



Fecha de recibido: 12-12-2023

Fecha de aceptado: 06/05/2024

DOI: 10.22490/21456453.7569

# CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA IN SITU DE CACAO NATIVO (*Theobroma cacao* L) DE PUERTO ASÍS PUTUMAYO, COLOMBIA

## IN SITU MORPHO-AGRONOMIC CHARACTERIZA- TION OF NATIVE CACAO (*Theobroma cacao* L.) FROM PUERTO ASÍS, PUTUMAYO, COLOMBIA

José Julián Apraez Muñoz<sup>1</sup>

Gabriel Burgos Jiménez<sup>2</sup>

Emel John Burbano Ijaji<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD. en Genética y biología molecular, docente Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.  
apraez.julian@udenar.edu.co

Gabriel Burgos Jiménez.

<sup>2</sup> Especialista en gerencia de proyectos, instructor SENA-Putumayo, Puerto Asís, Colombia.  
gburgosj@sena.edu.co

Emel John Burbano Ijaji

<sup>3</sup> Especialista en formulación y evaluación de proyectos de desarrollo social. Dinamizador  
SENNOVA del SENA regional Putumayo.  
emeljb@gmail.com

**Citación:** Apraez, J., Burgos, G., y Burbano, E. (2025). Caracterización morfoagronómica *in situ* de cacao nativo (*Theobroma cacao* L.) de Puerto Asís, Putumayo, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(1), 81 - 102.  
<https://doi.org/10.22490/21456453.7569>

## RESUMEN

**Contextualización:** El proyecto se llevó a cabo en el municipio de Puerto Asís, Departamento del Putumayo, enfocado en la caracterización fenotípica de caracteres morfo-agronómicos del *Theobroma cacao*. Este estudio es relevante debido a la ausencia de bancos de germoplasma y programas de fitomejoramiento en esta zona de la Amazonía colombiana. Las plantas evaluadas llevan más de 15 años establecidas, lo que permitió analizar su aclimatación a las condiciones locales.

**Vacío de conocimiento:** La región carece de bancos de germoplasma y programas de fitomejoramiento que permitan mejorar la productividad y conservación de los cultivos nativos de cacao, lo que limita el aprovechamiento de su potencial económico y la sostenibilidad de su uso.

**Objetivos:** El objetivo principal fue caracterizar fenotípicamente los cultivos nativos de cacao en Puerto Asís para crear una base de datos que sirva como fundamento para el establecimiento de un banco de germoplasma y el desarrollo de estrategias de conservación y fitomejoramiento, impulsando así el desarrollo económico de la región.

**Metodología:** Se evaluaron 48 variables divididas en cuatro estratos: hojas, flores, semillas y frutos, utilizando descriptores binomiales, multi-estado y cuantitativos como unidades básicas de caracterización. Para el análisis, se emplearon técnicas de clúster o conglomerados que permitieron identificar similitudes y diferencias entre los cultivos evaluados.

**Resultados y conclusiones:** El análisis reveló diferencias significativas entre los estratos y cultivos, identificando cultivos sobresalientes en términos de rendimiento y características fisiológicas. Se destacaron los cultivos 25, 26, 3, 14 y 13 en rendimiento, y las plantas 36, 31 y 18 en aspectos fisiológicos. Este estudio constituye el primer esfuerzo de caracterización de la agrobiodiversidad del cacao nativo en la región amazónica de Colombia, sentando las bases para programas de fitomejoramiento y conservación.

**Palabras clave:** conservación, descriptores, morfología, mejoramiento genético, variabilidad

# ABSTRACT

**Contextualization:** The project was conducted in the municipality of Puerto Asís, Department of Putumayo, focusing on the phenotypic characterization of morpho-agronomic traits of *Theobroma cacao*. This study is particularly relevant due to the absence of germplasm banks and breeding programs in the region, which is located in the Colombian Amazon. The evaluated plants have been established for over 15 years, allowing the study of cultivar acclimatization to local edaphoclimatic conditions.

**Knowledge Gap:** The region lacks germplasm banks and breeding programs that would enable the improvement of productivity and conservation of native cacao cultivars, limiting the potential economic development and sustainability of their use.

