agroindustrial para Ecuador. Su importancia no se limita al volumen de producción, sino también a la reputación internacional del país como origen de cacao fino y de aroma. De acuerdo con la International Cocoa Organization, el cacao fino representa una fracción reducida del comercio mundial, cercana al 12 % de las exportaciones globales de cacao en grano, y Ecuador figura entre los principales países exportadores de este segmento; además, en la revisión de 2024, el 75 % de las exportaciones ecuatorianas de cacao fueron reconocidas como cacao fino o de aroma (International Cocoa Organization [ICCO], 2024). Esta condición refuerza la necesidad de conservar, caracterizar y valorizar genotipos con atributos sensoriales diferenciados, especialmente aquellos procedentes de germoplasma amazónico.

La relevancia del cacao ecuatoriano también se expresa en sus cifras recientes de comercio exterior. En 2024, Ecuador exportó 401 617 toneladas de cacao en grano, por un valor aproximado de USD 3 107.8 millones, ubicándose entre los principales exportadores mundiales de cacao en grano (World Integrated Trade Solution [WITS], 2024). Este crecimiento confirma el peso estratégico del cultivo para la economía agrícola nacional, pero también plantea un desafío: sostener la competitividad no solo mediante mayor producción, sino mediante calidad física, trazabilidad y diferenciación sensorial.

En este escenario, la provincia de Los Ríos ocupa un lugar central dentro del sistema cacaotero ecuatoriano. La provincia lidera la producción nacional de cacao y que Mocache forma parte de las zonas donde se desarrollan programas de mejoramiento productivo y asistencia técnica a productores. Asimismo, en Mocache se ubica el Laboratorio de Calidad Integral de Cacao y Café del INIAP, orientado a investigaciones en cacao y café, certificación de calidad, trazabilidad y generación de valor agregado (Vicepresidencia de la República del Ecuador, s. f.). Por ello, Mocache representa un espacio pertinente para evaluar genotipos de cacao bajo criterios de

calidad física y sensorial.

La calidad sensorial del cacao depende de una interacción compleja entre genotipo, ambiente, disponibilidad hídrica y manejo poscosecha. La ICCO (2024) define el cacao fino o de aroma como aquel que expresa un perfil sensorial complejo, equilibrado y reconocible, resultado de la interacción entre composición genética, ambiente de cultivo, manejo agronómico, cosecha, fermentación, secado y estabilidad física y química del grano. Esta definición es particularmente importante para estudios de caracterización, porque evidencia que la evaluación sensorial no debe analizarse de manera aislada, sino en relación con las condiciones en que se desarrolla y procesa el material vegetal.

Diversos estudios recientes han mostrado que los genotipos de cacao pueden diferenciarse por sus atributos físicos, químicos y sensoriales. Colonges et al. (2022), al estudiar árboles nativos de la Amazonía sur ecuatoriana, reportaron una alta variabilidad aromática en cacaos finos ecuatorianos y destacaron el valor de estos recursos genéticos para enriquecer programas de mejoramiento y diferenciación de calidad. De manera similar, Quevedo Guerrero et al. (2022) caracterizaron árboles élite de cacao del sur de Ecuador y evidenciaron diversidad fisicoquímica y sensorial, lo que confirma que los materiales locales pueden expresar perfiles diferenciados según su origen y composición genética.

La literatura reciente también ha demostrado la utilidad de los análisis multivariados para discriminar materiales de cacao según su perfil sensorial. Dos Santos et al. (2024), al evaluar cacao amazónico producido en diferentes regiones, señalaron que el análisis sensorial y las características físicas permiten establecer perfiles diferenciados entre zonas y materiales. Asimismo, Oliva-Cruz et al. (2022) utilizaron descriptores morfológicos y sensoriales para identificar grupos genéticos de cacao fino de aroma en la Amazonía peruana, demostrando que la combinación de atributos físicos, sensoriales y estadísticos permite reconocer materiales con potencial para selección y conservación.

Además del genotipo, las condiciones ambientales influyen en la calidad del grano. Betancourt-Sambony et al. (2025) reportaron que las propiedades fisicoquímicas de granos de cacao tostados se relacionan con patrones climáticos del lugar de origen, incluyendo precipitación y temperatura, lo cual puede modificar variables de calidad, compuestos bioactivos y atributos asociados al procesamiento. Esta evidencia resulta relevante para estudios realizados bajo condiciones estacionales contrastantes, ya que la disponibilidad hídrica puede modificar el estado fisiológico de la planta y, de forma indirecta, la expresión de la calidad física y sensorial del grano.

Por otro lado, el manejo poscosecha también condiciona la expresión sensorial del cacao. Becerra et al. (2024) demostraron que las condiciones controladas durante la transformación de semilla a grano pueden modular notas de cacao fino, incluyendo atributos florales, frutales, nuez y especiados. Esto confirma que la calidad sensorial no depende únicamente del material genético, sino también del proceso de fermentación, secado y preparación del licor de cacao. Por tanto, una caracterización sensorial rigurosa debe considerar tanto el origen del genotipo como las condiciones de beneficio aplicadas antes de la catación.

A pesar de estos avances, aún existe limitada información sobre genotipos amazónicos de cacao evaluados bajo condiciones estacionales contrastantes de disponibilidad hídrica en zonas productoras ecuatorianas como Mocache. La mayor parte de estudios recientes se ha centrado en caracterizaciones generales de genotipos, análisis fisicoquímicos o perfiles sensoriales por origen, pero son menos frecuentes las investigaciones que integran disponibilidad hídrica del suelo, análisis físico de almendras, perfil sensorial del licor de cacao y herramientas multivariadas en una misma evaluación. Este vacío limita la identificación de materiales amazónicos con atributos sensoriales favorables y dificulta reconocer aquellos que podrían presentar restricciones por mayor expresión de acidez, amargor, astringencia, verde o defectos asociados al proceso.

En ese contexto, la presente investigación se orientó a caracterizar sensorialmente genotipos amazónicos de cacao evaluados bajo condiciones estacionales contrastantes de disponibilidad hídrica en Mocache, Ecuador. El estudio consideró 28 genotipos amazónicos, entre híbridos y accesiones clonales, evaluados durante época húmeda y seca. Además, integró mediciones de humedad del suelo, análisis físico de almendras, evaluación sensorial del licor de cacao, análisis de componentes principales, agrupamiento jerárquico y comparación de medias mediante Kruskal-Wallis.

Se planteó como supuesto de trabajo que los genotipos amazónicos de cacao presentan perfiles sensoriales diferenciados y que su expresión puede variar bajo condiciones estacionales contrastantes de disponibilidad hídrica. Por ello, el objetivo del estudio fue caracterizar los perfiles sensoriales de genotipos amazónicos de cacao evaluados en época húmeda y seca, con el fin de identificar materiales con atributos organolépticos sobresalientes y reconocer aquellos con posibles limitaciones de calidad.

El aporte esperado de esta investigación es proporcionar información técnica para la selección preliminar de genotipos amazónicos con potencial sensorial diferenciado. Asimismo, los resultados pueden contribuir al ajuste de protocolos de fermentación, secado y catación, así como al fortalecimiento de estrategias de conservación, mejoramiento y valorización del cacao amazónico ecuatoriano.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio experimental y condiciones agroclimáticas

La investigación se desarrolló en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en el km 5 de la vía Quevedo–El Empalme, provincia de Los Ríos, Ecuador. El trabajo se realizó en la colección de clones de cacao silvestre provenientes del sur de la Amazonía ecuatoriana, establecida en un área aproximada de 6 415 m<sup>2</sup>.

La EETP se encuentra a una altitud aproximada de 120 m s. n. m. y presenta condiciones de clima tropical húmedo, con una estación seca definida.

La zona registra una temperatura media anual de 25.5 °C, humedad relativa promedio de 85.8 %, precipitación anual de 2218.4 mm y heliofanía de 898.9 horas luz por año. Geográficamente, se localiza en las coordenadas 1°06' de latitud sur y 79°25' de longitud oeste.

Las evaluaciones se realizaron durante dos épocas contrastantes del año 2020. La época húmeda comprendió los meses de marzo, mayo y junio, mientras que la época seca correspondió a agosto, septiembre y octubre. Esta separación permitió evaluar el comportamiento físico y sensorial de los genotipos bajo condiciones diferenciadas de disponibilidad hídrica.

### Material genético evaluado

El material vegetal estuvo constituido por 28 genotipos amazónicos de cacao, entre híbridos y accesiones clonales, seleccionados por el Programa Nacional de Cacao del INIAP en la EETP. Los materiales fueron organizados en dos grupos de evaluación: 14 genotipos correspondientes a la época húmeda y 14 genotipos correspondientes a la época seca.

**Tabla 1.** Híbridos y clones de cacao amazónico utilizados para la caracterización organoléptica en la EETP.

Genotipos (época lluviosa)		Genotipos (época seca)	
Nº	Código	Nº	Código
1	NUPA 001 PL 4	15	PANG 023 PL 5
2	NUPA 001 PL 6	16	ZAMO 016 PL 11
3	NUPA 001 PL 8	17	ZAMO 016 PL 9
4	NUPA 001 PL 10	18	NUPA 001 PL 13
5	NUPA 001 PL 55	19	NUPA 001 PL 32
6	NUPA 001 PL 56	20	NUPA 001 PL 73
7	NUPA 001 PL 58	21	NUPA 001 PL 87
8	NUPA 001 PL 66	22	NUPA 001 PL 90
9	NUPA 001 PL 96	23	NUPA 001 PL 59
10	PANG 006*	24	NUPA 001 PL 24
11	SHAI 005*	25	PAL 13 PL 6
12	YACU 004*	26	PAL 12 PL 2
13	ZAMO 016 PL 21	27	YACU 001 PL 5
14	ZAMO 007 PL 5	28	NUPA 001 PL 1

Nota: \* Accesoión clonal

### Enfoque del estudio y manejo del material

El estudio se planteó como una caracterización

comparativa de genotipos amazónicos de cacao bajo dos épocas de evaluación. La unidad de análisis estuvo constituida por cada genotipo, a partir del cual se obtuvieron muestras de almendras para la evaluación física y la preparación del licor utilizado en el análisis sensorial. La cosecha se realizó mediante la selección de mazorcas maduras y sanas, recolectadas en las épocas programadas. Posteriormente, el material fue trasladado al área de caracterización de la EETP, donde se efectuaron las etapas de beneficio poscosecha, secado, análisis físico y preparación del licor de cacao.

La microfermentación se desarrolló durante cuatro días. Las almendras fueron colocadas en mallas de tela y dispuestas en cajoneras de madera de 70 × 70 × 70 cm. Con la finalidad de favorecer una fermentación más uniforme, la masa fue removida a las 24 y 72 horas. Al finalizar las 96 horas de fermentación, las muestras fueron extendidas en marquesina para su secado hasta alcanzar una humedad aproximada de 7 %. Una vez secas, las almendras fueron trasladadas al laboratorio para la evaluación física y para la elaboración del licor de cacao. Este procedimiento permitió trabajar con muestras homogéneas y comparables entre genotipos.

### Evaluación del estado hídrico del suelo

El estado hídrico del suelo se evaluó durante las épocas húmeda y seca, con el propósito de caracterizar la disponibilidad de agua en el área experimental. En la época húmeda, las mediciones se realizaron en marzo, mayo y junio de 2020; mientras que, en la época seca, se efectuaron en agosto, septiembre y octubre del mismo año.

La variable registrada fue el contenido volumétrico de agua del suelo, expresado en porcentaje. Las mediciones se efectuaron mediante un medidor de humedad TDR-100 (Time Domain Reflectometer), equipado con varillas de 7.9 pulgadas. Los registros se realizaron a dos profundidades: 20 y 40 cm.

Para cada época se consideraron tres momentos de evaluación, correspondientes a los meses de muestreo, con tres repeticiones por profundidad. En total, se obtuvieron 36 observaciones, producto de la combinación de dos épocas, tres meses por época,

dos profundidades y tres repeticiones. Los valores registrados fueron contrastados referencialmente con la capacidad de campo  $\theta_{cc}$  y el punto de marchitez permanente  $\theta_{pmp}$ , a fin de interpretar la disponibilidad hídrica del suelo durante el periodo de estudio.

#### **Análisis físico de las almendras**

El análisis físico se realizó en almendras secas procedentes de cada genotipo. Para ello, se seleccionaron al azar 50 almendras por material, las cuales constituyeron la muestra de evaluación física. Considerando los 28 genotipos incluidos en el estudio, se analizaron 1400 almendras en total. El contenido de humedad de las almendras secas se determinó mediante un equipo determinador de humedad con escala de 0 a 20 %. Esta medición se realizó después del secado, tomando como referencia un valor cercano o inferior al 7 %, considerado adecuado para continuar con el procesamiento de las muestras.

La fermentación se evaluó mediante la prueba de corte longitudinal, utilizando una guillotina para cacao. Las almendras fueron clasificadas según su apariencia interna en cinco categorías: bien fermentadas, medianamente fermentadas, violetas, pizarrosas y con presencia de moho. Esta clasificación permitió describir la calidad física de las almendras y generar la matriz utilizada en el análisis multivariado. Los resultados físicos se expresaron como valores porcentuales por genotipo. Posteriormente, estos datos fueron incorporados al análisis de componentes principales con el fin de identificar las variables que explicaron la mayor diferenciación física entre los materiales evaluados.

#### **Preparación del licor de cacao**

Para la preparación del licor de cacao se tomaron 120 g de almendras secas por genotipo, los cuales fueron pesados en balanza analítica. Las muestras fueron tostadas a 110 °C, ajustando el tiempo de tostado según el contenido de humedad de las almendras. Cuando la humedad fue cercana al 7 %, el tostado se realizó durante 12 minutos; cuando fue menor al 7 %, el tiempo se redujo a 10 minutos. Después del tostado, las almendras fueron trituradas, descascarilladas y limpiadas para obtener los nibs. Estos fueron molidos

en un molino de bolas modelo RM200 hasta obtener un licor de cacao homogéneo. Finalmente, el licor fue moldeado, enfriado y almacenado en papel aluminio hasta su evaluación sensorial.

#### **Evaluación sensorial**

La evaluación sensorial se realizó en el Laboratorio de Calidad Integral de Cacao y Café de la EETP del INIAP. Se utilizó licor de cacao preparado a partir de cada genotipo y las muestras fueron evaluadas mediante catación ciega por dos catadores entrenados. Cada muestra fue evaluada por duplicado. La puntuación final de cada atributo correspondió al promedio de las calificaciones emitidas por los catadores, lo que permitió obtener valores medios por genotipo y atributo sensorial.

Los atributos evaluados se agruparon en tres categorías. Los sabores básicos incluyeron acidez, amargor, astringencia y dulce; los sabores específicos comprendieron cacao, floral, frutal y nuez; y los sabores adquiridos incluyeron verde y moho. La intensidad de cada atributo se calificó mediante una escala estructurada de 0 a 10, donde 0 representó ausencia del atributo y 10 la máxima intensidad percibida. Esta escala permitió registrar valores medios con decimales, derivados del promedio de las evaluaciones realizadas. Los datos obtenidos fueron organizados en una matriz de genotipos por atributos sensoriales para su posterior análisis estadístico y multivariado.

#### **Variables evaluadas**

Las variables evaluadas se organizaron en tres componentes: estado hídrico del suelo, características físicas de las almendras y atributos sensoriales del licor de cacao. En el componente hídrico se consideró el contenido volumétrico de agua del suelo, expresado en porcentaje, medido a 20 y 40 cm de profundidad durante las dos épocas de evaluación. En el componente físico se incluyó el contenido de humedad de la almendra seca y la clasificación de las almendras mediante prueba de corte. En el componente sensorial se evaluaron diez atributos organolépticos: acidez, amargor, astringencia, dulce, cacao, floral, frutal, nuez, verde y moho. La información obtenida permitió describir

el comportamiento de los genotipos, comparar sus perfiles físicos y sensoriales, e identificar materiales con atributos diferenciales entre épocas.

**Análisis estadístico**

Los datos fueron organizados en matrices según el tipo de variable evaluada. Para las variables físicas y sensoriales se calcularon valores medios por genotipo, además de estadísticos descriptivos como valor máximo, valor mínimo, promedio, desviación estándar y coeficiente de variación porcentual.

Debido a la naturaleza ordinal de las puntuaciones sensoriales y al número de genotipos evaluados por época, la comparación entre materiales se realizó mediante estadística no paramétrica. Para ello, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia de 5 %. Cuando se identificaron diferencias estadísticas, se utilizó una comparación múltiple posterior para la asignación de letras de agrupamiento. Los genotipos que compartieron al menos una letra dentro de cada atributo fueron considerados estadísticamente similares; en cambio, aquellos sin letras comunes fueron considerados diferentes al nivel de significancia establecido.