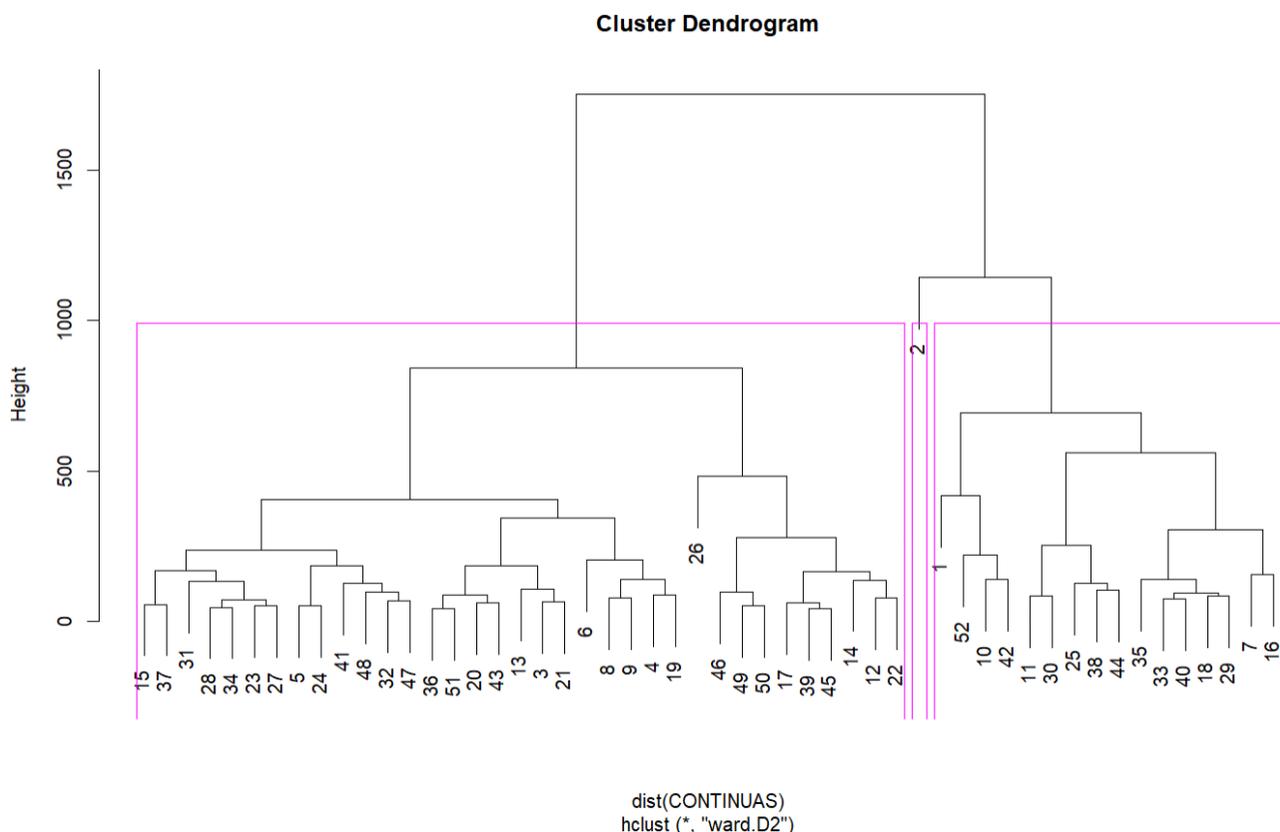
**Objectives:** The main objective was to phenotypically characterize the native cacao cultivars in Puerto Asís to establish a database for the creation of a germplasm bank and to develop conservation and breeding strategies aimed at promoting the region's economic development by utilizing high-yield cultivars.

**Methodology:** A total of 48 variables were evaluated, divided into four strata: leaves, flowers, seeds, and fruits. Each stratum used three types of descriptors as basic characterization units: binomial, multi-state, and quantitative. Cluster analysis techniques were applied to identify similarities and differences among the evaluated cultivars.

**Results and Conclusions:** The analysis revealed significant differences between strata and cultivars, identifying cultivars that excelled in terms of yield and physiological traits. Cultivars 25, 26, 3, 14, and 13 stood out in yield variables, while plants 36, 31, and 18 showed outstanding physiological characteristics. This study represents the first effort to characterize the agro-biodiversity of native cacao in the Colombian Amazon, providing a solid foundation for local germplasm bank creation and the development of breeding programs.

**Keywords:** conservation, descriptors, genetic improvement, morphology, variability

# RESUMEN GRÁFICO



Análisis de conglomerados para las variables de naturaleza Cuantitativa

**Fuente:** autores.

## 1 INTRODUCCIÓN

*Theobroma cacao* L. (cacao), es una especie perenne perteneciente a la familia Malvaceae (Loor *et al.*, 2009; Aikpokpodion, 2010; Medina *et al.*, 2019) originaria de los

bosques tropicales húmedos de América del Sur de las regiones Amazonas y Orinoco (Medina *et al.*, 2019), siendo las áreas relacionadas a los ríos Napo, Putumayo y

Caquetá donde existe mayor variación de la especie (Loor *et al.*, 2009; Barón *et al.*, 2021). *T. cacao L.* es un cultivo tropical muy valioso, dado que sus semillas son la materia prima para la industria mundial de chocolates (Martínez, *et al.*, 2015), la producción de manteca y de cacao en polvo (Barón *et al.*, 2021), con aplicaciones en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica (Meneses *et al.*, 2023).

Tradicionalmente, *T. cacao L.* se ha clasificado en tres grupos genéticos principales: forastero, criollo y trinitario, siendo el último un híbrido entre los dos primeros (Loor *et al.*, 2009; Gardea *et al.*, 2017; Gopaulchan *et al.*, 2019; Fajardo *et al.*, 2022). La clasificación de estos grupos es en referencia a su origen geofigura: forastero, de la cuenca del Amazonas; criollo, de Centro y Suramérica; y trinitario, de Trinidad y Tobago (Orduña *et al.*, 2023).