El análisis multivariado se realizó mediante análisis de componentes principales (ACP), con el propósito

de reducir la dimensionalidad de las variables físicas y sensoriales e identificar los atributos con mayor contribución a la diferenciación entre genotipos. Antes del ACP, los datos fueron estandarizados a media cero y varianza uno, debido a la diferencia de escala entre las variables evaluadas. Adicionalmente, se aplicó un análisis de agrupamiento jerárquico mediante el método de Ward y distancia euclidiana. Este procedimiento permitió clasificar los genotipos según la similitud de sus características físicas y organolépticas. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software InfoStat®.

**III. RESULTADOS**

**Estado hídrico del suelo**

La Figura 1 muestra el porcentaje de humedad del suelo evaluado a 20 y 40 cm de profundidad durante dos épocas contrastantes: húmeda y seca. En términos generales, el contenido volumétrico de agua fue mayor durante la época húmeda, con un promedio de 36.39 %, mientras que en la época seca se registró una reducción considerable del contenido hídrico del suelo. Esta disminución ubicó los valores de la época seca más próximos al punto de marchitez permanente que a la capacidad de campo.

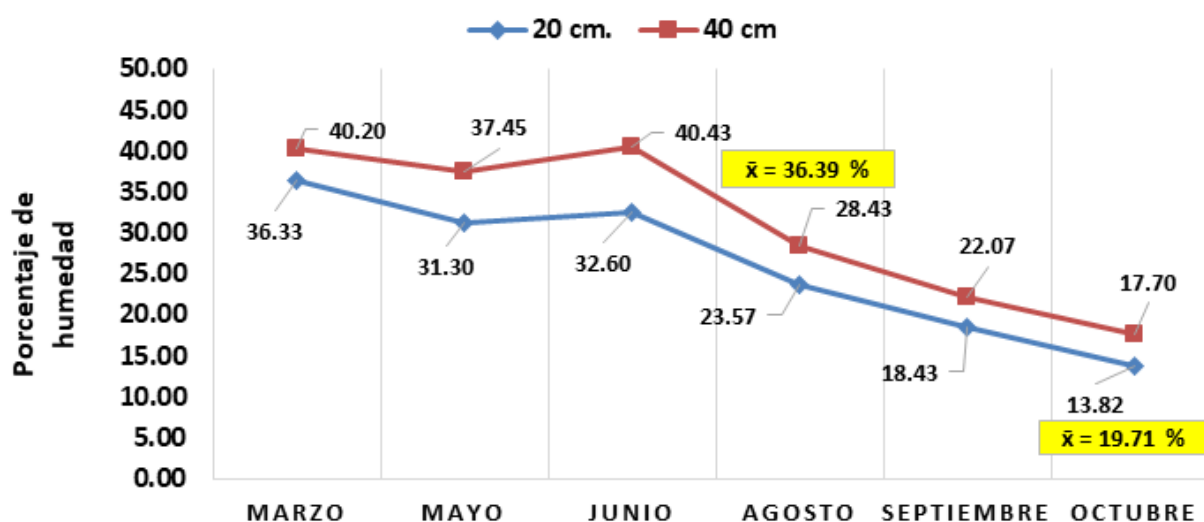


Figura 1. Porcentaje de humedad del suelo a 20 y 40 cm de profundidad en dos épocas, húmeda (marzo, mayo, junio) y seca (agosto, septiembre, octubre).

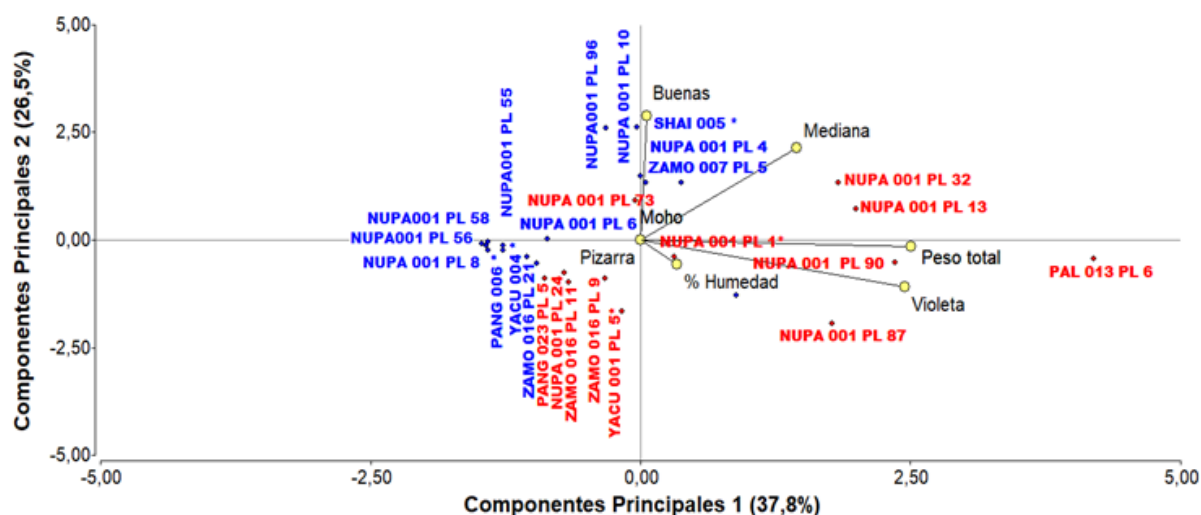
Durante la época seca, correspondiente a los meses de agosto, septiembre y octubre, el contenido volumétrico promedio de agua del suelo fue de 19.71 %, valor que evidencia una menor disponibilidad hídrica en comparación con la época húmeda. Esta tendencia fue consistente entre las profundidades evaluadas, aunque con variaciones según el mes y la profundidad de muestreo.

En conjunto, los resultados muestran que la época húmeda presentó las mejores condiciones de disponibilidad de agua en el suelo, mientras que la época seca evidenció una condición hídrica más restrictiva para los genotipos evaluados.

### Análisis de componentes principales

#### Análisis físico de las almendras

La Figura 2 presenta el análisis de componentes principales aplicado a las variables físicas de las almendras de 28 genotipos amazónicos de cacao. Los dos primeros componentes explicaron el 64.3 % de la variabilidad total, lo que permitió diferenciar los genotipos en función del grado de fermentación, humedad del grano y presencia de almendras violetas, pizarrosas o con moho. En términos generales, los genotipos se distribuyeron en el plano factorial según su asociación con características físicas favorables o con atributos asociados a defectos de calidad.



**Figura 2.** Análisis de componentes principales del análisis físico de almendras de los 28 genotipos de cacao amazónico de la EETP con indicador de color: azul (época húmeda) y rojo (época seca).

En el cuadrante superior derecho se ubicaron genotipos asociados con almendras buenas y medianamente fermentadas, entre ellos ZAMO 007 PL 5, SHAI 005\*, NUPA 001 PL 6, NUPA 001 PL 4, NUPA 001 PL 10 y NUPA 001 PL 96. En contraste, materiales como NUPA 001 PL 13 y NUPA 001 PL 32 se ubicaron a mayor distancia de estas características. Asimismo, en el cuadrante inferior derecho se observó una mayor relación con la presencia de almendras violetas y con el porcentaje de humedad, destacando PAL 013 PL 6 por su mayor proximidad a estas variables.

Las variables pizarra y moho se localizaron cerca del centro del biplot, lo que indica una menor contribución

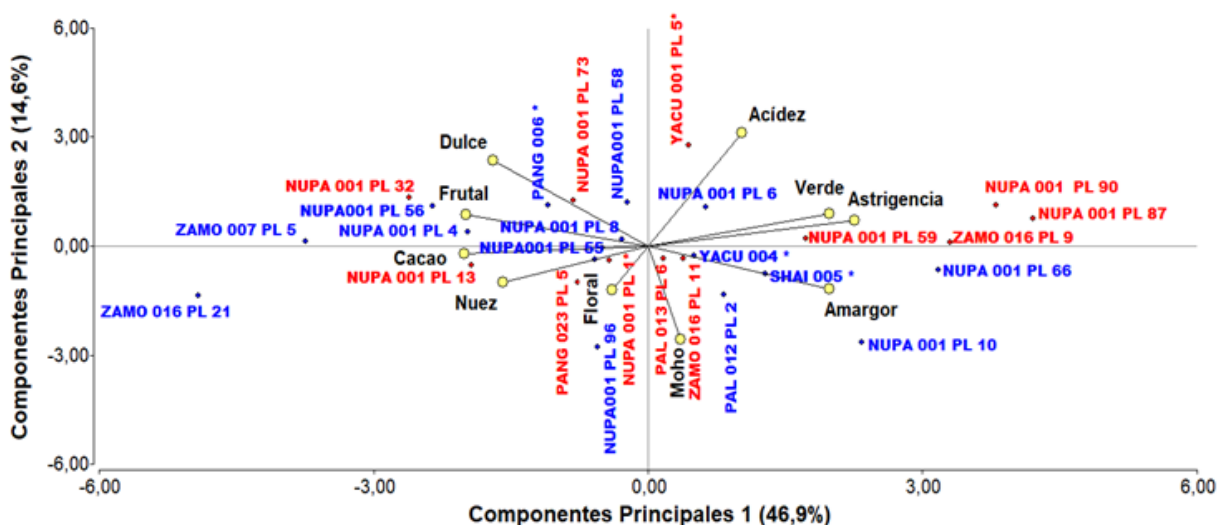
relativa en la diferenciación de los genotipos evaluados. En cambio, materiales como NUPA 001 PL 8, NUPA 001 PL 10, NUPA 001 PL 66 y ZAMO 016 PL 11 mostraron una asociación más favorable con características físicas de fermentación y humedad del grano inferior a 5.10 %. Por tanto, estos genotipos presentaron un mejor comportamiento físico dentro del conjunto analizado.

#### Perfiles sensoriales

#### Análisis de componentes principales de los atributos sensoriales

La Figura 3 presenta el análisis de componentes principales de los atributos sensoriales evaluados en 28 genotipos amazónicos de cacao. Los dos primeros

componentes explicaron el 61.5 % de la varianza total, permitiendo diferenciar los genotipos según la intensidad de sabores básicos, específicos y adquiridos. En general, los materiales se agruparon de acuerdo con su cercanía a atributos como cacao, floral, frutal, nuez, acidez, astringencia, amargor, verde y moho.



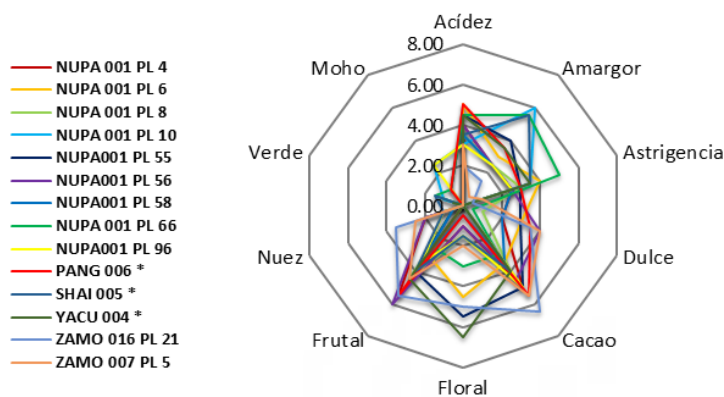
**Figura 3.** Análisis de componentes principales de los atributos sensoriales de 28 genotipos amazónicos de cacao. Los puntos azules corresponden a época húmeda y los rojos a época seca.

En el cuadrante superior izquierdo se asociaron los atributos frutal y dulce, próximos a genotipos como NUPA 001 PL 8, NUPA 001 PL 73 y PANG 006\*. En el cuadrante superior derecho se ubicaron los atributos acidez, verde y astringencia, con mayor proximidad a NUPA 001 PL 6. Por su parte, en el cuadrante inferior derecho se observaron los atributos moho y amargor, asociados principalmente con ZAMO 016 PL 11 y PAL 013 PL 6. Finalmente, en el cuadrante inferior izquierdo se localizaron los atributos floral, nuez y cacao, próximos a NUPA 001 PL 55, NUPA 001 PL 13 y NUPA 001 PL 1.

Los genotipos NUPA 001 PL 4, NUPA 001 PL 8, NUPA 001 PL 55, NUPA 001 PL 58 y PANG 023 PL 5 mostraron una asociación favorable con los atributos cacao, floral, frutal y nuez, lo que evidencia un perfil sensorial más equilibrado y con mayor expresión de sabores específicos.

**Perfil sensorial en época húmeda**

La Figura 4 muestra el perfil sensorial de los 14 genotipos evaluados durante la época húmeda. En esta condición, los atributos con mayor expresión fueron cacao, frutal y floral, mientras que los sabores adquiridos presentaron valores bajos o ausencia en la mayoría de los materiales. La tendencia general indica que, durante la época húmeda, los genotipos evaluados desarrollaron perfiles sensoriales dominados por sabores específicos.



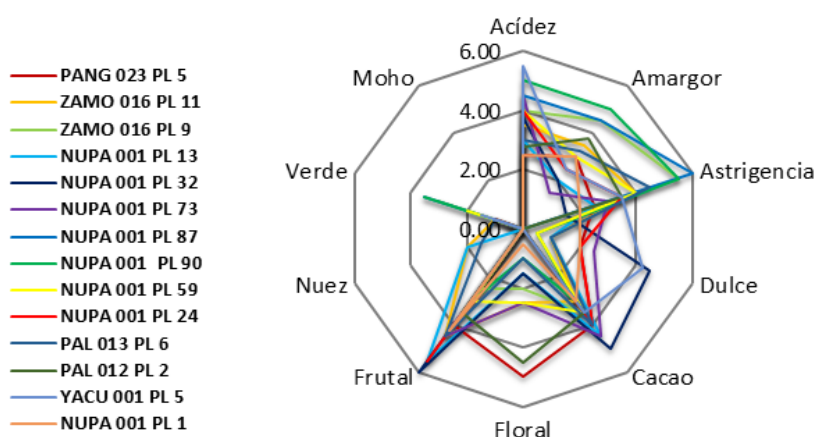
**Figura 4.** Análisis sensorial de 14 genotipos de cacao amazónico de la EETP en época húmeda (\*Accesión clonal).

Entre los materiales con mayor intensidad sensorial, ZAMO 016 PL 21 y PANG 006\* destacaron por el atributo cacao; YACU 004\* y NUPA 001 PL 55 por el atributo floral; y NUPA 001 PL 56 por el atributo frutal. Asimismo, los sabores básicos presentaron valores variables entre genotipos, con mayor expresión de acidez, amargor y astringencia en materiales específicos.

En síntesis, se puede observar que la época húmeda favoreció una mayor expresión de atributos específicos deseables, principalmente cacao, frutal y floral. Los genotipos ZAMO 016 PL 21, PANG 006\*, YACU 004\*, NUPA 001 PL 55 y NUPA 001 PL 56 fueron los materiales con mejor desempeño sensorial en esta condición.

**Perfil sensorial en época seca**

La Figura 5 muestra el perfil sensorial de los 14 genotipos evaluados durante la época seca. En esta época, la tendencia general estuvo marcada por una mayor expresión de los atributos frutal, cacao, acidez y astringencia. A diferencia de la época húmeda, se observó una mayor presencia del atributo verde en algunos materiales, mientras que el atributo moho permaneció ausente.