Forastero se caracteriza por tener una superficie rugosa del fruto y mayor rendimiento de semillas (Orduña *et al.*, 2023) y es responsable de cerca del 95% de la producción mundial debido a su alta productividad como a su resistencia a enfermedades y plagas (Fajardo *et al.*, 2022). Criollo, se caracteriza por la piel suave de su fruto y la baja productividad de semillas. Trinitario es un híbrido (criollo × forastero) originado en Trinidad, que se da como resultado de la hibridación natural en fincas de cacao (Orduña *et al.*, 2023). En cuanto a calidad, criollo y trinitario producen “cacao fino o de sabor”, mientras que, forastero suele producir cacao a granel, básico u ordinario (Fajardo *et al.*, 2022).

*T. cacao L.* es cultivado en varios países del mundo donde reúnen las condiciones edafoclimáticas idóneas (20 ° de latitud Norte y 20 ° de latitud Sur), (Ballesteros *et al.*, 2015; Quevedo *et al.*, 2020), siendo el continente americano donde existe la mayor diversidad de cultivares de cacao con diferentes características (Quevedo *et al.*, 2020). En Colombia, los cultivares de cacao en los últimos años ha venido incrementando, ubicándose entre los diez primeros países productores (Cáceres *et al.*, 2021; Ramos *et al.*, 2020), en parte debido a que el cultivo de cacao *T. cacao L.* es uno de los cultivos promovidos en el desarrollo de programas destinados a favorecer la paz en regiones en posconflicto, sustituyendo cultivos ilícitos como estrategia para combatir el narcotráfico, de ahí la importancia de la expiación agrícola del mismo.

Hasta el 2023 se reportaron 189 mil hectáreas sembradas, en donde los departamentos mayormente productivos son Santander, Antioquia, Nariño y Arauca; por lo cual, establecer este tipo de cultivos en zonas apartadas de la geografía colombiana se convierte en una iniciativa de alto impacto para el mercado (Medina *et al.*, 2019; Valencia *et al.*, 2022; Gil *et al.*, 2023). Sin embargo, se sabe muy poco sobre la riqueza de especies y el endemismo entre los cultivos silvestres del cacao en Colombia (Orozco *et al.*, 2020), pues a pesar de que en el país se han desarrollado industrias especializadas en la producción de *T. cacao L.*, en varias zonas productoras se sigue sembrando el material vegetal sin previa evaluación local (Cuellar *et al.*, 2013).

En Colombia, se reproducen diversidades de cultivares como lo son: CNCH12, CNCH-13, ICS-1, ICS-6, ICS-39, ICS-40, ICS-60, ICS-95, TSH-565, TSH-812, EET-8, EET-96, UF-650, SCC-61, FLE-2, FLE-3, FSA-11-FSA-13, FEAR-5, FTA-2, FSV-41, FEC-2, TCS-01, TCS-06, TCS-13, TCS-19, CCN-51 y selecciones del tipo criollo; dentro de estos, Compañía Nacional de Chocolates recomienda y destaca aquellos materiales autocompatibles, finos de aroma y sabor, como: CNCH-12, CNCH-13, ICS-1, FSV-41, TCS-19, TCS-01, FTA-2, FEAR-5. Al establecer estos clones por lotes o bloques se facilitan las labores como podas, cosecha, manejo de plagas y enfermedades, fertilización, entre otros. A pesar de esto, no hay conocimiento de cultivares nativos que estén caracterizados morfo agrónomicamente (Gil *et al.*, 2023).

En Colombia, se han realizado estudios de caracterización morfoagronómica de *T. cacao L.* en los departamentos de Santander, Huila, Arauca (López *et al.*, 2021), y Caquetá (Cuellar *et al.*, 2013), pero en otras regiones la caracterización morfoagronómica aún es incipiente (Fajardo *et al.*, 2022), tal es el caso del Departamento del Putumayo donde investigaciones de caracterización morfoagronómica en cacao nativo *T. cacao L.* son escasas. Las características morfoagronómicas de vainas, semillas y flores se utilizan para evaluar las relaciones entre genotipos de cacao (Aikpokpodion, 2010; Kunikullaya *et al.*, 2018).

En el Departamento del Putumayo ubicado al sur de Colombia en la región biogeográfica de la Amazonía, el cacao fue un cultivo importante en la década de los setenta ocupando un lugar predominante en su economía, pero debido a la falta de presencia estatal y la fácil implementación de los cultivos ilícitos en la región, el cacao fue remplazado por dichos cultivos (Rodríguez, 2002), sin embargo, en el municipio de Puerto Asís, Putumayo es común encontrar pequeñas plantaciones o árboles en los predios rurales que han persistido por iniciativa de los agricultores putumayenses.