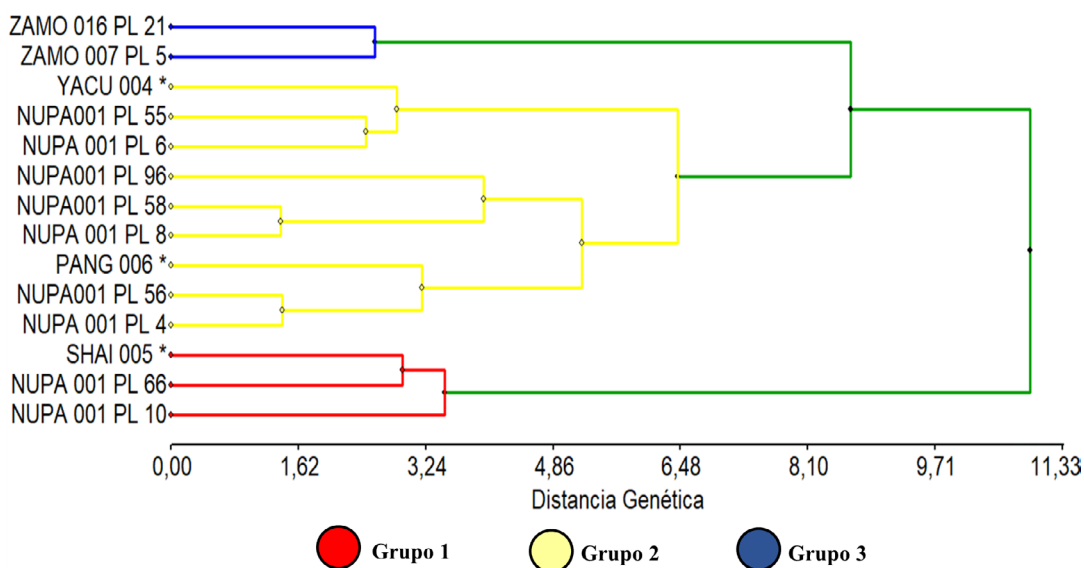


**Figura 5.** Análisis sensorial de 14 genotipos de cacao amazónico de la EETP en época seca.

Durante la época seca, NUPA 001 PL 32 presentó la mayor intensidad frutal, con un valor de 6.00, además de destacar en cacao con 5.00 y dulce con 4.50. NUPA 001 PL 13 y NUPA 001 PL 24 también mostraron valores altos en frutal, con 5.50. En cuanto a los sabores básicos, YACU 001 PL 5\* alcanzó el mayor valor de acidez con 5.50, mientras que NUPA 001 PL 90 presentó los valores más altos en amargor y elevada expresión de acidez, astringencia y verde. Para el atributo floral, PANG 023 PL 5 registró el valor más alto, con 5.00. En la época seca se observó una mayor diferenciación entre genotipos por sabores básicos y por la presencia del atributo verde. NUPA 001 PL 32 destacó por su perfil frutal, cacao y dulce, mientras que NUPA 001 PL 90 presentó un perfil más intenso en acidez, amargor, astringencia y verde.

**Agrupamiento jerárquico en época húmeda**

La Figura 6 presenta el dendrograma de agrupamiento jerárquico de los 14 genotipos amazónicos de cacao evaluados durante la época húmeda, construido mediante el método de Ward y distancia euclidiana. El análisis permitió diferenciar tres grupos principales según la similitud de sus perfiles organolépticos.



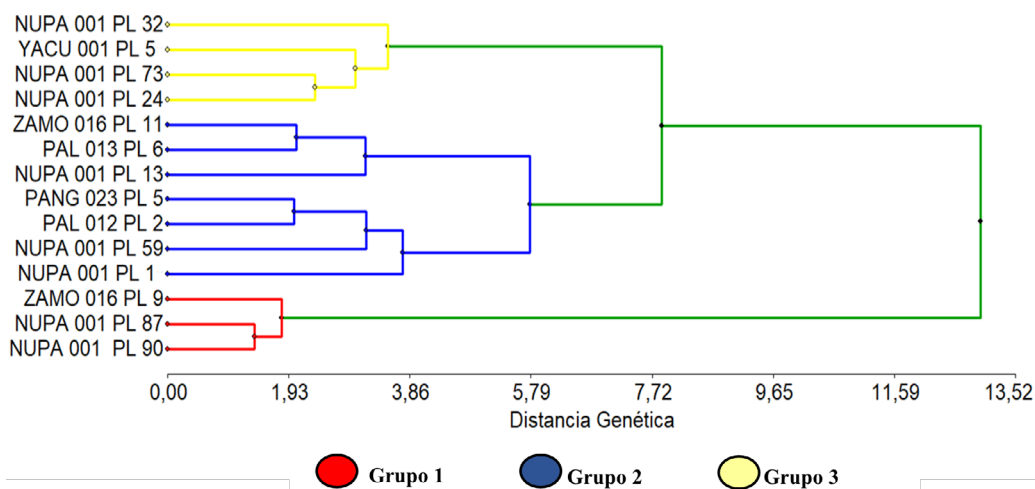
**Figura 6.** Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 14 genotipos amazónicos de cacao evaluados en época húmeda, construido mediante el método de Ward y distancia euclidiana.

El primer grupo estuvo integrado por dos híbridos y un clon, caracterizados por una mayor expresión de sabores básicos, principalmente amargor y astringencia. El segundo grupo estuvo conformado por siete híbridos y dos clones, con niveles altos e intermedios en sabores básicos y específicos, incluyendo acidez, amargor, astringencia, dulce, cacao, floral, frutal y nuez. El tercer grupo estuvo integrado por dos híbridos, asociados principalmente con perfiles de cacao y nuez.

Estos resultados indican que, durante la época húmeda, la mayor diferenciación entre genotipos se produjo por la combinación de sabores básicos y específicos. El segundo grupo presentó el perfil más amplio y equilibrado, mientras que el primer grupo mostró mayores limitaciones por su asociación con sabores básicos de mayor intensidad.

**Agrupamiento jerárquico en época seca**

La Figura 7 muestra el dendrograma de agrupamiento jerárquico de los 14 genotipos evaluados durante la época seca. Al igual que en la época húmeda, el método de Ward permitió identificar tres grupos principales según la similitud de los perfiles sensoriales.



**Figura 7.** Dendrograma de los perfiles sensoriales de 14 genotipos amazónicos de cacao evaluados durante la época seca.

El primer grupo estuvo integrado por tres híbridos con perfiles asociados principalmente a acidez, amargor y astringencia. El segundo grupo estuvo conformado por seis híbridos y un clon, caracterizados por una mayor expresión de sabores específicos como cacao, floral y frutal. El tercer grupo incluyó tres híbridos y un clon, con niveles altos en sabores específicos y valores intermedios en sabores básicos.

El agrupamiento en época seca mostró una separación más marcada entre genotipos con predominio de sabores básicos y genotipos con mayor expresión de sabores específicos. El segundo y tercer grupo presentaron los perfiles sensoriales más favorables, mientras que el primer grupo concentró materiales con mayor intensidad de atributos básicos.

### Comparación de medias mediante Kruskal-Wallis

#### Atributos sensoriales en época húmeda

La Tabla 2 presenta los valores medios de los atributos sensoriales de 14 genotipos amazónicos de cacao evaluados durante la época húmeda mediante la prueba de Kruskal-Wallis. En términos generales, los mayores promedios se observaron en los sabores específicos, principalmente cacao con 4.43 y frutal con 4.29. Entre los sabores básicos, el mayor promedio correspondió a acidez con 3.79, seguido de amargor con 3.25 y astringencia con 2.86. Los atributos adquiridos presentaron valores bajos, con promedios de 0.32 para verde y 0.57 para moho.

**Tabla 2.** Valores medios de los atributos sensoriales de 14 genotipos amazónicos de cacao evaluados en época húmeda mediante Kruskal-Wallis.

Código	Época húmeda									
	Sabores básicos			Sabores específicos				Sabores adquiridos		
	Acidez	Amargor	Astringencia	Dulce	Cacao	Floral	Frutal	Nuez	Verde	Moho
NUPA 001 PL 4	4.00 abc	2.50 bcd	2.50 bc	2.00 abc	5.00 ab	1.00 bcd	5.50 ab	2.00 a	0.00 a	0.00 b
NUPA 001 PL 6	5.00 a	3.00 abcd	4.00 a	3.00 abc	3.50 bc	4.50 ab	3.00 c	0.00 b	0.00 a	0.00 b
NUPA 001 PL 8	3.50 abc	2.50 bcd	3.00 abc	1.00 abc	4.00 abc	1.50 abcd	4.50 abc	0.50 ab	0.00 a	0.00 b
NUPA 001 PL 10	3.00 bc	6.00 a	3.50 ab	0.00 c	3.00 c	0.00 d	3.50 bc	0.00 b	1.00 a	2.50 a
NUPA 001 PL 55	4.50 ab	4.00 ab	3.00 abc	3.00 abc	5.00 ab	5.50 a	4.00 abc	0.50 ab	0.00 a	1.00 ab
NUPA 001 PL 56	4.00 abc	2.50 bcd	2.50 bc	4.00 a	4.50 abc	1.00 bcd	6.00 a	2.00 a	0.00 a	0.00 b
NUPA 001 PL 58	3.50 abc	2.50 bcd	2.50 bc	2.00 abc	3.50 bc	0.50 cd	3.50 bc	0.50 ab	0.00 a	0.00 b
NUPA 001 PL 66	4.50 ab	5.50 ab	5.00 a	0.50 bc	3.00 c	3.00 abc	2.50 c	0.00 b	1.50 a	1.00 ab
NUPA 001 PL 96	3.00 bc	2.50 bcd	2.50 bc	0.00 c	5.00 ab	1.50 abcd	3.50 bc	1.00 ab	0.00 a	2.50 a
PANG 006*	5.00 a	3.50 abc	3.00 abc	3.50 ab	5.50 a	0.50 cd	5.50 ab	0.00 b	0.00 a	1.00 ab
SHAI 005*	3.50 abc	5.50 ab	3.50 ab	0.00 c	4.00 abc	1.50 abcd	4.00 abc	1.00 ab	1.50 a	0.00 b
YACU 004*	4.50 ab	3.50 abc	3.50 ab	0.00 c	4.00 abc	6.50 a	4.50 abc	0.00 b	0.50 a	0.00 b
ZAMO 016 PL 21	2.00 c	1.50 cd	0.50 c	3.50 ab	6.50 a	5.00 ab	5.50 ab	3.50 a	0.00 a	0.00 b
ZAMO 007 PL 5	3.00 bc	0.50 d	1.00 c	4.00 a	5.50 a	2.00 abcd	4.50 abc	2.50 a	0.00 a	0.00 b
Valor máximo	5.00	6.00	5.00	4.00	6.50	6.50	6.00	3.50	1.50	2.50
Valor mínimo	2.00	0.50	0.50	0.00	3.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00
Promedio	3.79	3.25	2.86	1.89	4.43	2.43	4.29	0.96	0.32	0.57
DE	0.87	1.57	1.13	1.61	1.04	2.10	1.05	1.12	0.58	0.92
CV (%)	23.00	48.18	39.69	84.92	23.37	86.54	24.52	115.88	179.00	160.45