Es importante encontrar genotipos nativos en las zonas productoras para evitar su pérdida (Fajardo *et al.*, 2022), además, estos pueden ser utilizados en investigaciones futuras para programas de mejoramiento vegetal, dado que la caracterización morfoagronómica permite seleccionar los materiales vegetales nativos con características sobresalientes en producción, rendimiento y sanidad vinculada a la reacción a enfermedades, con potencial económico para la región. Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo determinar las características morfoagronómicas de cacaos nativos del municipio de puerto Asís del Departamento de Putumayo, Colombia, calificándolo en estratos (hojas, tallos, frutos) con el fin de establecer un clúster de caracterización.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

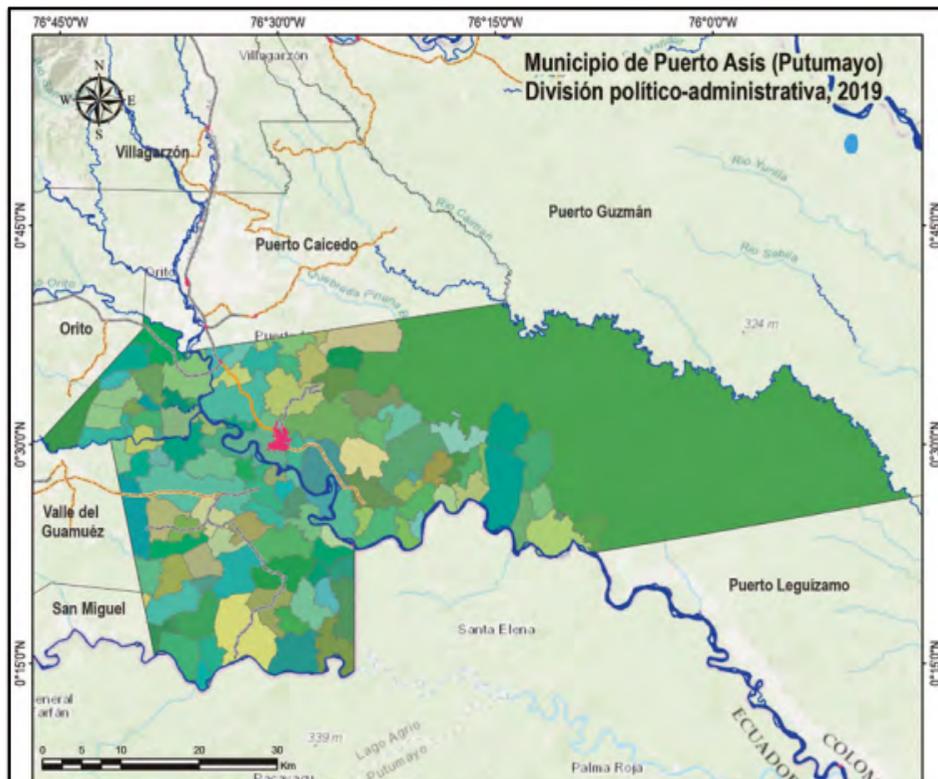
### Selección de zonas a intervenir

Para esta etapa se desarrollaron varios conjuntos de datos como línea base de las fincas productoras de la región, teniendo en cuenta: vías de acceso, presencia de grupos armados, información de los productores, disponibilidad para ser incluidos dentro de la investigación y la edad de los cultivos, que en algunos casos superaban los 30 años de establecimiento. Se dio prioridad a los sitios que manifestaban esta información, estableciendo así un índice de selección en el cual

se daba mayor importancia a las variables mencionadas. Los índices fueron realizados con base en la metodología de Bravo (2022).

### Localización

La fase de campo se llevó a cabo en predios rurales y urbanos del municipio de Puerto Asís, con una altitud promedio de 200 msnm, temperatura promedio de 26°C, precipitación anual promedio de entre 3.000 y 4.000 mm., y una evapotranspiración potencial de entre 1400 y 1600 mm (Plan de desarrollo municipal de Puerto Asís, 2020).



**Figura 1.** Distribución político administrativa del Municipio de Puerto Asís

**Fuente:** DANE-Divipola (2020) e IGAC (2021)).

## Fase laboratorio

Esta fase se desarrolló en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Biotecnología Vegetal del Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima del SENA Regional Putumayo, ubicado en la Calle 19 A No. 23-57, en el municipio de Puerto Asís, Putumayo.

## Recursos genéticos

Para esta fase se contó con el apoyo de agricultores, personal técnico de la federación nacional de cacaoteros y profesionales de la entidad aliada, con quienes se realizó el diligenciamiento del pasaporte de caracterización in situ de árboles de cacao nativo distribuidos en los predios ubicados en el municipio de Puerto Asís, Putumayo. Para tomar una muestra representativa, en la ruta de visita se incluyó: 100% de las inspecciones que conforman al municipio de Puerto Asís, para un total de 12, ; de cada inspección se visitaron el 40% de las veredas, para un total de 67; y de cada vereda se visitaron 5 fincas, para un total de 335.

Lo anterior se desarrolla de la siguiente manera: Inspección de Puerto Asís, 9 veredas, 45 fincas; Inspección Alto Danubio, 3 veredas, 15 fincas; Inspección Bajo Cuembí, 9 veredas, 45 fincas; Inspección de Caña Brava, 2 veredas, 10 fincas; Inspección de Puerto Vega, 7 veredas, 35 fincas; Inspección Alto Cuembí, 5 veredas, 25 fincas; Corregimiento Santana, 9 veredas, 45 fincas; Corregimiento Teyeyé, 6 veredas, 30 fincas; Corregimiento La Carmelita, 6 veredas, 30

fincas; Corregimiento de Piñuña Blanco, 6 veredas, 30 fincas; Corregimiento de Villa Victoria, 4 veredas, 20 fincas; y, Corregimiento Perla Amazónica, 1 vereda, 5 fincas.