**Nota.** Para cada atributo sensorial se consideraron  $n = 14$  genotipos. Según la metodología descrita, cada media corresponde al promedio de las evaluaciones realizadas por dos catadores entrenados, con evaluación por duplicado. Las medias con una letra común dentro de cada columna no son significativamente diferentes según la prueba de Kruskal-Wallis y comparación múltiple posterior, con nivel de significancia de 5 % ( $p > 0.05$ ). DE = desviación estándar; CV (%) = coeficiente de variación porcentual. El valor 0.00 representa ausencia del atributo sensorial. \* Acesión clonal.

Respecto a los valores máximos, ZAMO 016 PL 21 alcanzó la mayor intensidad en cacao con 6.50 y en nuez con 3.50; YACU 004\* presentó el mayor valor floral con 6.50; NUPA 001 PL 56 registró el valor más alto en frutal con 6.00; y NUPA 001 PL 10 alcanzó el mayor valor en amargor con 6.00. En sabores básicos, NUPA 001 PL 6 y PANG 006\* presentaron los mayores valores de acidez, ambos con 5.00; NUPA 001 PL 66 mostró el mayor valor de astringencia con 5.00; y NUPA 001 PL 56 junto con ZAMO 007 PL 5 alcanzaron los mayores valores en dulce, con 4.00.

La comparación múltiple posterior a Kruskal-Wallis mostró diferencias estadísticas entre genotipos para varios atributos sensoriales, expresadas mediante letras dentro de cada columna. Los genotipos que compartieron al menos una letra no difirieron significativamente entre sí al 5 %, mientras que aquellos sin letras comunes presentaron diferencias estadísticas. En este sentido, los atributos cacao, floral, frutal, amargor, acidez y astringencia permitieron diferenciar mejor los perfiles sensoriales de los genotipos evaluados.

En general, se observa que durante la época húmeda destacaron ZAMO 016 PL 21, PANG 006\*, YACU 004\*, NUPA 001 PL 55 y NUPA 001 PL 56 por su mayor expresión de sabores específicos. En contraste, los atributos verde y moho presentaron baja expresión, por lo que tuvieron menor peso en la caracterización sensorial de esta época.

### Atributos sensoriales en época seca

La Tabla 3 presenta los valores medios de los atributos sensoriales de 14 genotipos amazónicos de cacao evaluados durante la época seca mediante la prueba de Kruskal-Wallis. En esta época, los mayores promedios correspondieron a los atributos frutal con 4.07, cacao con 3.71, acidez con 3.75 y astringencia con 3.68. En contraste, los menores promedios se observaron en nuez con 0.39 y moho con 0.00, lo que indica ausencia de este último atributo en todos los genotipos.

**Tabla 3.** Medias de la prueba de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia del 5 % de 14 genotipos de cacao amazónico de la EETP en época seca. El número de datos (n) empleados fue 140.

En los sabores básicos, YACU 001 PL 5\* presentó el mayor valor de acidez con 5.50, seguido de NUPA 001 PL 90 con 5.00. Este último también registró el mayor valor en amargor con 5.00 y un valor alto de astringencia con 5.50. NUPA 001 PL 87 presentó el valor máximo de astringencia con 6.00. En el atributo dulce, NUPA 001 PL 32 alcanzó el mayor

Código	Época seca									
	Sabores básicos			Sabores específicos				Sabores adquiridos		
	Acidez	Amargor	Astringencia	Dulce	Cacao	Floral	Frutal	Nuez	Verde	Moho
PANG 023 PL 5	2.50 c	3.00 abcd	2.50 cde	2.00 abc	4.00 ab	5.00 a	4.00 abcd	0.00 a	0.00 b	0.00
ZAMO 016 PL 11	3.50 abc	3.50 abc	4.00 abcd	1.00 abc	3.00 b	2.50 abc	4.50 abc	2.00 a	1.00 ab	0.00
ZAMO 016 PL 9	4.00 abc	4.50 ab	5.50 ab	0.00 c	3.50 ab	2.00 abcd	2.50 cd	0.00 a	3.00 a	0.00
NUPA 001 PL 13	3.00 bc	2.00 cd	2.50 cde	1.00 abc	4.50 a	1.50 abcd	5.50 ab	2.00 a	0.00 b	0.00
NUPA 001 PL 32	3.75 abc	2.00 cd	1.50 e	4.50 a	5.00 a	1.50 abcd	6.00 a	0.00 a	0.00 b	0.00
NUPA 001 PL 73	4.50 ab	1.50 d	3.00 bcde	2.50 ab	4.50 a	2.50 abc	4.50 abc	0.00 a	0.50 ab	0.00
NUPA 001 PL 87	4.50 ab	4.50 ab	6.00 a	0.00 c	3.00 b	0.00 d	2.00 d	0.00 a	3.50 a	0.00
NUPA 001 PL 90	5.00 a	5.00 a	5.50 ab	0.50 bc	3.00 b	1.00 bcd	3.00 cd	0.00 a	3.50 a	0.00
NUPA 001 PL 59	4.00 abc	3.00 abcd	4.00 abcd	0.50 bc	3.50 ab	2.50 abc	3.00 cd	0.00 a	2.00 a	0.00
NUPA 001 PL 24	4.00 abc	2.50 bcd	3.50 abcde	2.00 abc	4.00 ab	0.00 d	5.50 ab	0.00 a	1.00 ab	0.00
PAL 013 PL 6	3.00 bc	3.25 abcd	4.50 abc	1.00 abc	4.00 ab	1.00 bcd	4.50 abc	1.50 a	1.00 ab	0.00
PAL 012 PL 2	2.75 c	3.75 ab	3.50 abcde	0.00 c	3.50 ab	4.50 ab	3.50 bcd	0.00 a	0.50 ab	0.00
YACU 001 PL 5*	5.50 a	2.50 bcd	3.50 abcde	4.25 a	3.50 ab	0.00 d	4.25 abcd	0.00 a	1.50 ab	0.00
NUPA 001 PL 1*	2.50 c	3.00 abcd	2.00 de	2.00 abc	3.00 b	0.50 cd	4.25 abcd	0.00 a	0.00 b	0.00
Valor máximo	5.50	5.00	6.00	4.50	5.00	5.00	6.00	2.00	3.50	0.00
Valor mínimo	2.50	1.50	1.50	0.00	3.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	3.75	3.14	3.68	1.52	3.71	1.75	4.07	0.39	1.25	0.00
DE	0.93	1.03	1.35	1.46	0.64	1.57	1.17	0.79	1.28	0.00
CV (%)	24.81	32.83	36.78	96.36	17.28	89.48	28.74	200.79	102.58	—

Nota. Para cada atributo sensorial se consideraron n = 14 genotipos. El total de valores medios presentados en la tabla es 140 porque corresponde a 14 genotipos × 10 atributos sensoriales. Las medias con una letra común dentro de cada columna no son significativamente diferentes según la prueba de Kruskal-Wallis y comparación múltiple posterior, con nivel de significancia de 5 % ( $p > 0.05$ ). DE = desviación estándar; CV (%) = coeficiente de variación porcentual. En el atributo moho, el CV no fue calculado porque todos los valores fueron 0.00. El valor 0.00 representa ausencia del atributo sensorial. \* Accesoión clonal.

valor con 4.50, seguido de YACU 001 PL 5\* con 4.25. En los sabores específicos, NUPA 001 PL 32 registró los valores más altos en cacao y frutal, con 5.00 y 6.00, respectivamente. Asimismo, NUPA 001 PL 13 y NUPA 001 PL 73 destacaron en cacao con 4.50, mientras que NUPA 001 PL 13 y NUPA 001 PL 24 presentaron valores elevados en frutal, ambos con 5.50. En floral, PANG 023 PL 5 alcanzó el mayor valor con 5.00, seguido de PAL 012 PL 2 con 4.50. Para nuez, los valores fueron bajos en general, con un máximo de 2.00 en ZAMO 016 PL 11 y NUPA 001 PL 13.