## Caracterización morfoagronómica

Se realizó mediante 56 descriptores propuestos por la Compañía Nacional de Chocolates–Grupo Nutresa (2108). Cada uno de estos descriptores constituirá una variable evaluada como se muestra en la Tabla 1. Esta metodología es una adaptación de la metodología establecida por Engels *et al.* (1980).

## Análisis estadísticos

Para este estudio se utilizó un método que implicó los valores de las variables o descriptores morfoagronómicos, los cuales dependían de los cultivares muestreados en cada finca, al no contar con repeticiones de los cultivares se realizó un análisis de clúster basado en el modelo de clúster jerárquico *Hclust*, analizando los resultados obtenidos y dividiéndolos según la naturaleza de la variable, como se explica a continuación, con el programa *Rstudio* (González-Orozco y Pesca, 2022).

## Análisis de correlación o de conglomerados

Todos los datos en este trabajo fueron establecidos y tratados de manera sistemática, concibiendo a cada planta y variable analizada como una Unidad Básica de Caracteri-

zación, la cual es la unidad básica de objeto (plantas de cacaos nativos). Dependiendo del propósito del estudio de caracterización, la UBC puede ser un individuo, una población silvestre, una línea o un híbrido (González, 2001).

### *Naturaleza de los datos*

Para la realización del clúster en este estudio se calificaron los datos según las variables y valor que describen a cada una, con el fin de evaluar los índices de similitud y disimilitud que se utilizan dentro de las matrices estadísticas. Para ello, se dividió a cada una de las matrices en estratos: hojas, flores, frutos y semillas, que fueron los casos de estudio los cuales estuvieron sometidos a diversas variables de análisis.

Dentro de cada estrato, se dividió a las variables analizadas según su taxonomía numérica, es decir, según al tipo de valor y variable correspondiente, para ello definimos tres dentro de este estudio: variables doble estado (binarias), estos datos fueron clasificados

en relación con la variable analizada, la cual determina ausencia o presencia de cierto elemento evaluado dentro de los cacaos nativos, esta variable se clasifica como 0 y 1.

VARIABLES MULTI-ESTADO, en este caso los datos multiestado son aquellos de carácter cualitativo que presentan más de dos posibilidades de respuesta y que, a su vez, pueden o no tener secuencia lógica, o que cada uno de ellos posea una característica propia, para esto, en las variables cuyos datos tenga más de dos posibilidades por ejemplo el color, donde rojo = 1, amarillo = 2, azul = 3, entre otros; sin embargo, no se puede concluir que rojo es menor que azul, debido a que son diferentes pero no en orden o secuencia lógica. VARIABLES CUANTITATIVAS, refiere a los datos cuantitativos, es decir, aquellos que pueden contarse y que son continuos (presentan cualquier valor real); generalmente, con una distribución normal e incluso algunos datos discretos pueden ser utilizados con un buen muestreo, pero mediante estadísticos de tendencia central para obtener normalidad, como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

Caracterización de las variables según el estrato evaluado y la taxonomía de los datos

<b>Nombre de la variable analizada</b>	<b>Estrato</b>	<b>Tipo de variable</b>
Longitud Lamina Foliar	Hojas	Cuantitativa
Ancho Lamina Foliar		
Longitud LBA		
Longitud del peciolo de la hoja – mm		
Longitud del estaminodio – mm	Flores	
Longitud del ovario – mm		
Longitud del estilo – mm		
Longitud del fruto	Fruto	
Masa del fruto		
Ancho del fruto		
Grosor del surco primario		
Grosor del surco secundario		
Grosor del lomo o caballete		
Profundidad del surco primario		
Profundidad del surco secundario		
Número de semillas integrales/fruto		
Número de semillas vanas/fruto		
Masa húmeda/100 semillas		
Masa húmeda sin mucilago/100 semillas		
Masa seca/100 semillas		
Longitud	Semilla	
Grosor		
Diámetro		
Color de los brotes terminales	Hojas	Binomiales
Antocianina en el limbo del pétalo	Flores	
Orientación de sépalos		
Antocianinas en la parte superior del ovario		
Color del fruto inmaduro	Fruto	
Color del fruto maduro		

Forma de la base de la hoja	Hojas	Multiestado
Forma del ápice de la hoja		
Pubescencias en brotes terminales		
Color del péndulo	Flores	
Antocianina en sépalos		
Antocianina en filamentos del estambre		
Color de la flor (antocianinas en sépalos)		
Antocianina en estaminodio		
Forma del ápice del fruto	Fruto	
Constricción basal del fruto		
Forma del fruto		
Rugosidad del fruto		
Intensidad de antocianina en lomos de fruto inmaduro		
Intensidad de antocianina en lomos del fruto maduro		
Intensidad de antocianina en surco primario:		
Separación entre pares de lomos		
Forma en sección longitudinal	Semilla	
Forma en sección transversal		
Color predominante de los cotiledones		

**Fuente:** adaptado de González-Orozco y Pesca (2022).

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en las figuras 1, 2 y 3, el análisis de clúster nos permitió dividir a las plantas de cacao nativos en 5 grandes grupos según las variables analizadas, el propósito es agrupar como también distribuir las plantas y las zonas en estos tres grandes grupos, permitiendo caracterizar de

manera homogénea a cada planta sometida al estudio.

Este análisis permitió reducir la información de la población entera en grupos más específicos para así poder entender la dinámica de la planta frente a cada ambiente de desa-

rrollo, logrando determinar sus similitudes y sus disimilitudes según sea la naturaleza de la variable estudiada, como lo menciona Ramos (2020), quien indica que esta forma de clasificación, que es determinada por variables obtenidas en campo, permite clasificar genotipos de la misma especie mediante criterios de selección determinados.

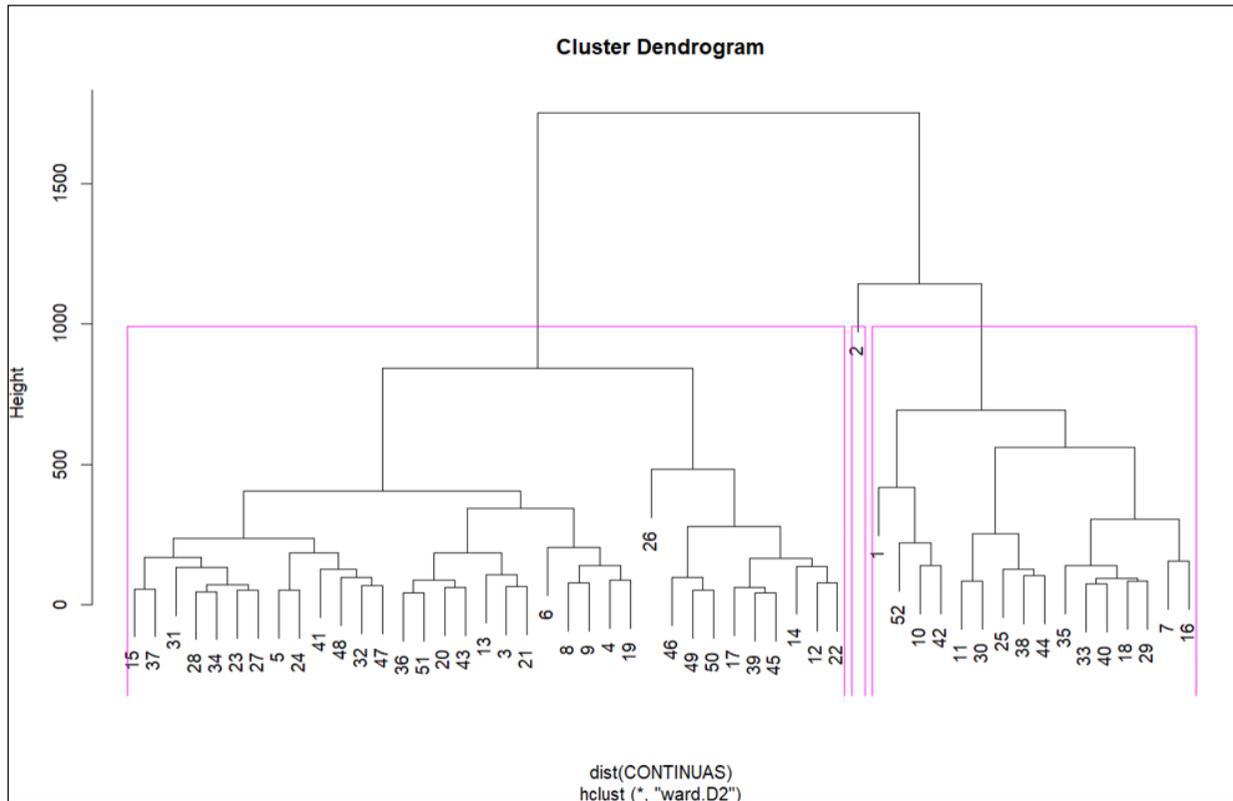
Es de esta forma que los factores evaluados en este estudio demostraron tener valores críticos en algunos materiales, pues al tratarse de cultivares demasiado antiguos y que no han tenido un método de manejo agronómico adecuado, lo cual concuerda con lo establecido por Bravo (2022) quien evaluó la distribución de cacaos nativos en la región de Arauca y encontró que los productores de esta zona al no tener los recursos económicos ni entidades que brinden asistencia, no se consideraba a dicho material vegetal como un cultivo de ganancia económica y, por ende, no es manejado como tal.