La comparación estadística mostró diferencias entre genotipos en varios atributos sensoriales, de acuerdo con las letras asignadas en cada columna. En acidez, amargor, astringencia, dulce, cacao, floral, frutal y

verde se observaron agrupamientos diferenciados. En cambio, el atributo nuez no mostró una diferenciación marcada entre materiales, debido a que los genotipos compartieron la misma letra estadística. En moho no se realizó diferenciación, ya que todos los valores fueron 0.00.

**Síntesis comparativa entre épocas**

La Tabla 4 resume los genotipos con mayor expresión sensorial por atributo en época húmeda y seca. En términos generales, la época húmeda se caracterizó por una mayor expresión de atributos específicos deseables como cacao, floral, frutal y nuez, mientras que la época seca mostró una mayor expresión de sabores básicos como acidez, amargor y astringencia, además de una mayor presencia del atributo verde.

**Tabla 4.** Genotipos de cacao amazónico con mayor expresión sensorial por atributo en época húmeda y seca.

	Atributos	Época húmeda	Época seca
Sabores básicos	acidez	NUPA 001 PL 6	NUPA 001 PL 90
		PANG 006 *	YACU 001 PL 5
	amargor	NUPA 001 PL 10	NUPA 001 PL 90
	astringencia	NUPA 001 PL 6	NUPA 001 PL 87
		NUPA 001 PL 66	NUPA 001 PL 90
	dulce	NUPA 001 PL 56 ZAMO 007 PL 5	NUPA 001 PL 32
Sabores específicos	cacao	PANG 006 *	NUPA 001 PL 13
		ZAMO 016 PL 21	NUPA 001 PL 32
		ZAMO 007 PL 5	NUPA 001 PL 73
	floral	NUPA001 PL 55	PANG 023 PL 5
		YACU 004 *	
	frutal	NUPA 001 PL 56	NUPA 001 PL 32
	nuez	NUPA 001 PL 4	-
		NUPA 001 PL 56	
ZAMO 016 PL 21 ZAMO 007 PL 5			
Sabores adquiridos	verde	-	ZAMO 016 PL 9
			NUPA 001 PL 87
			NUPA 001 PL 90
			NUPA 001 PL 59

Nota: \* Accesión clonal

En época húmeda, los genotipos más representativos fueron PANG 006\*, ZAMO 016 PL 21 y ZAMO 007 PL 5 para cacao; NUPA 001 PL 55 y YACU 004\* para floral; NUPA 001 PL 56 para frutal; y NUPA 001 PL 4, NUPA 001 PL 56, ZAMO 016 PL 21 y ZAMO 007 PL 5 para nuez. En época seca, destacaron NUPA 001 PL 13, NUPA 001 PL 32 y NUPA 001 PL 73 para cacao; PANG 023 PL 5 para floral; NUPA 001 PL 32 para frutal; y ZAMO 016 PL 9, NUPA 001 PL 87, NUPA 001 PL 90 y NUPA 001 PL 59 para el atributo verde.

En conjunto, la comparación entre épocas evidencia que la época húmeda favoreció perfiles sensoriales más asociados con sabores específicos de interés comercial, mientras que la época seca incrementó la expresión de sabores básicos y del atributo verde. Por ello, los materiales con mejor desempeño sensorial general fueron ZAMO 016 PL 21, PANG 006\*, NUPA 001 PL 56 y NUPA 001 PL 32, mientras que NUPA 001 PL 90 presentó un perfil más limitado por su mayor intensidad en acidez, amargor, astringencia y verde.

#### IV. DISCUSIÓN

La caracterización física y sensorial de genotipos amazónicos de cacao es clave para identificar materiales con potencial de calidad diferenciada. La calidad del cacao no depende solo del genotipo, sino de la interacción entre ambiente, estado hídrico, fermentación, secado y expresión de compuestos asociados al aroma y sabor. En esa línea, Zapata-Alvarez et al. (2024) señalan que la integración de análisis sensoriales, bioquímicos y moleculares permite reconocer materiales regionales con perfiles sobresalientes para programas de selección y valorización comercial.

En este estudio, la humedad del suelo fue mayor en época húmeda, con 36.39 %, y disminuyó en época seca hasta 19.71 %, valor cercano al punto de marchitez permanente. Esta diferencia confirma que los materiales fueron evaluados bajo condiciones contrastantes de disponibilidad hídrica. Dicho comportamiento es relevante, porque la reducción de agua disponible puede afectar el crecimiento, la actividad fisiológica y el rendimiento del cacao, como

reportaron Adet et al. (2024) al evaluar el efecto de la reducción estacional de lluvia en árboles de cacao. La menor disponibilidad hídrica en época seca pudo contribuir a una mayor expresión de sabores básicos y adquiridos, como acidez, amargor, astringencia y verde. Sin embargo, esta interpretación debe asumirse con cautela, porque los genotipos evaluados en época húmeda y seca no fueron exactamente los mismos. Por tanto, las diferencias observadas no deben atribuirse únicamente a la época, sino a la interacción entre genotipo, ambiente y manejo poscosecha.

El análisis físico de las almendras mostró una diferenciación clara entre genotipos. El ACP explicó el 64.3 % de la variabilidad total, lo que permitió separar materiales asociados con almendras buenas y medianamente fermentadas de aquellos vinculados con mayor humedad o presencia de almendras violetas. Este resultado confirma que la fermentación y la condición física del grano fueron variables relevantes para diferenciar la calidad de los materiales evaluados. Ramírez-González et al. (2024) también reportaron que la fermentación modifica atributos fisicoquímicos y sensoriales del cacao, mientras que Erazo Solorzano et al. (2023) evidenciaron que el secado influye en el perfil volátil del cacao ecuatoriano. En el análisis sensorial, el ACP explicó el 61.5 % de la varianza total, diferenciando genotipos asociados con atributos deseables como cacao, floral, frutal y nuez, de otros más vinculados con acidez, amargor, astringencia, verde o moho. Este comportamiento confirma que los genotipos amazónicos evaluados no expresaron un perfil uniforme, sino respuestas sensoriales diferenciadas. Resultados similares fueron descritos por Martínez-Guerrero y Ligarreto-Moreno (2023), quienes observaron variabilidad sensorial entre cultivares de cacao de distintos orígenes.

Durante la época húmeda, los mayores promedios correspondieron a cacao y frutal, con 4.43 y 4.29, respectivamente. Además, los atributos verde y moho presentaron baja expresión, lo que sugiere menor presencia de defectos sensoriales. En esta condición destacaron ZAMO 016 PL 21, PANG 006\*, YACU 004\*, NUPA 001 PL 55 y NUPA 001

PL 56, principalmente por sus notas de cacao, floral y frutal. Estos atributos son relevantes para perfiles de cacao fino o diferenciado, siempre que se mantengan equilibrados.

En época seca, los mayores promedios correspondieron a frutal, cacao, acidez y astringencia. NUPA 001 PL 32 presentó el perfil más favorable, al destacar en frutal, cacao y dulce; en cambio, NUPA 001 PL 90 mostró mayor intensidad de acidez, amargor, astringencia y verde. Esto evidencia que una mayor intensidad sensorial no siempre representa mejor calidad, ya que el valor del perfil depende del equilibrio entre atributos favorables y no favorables. Afifah et al. (2025) señalan que los atributos sensoriales del licor de cacao se relacionan con perfiles metabólicos específicos, lo que ayuda a explicar la variabilidad entre genotipos.