## Análisis de clúster según la naturaleza de la variable

Posterior a la realización de este estudio, se pudieron determinar varias diferencias entre los cultivares de cacao estudiadas y las zonas en donde ellas se desarrollan, como muestran las figuras 1, 2 y 3. Una vez ter-

minado el análisis estadístico, se evidencia la creación de cinco grandes grupos en las variables de naturaleza, cuantitativa, binomial y multiestado. Por otra parte, la caracterización morfoagronómica realizada con las más de 60 variables permite considerar la evaluación de la planta dentro de los cuatro grandes estratos (hojas, flores, frutos y semillas), a su vez, la división de la planta en estratos facilita entender de mejor manera el comportamiento fisiológico de los cultivares de cacao.

Lo anterior, es mencionado por Villegas (2014) en sus estudios de caracterización, los cuales permitieron dar una referencia de las propiedades de las plantas influenciadas en varias comunidades aledañas partiendo de condiciones similares, pero desconociendo la procedencia de la semilla, encontrando así variación entre el desarrollo fisiológico que expresaban cada uno de los cultivares estudiados en las diversas comunidades colindantes. Sumado a esto, Bravo *et al.* (2021) demostró que existe un alto desconocimiento por parte de los cultivadores regionales respecto a la procedencia de la semilla, puesto que esta es obtenida de mercados locales o es otorgada, en algunos casos, por familiares o amigos, pero no tienen una trazabilidad de su origen.



**Figura 1.** Análisis de conglomerados para las variables de naturaleza cuantitativa

**Fuente:** autores.

### Variables cuantitativas

Como se puede observar en el Figura 1, las plantas 25, 26, 3, 19 y 13 presentan una alta variación entre los cultivares estudiados en la zona. Si bien todas pertenecen al mismo municipio, se puede evidenciar que estos cultivares presentaron valores más altos en el comportamiento morfo-fisiológico, lo que permite determinar características promotoras para ser utilizadas como fuente de semilla, patrón o copa.

Este análisis permite resolver que las plantas mencionadas presentan valores mayores al promedio de los cultivares mencionados en variables como: longitud de hoja, ancho

de la hoja, longitud de peciolo, masa del fruto, ancho fruto, número de semillas sanas, masa húmeda sin mucílago, masa seca de 100 semillas, longitud del fruto, diámetro y grosor del fruto, siendo estas variables altamente importantes cuando se trata de escoger genotipos superiores dentro de una misma zona de influencia, puesto que demuestran un desarrollo mayor ante condiciones edafoclimáticas similares, como ocurrió en este estudio.

Siguiendo esta misma idea, autores como Rodríguez-Medina *et al.* (2019), caracterizaron clones de cacao tanto molecular como morfológicamente, encontrando que variables fisiológicas, reproductivas, produc-

tivas y fitosanitarias deben ser la base para procesos de caracterización y selección en cultivares promisorios dentro de 11 comunidades de producción del cultivo, en este sentido, varios autores manifiestan que la caracterización del germoplasma *in situ* debe ir acompañada por la determinación de rasgos genéticos que permitan medir la variabilidad genética (Aranguren *et al.*, 2010; Núñez-Colín y Escobedo-López, 2014), es por ello que en una segunda fase de sus estudios utilizan marcadores moleculares que son fragmentos de ADN, los cuales pueden ser utilizados para analizar la diversidad y la detección de polimorfismos que diferencian cultivares entre sí.

En relación con la variable masa de frutos, los árboles mencionados oscilaban sus valores entre 482 y 633 g, los cuales están cercanos o superan el promedio, que estuvo en 490 g. Por esta razón, estos cultivares manifiestan varias similitudes entre sí, destacándose la planta 25, esta obtuvo el mayor valor que fue de 633g, este valor junto a varias variables estudiadas permite situar a esta planta con una consideración especial para ser tenida en cuenta en procesos de mejoramiento genético, puesto que su comportamiento es muy superior a otros cultivares nativos como lo reportan.

Rodríguez-Medina *et al.* (2019) quienes obtuvieron valores de peso de mazorca promedio de 297g, resultado que está muy por debajo a los obtenidos en esta investigación, estableciendo así un precedente de la importancia de estos cultivares locales, los cuales sin contar con métodos de manejo de cultivos adecuados y teniendo una edad entre los