La prueba de Kruskal-Wallis confirmó diferencias entre genotipos para varios atributos sensoriales. En época húmeda, los atributos cacao, floral, frutal, acidez, amargor y astringencia permitieron diferenciar mejor los materiales. En época seca, las diferencias fueron más evidentes en acidez, amargor, astringencia, dulce, cacao, floral, frutal y verde. Esta variabilidad coincide con Rodríguez-Silva et al. (2023), quienes reportaron diferencias físicas y sensoriales importantes entre genotipos especiales de cacao. El agrupamiento jerárquico mediante Ward reforzó estos patrones. En ambas épocas se formaron tres grupos, pero en época seca la separación entre materiales con predominio de sabores básicos y materiales con mayor expresión de sabores específicos fue más marcada. Esto demuestra que el análisis multivariado fue útil para reconocer afinidades sensoriales y clasificar genotipos con perfiles más equilibrados.

Los materiales ZAMO 016 PL 21, PANG 006\*, NUPA 001 PL 56 y NUPA 001 PL 32 mostraron mayor interés sensorial. Los tres primeros destacaron en época húmeda por atributos como cacao, floral, frutal y nuez, mientras que NUPA 001 PL 32 sobresalió en época seca por frutal, cacao y dulce. En contraste, NUPA 001 PL 90 presentó un perfil menos equilibrado por su mayor intensidad en acidez, amargor, astringencia y verde.

## V. CONCLUSIONES

La investigación permitió caracterizar sensorialmente genotipos amazónicos de cacao evaluados bajo condiciones estacionales contrastantes de disponibilidad hídrica en Mocache, Ecuador, evidenciando una variabilidad relevante entre materiales. En general, la época húmeda favoreció perfiles más asociados con atributos específicos deseables, como cacao, floral, frutal y nuez, mientras que la época seca mostró una mayor expresión de sabores básicos, principalmente acidez, amargor y astringencia, además de mayor presencia del atributo verde.

Los análisis físicos, sensoriales y multivariados confirmaron que los genotipos no presentaron un comportamiento uniforme, sino perfiles diferenciados según la época de evaluación y sus características propias. Entre los materiales con mejor desempeño sensorial destacaron ZAMO 016 PL 21, PANG 006\*, NUPA 001 PL 56 y NUPA 001 PL 32, por su mayor asociación con atributos de interés para la calidad diferenciada del cacao. En contraste, NUPA 001 PL 90 presentó un perfil menos equilibrado, debido a la mayor intensidad de acidez, amargor, astringencia y verde.

No obstante, las diferencias entre épocas deben interpretarse con prudencia, debido a que los genotipos evaluados en época húmeda y seca no fueron exactamente los mismos. Por ello, los resultados constituyen una base técnica preliminar para la selección, conservación y valorización de genotipos amazónicos con potencial sensorial, recomendándose futuras evaluaciones con los mismos materiales en ambas épocas y bajo protocolos poscosecha estandarizados.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Conceptualización: K.V.P.F. y C.O.Q.M.; Metodología: K.V.P.F., A.F.R.C. y J.D.B.D.; Validación: C.O.Q.M. y A.F.R.C.; Análisis formal: K.V.P.F., C.O.Q.M. y J.D.B.D.; Investigación: K.V.P.F., C.O.Q.M., A.F.R.C. y J.D.B.D.; Recursos: K.V.P.F. y C.O.Q.M.; Curación de datos: A.F.R.C. y J.D.B.D.; Redacción del borrador original: K.V.P.F.

y A.F.R.C.; Redacción, revisión y edición: K.V.P.F., C.O.Q.M. y J.D.B.D.; Visualización: A.F.R.C. y J.D.B.D.; Supervisión: C.O.Q.M.; Administración del proyecto: K.V.P.F.; Adquisición de fondos: K.V.P.F. y C.O.Q.M.

## VI. REFERENCIAS

- Adet, L., Rozendaal, D. M. A., Zuidema, P. A., Vaast, P., & Anten, N. P. R. (2024). Cocoa tree performance and yield are affected by seasonal rainfall reduction. *Agricultural Water Management*, 302, 108995. doi:10.1016/j.agwat.2024.108995
- Afifah, E. N., Sari, I. A., Susilo, A. W., Firmanto, H., Malik, A., Fukusaki, E., & Putri, S. P. (2025). Correlation between sensory attributes and metabolomic profiles of cocoa liquor from different cacao genotypes. *Food Chemistry: X*, 28, 102498. doi:10.1016/j.fochx.2025.102498
- Becerra, L. D., et al. (2024). Modulating fine flavor cocoa attributes: Impact of seed-to-bean transformation under controlled conditions on metabolite, volatile and sensory profiles. *Food Research International*. doi:10.1016/j.foodres.2024.114764
- Betancourt-Sambony, F., et al. (2025). Relationship between physicochemical properties of roasted cocoa beans and climate patterns: Quality and safety implications. *LWT - Food Science and Technology*. doi:10.1016/j.lwt.2025.117026
- Colonges, K., Loor Solorzano, R. G., Jimenez, J. C., Lahon, M. C., Seguine, E., Calderon, D., Subia, C., Sotomayor, I., Fernández, F., Lebrun, M., Fouet, O., Rhoné, B., Argout, X., Costet, P., Lanaud, C., & Boulanger, R. (2022). Variability and genetic determinants of cocoa aromas in trees native to South Ecuadorian Amazonia. *Plants, People, Planet*, 4(6), 618–637. doi:10.1002/ppp3.10268
- Dos Santos, R. M., Silva, N. M. de J., Moura, F. G., Lourenço, L. de F. H., Souza, J. N. S. de, & Sousa de Lima, C. L. (2024). Analysis of the sensory profile and physical and physicochemical characteristics of Amazonian cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans produced in different regions. *Foods*, 13(14), 2171. doi:10.3390/foods13142171
- Erazo Solorzano, C. Y., Disca, V., Muñoz-Redondo, J. M., Tuárez García, D. A., Sánchez-Parra, M., Carrilo Zenteno, M. D., Moreno-Rojas, J. M., & Rodríguez-Solana, R. (2023). Effect of drying technique on the volatile content of Ecuadorian bulk and fine-flavor cocoa. *Foods*, 12(5), 1065. doi:10.3390/foods12051065
- International Cocoa Organization. (2024). *Fine flavour cocoa*.
- Martínez-Guerrero, N. C., & Ligarreto-Moreno, G. A. (2023). Sensory analysis of cacao liquor (*Theobroma cacao* L.) in cultivars with different origins grown in the Colombian tropics. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(2), e15876. doi:10.17584/rcch.2023v17i2.15876
- Oliva-Cruz, M., Goñas, M. M., Bobadilla, L. G., Rubio, K. B., Escobedo-Ocampo, P., García Rosero, L. M., Rojas Briceño, N. B., & Maicelo-Quintana, J. L. (2022). Genetic groups of fine-aroma native cacao based on morphological and sensory descriptors in Northeast Peru. *Frontiers in Plant Science*, 13, 896332. doi:10.3389/fpls.2022.896332
- Quevedo Guerrero, J. N., et al. (2022). Diversidad fisicoquímica y sensorial de 60 árboles élite de *Theobroma cacao* L. del sur del Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 14(1), 543–553.
- Ramírez-González, A. F., Gutiérrez-García, G. A., Polanía-Hincapié, P. A., López, L. J., & Suárez, J. C. (2024). Fermentation and its effect on the physicochemical and sensory attributes of cocoa beans in the Colombian Amazon. *PLOS ONE*, 19(10), e0306680. doi:10.1371/journal.pone.0306680

- Rodríguez-Silva, L. G., Quintana-Fuentes, L. F., Coronado-Silva, R. A., García-Jerez, A., Báez-Daza, E. Y., & Agudelo-Castañeda, G. A. (2023). Caracterización física y sensorial de 24 genotipos especiales de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 26(1), e2410. doi:10.31910/rudca.v26.n1.2023.2410
- Vicepresidencia de la República del Ecuador. (s. f.). *Mocache tiene un moderno laboratorio para mejorar la calidad del cacao y el café*.
- World Integrated Trade Solution. (2024). *Cocoa beans, whole or broken, raw or roasted exports by country*.
- Zapata-Alvarez, A., Bedoya-Vergara, C., Porrás-Barrientos, L. D., Rojas-Mora, J. M., Rodríguez-Cabal, H. A., Gil-Garzon, M. A., Martínez-Alvarez, O. L., Ocampo-Arango, C. M., Ardila-Castañeda, M. P., & Monsalve-F, Z. I. (2024). Molecular, biochemical, and sensorial characterization of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans: A methodological pathway for the identification of new regional materials with outstanding profiles. *Heliyon*, 10(3), e24544. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e24544