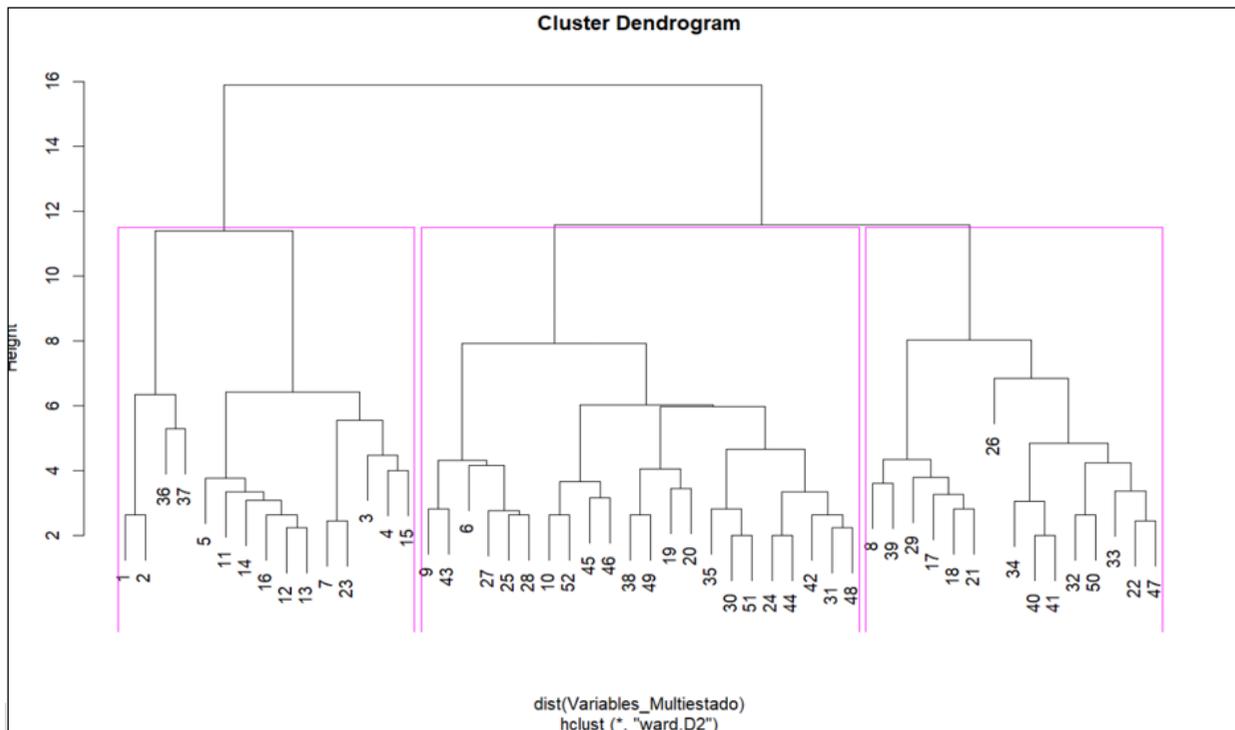
20 años o más, aún siguen registrando buenos datos en relación al rendimiento. Estos resultados hacen que el cacao se convierta en una de las plantas con buena aclimatación en periodos largos de cultivo sin intervención o planes de manejo como lo manifiesta Rodríguez-Medina *et al.* (2019), quienes llegaron a demostrar que los cultivares antiguos pueden constituirse como fuente de semilla para procesos de mejoramiento genético, promoviendo así la paz en el posconflicto y la sustitución de cultivos ilícitos.

Cabe resaltar que las plantas que presentaron mejor comportamiento en el análisis de conglomerados también están por encima del promedio en variables del estrato hojas: ancho, largo, longitud de la lámina foliar; en la variable flores, en: longitud de peciolo y longitud del ovario; en las variables del estrato fruto, en: el grosor, masa húmeda; y en el estrato semilla, en: el número de semillas integras, masa seca de 100 semillas, longitud y diámetro. Estos resultados se relacionan con lo reportado por Enríquez (2014), quien observó alta productividad en cacaos nativos ecuatorianos los cuales eran producidos por comunidades locales sin contar con un plan de fertilización o manejo del cultivo, lo cual se asemeja a este proyecto puesto que ninguna de las plantas utilizadas en este estudio recibía asistencia técnica o contaba con un plan de fertilización.

Dentro del proyecto de investigación se encontró diversidad en las formas de hojas y frutos, las cuales estaban caracterizadas por diámetros de ancho de la hoja con un promedio de 10,5 cm, y diámetros de frutos con valores promedio de 10,6 cm, estos

resultados concuerdan con lo reportado por Rodríguez-Medina *et al.* (2019) en donde los frutos oscilaron en diámetros entre 10 a 17 cm, estos autores comunican que la mayoría de cultivares, las cuales no tienen un plan de manejo adecuado, sufren de un estrangulamiento basal del fruto, así como cambios en formas del ápice y la superficie del mismo, también, presentan daños que están relacionados de manera directa por la falta de fertilización de elementos menores al momento del llenado del fruto, además de estos cambios físicos, estos pueden presentar colores variados de la mazorca, sobresaliendo el color amarillo (del mismo modo que ocurrió en este estudio).

En el caso del número de semillas, el cual en este estudio el promedio estuvo en las 38 semillas por fruto, algunos autores como García (2009) mencionan que genotipos de cacao como CCN51 presenta valores cercanos a las 42 semillas por fruto, mientras que el híbrido ICS95 presenta valores por debajo de los 30 semillas por fruto. En tal sentido, este estudio permite determinar ciertas tendencias a los orígenes de los cultivares en algunas de las variables evaluadas, y dichas variables morfológicas de las semillas observadas son características de cada cultivar, las cuales se reflejan en las características productivas de estos cacaos.



**Figura 2.** Análisis de conglomerados para las variables de naturaleza multi-estado

**Fuente:** autores.

## Variables multi-estado

Como se puede observar en el Figura 2, la tendencia a formar cinco grandes grupos se sigue presentando como en las variables cuantitativas que se relacionan en el Figura 1, sin embargo, para estas variables que presentan la misma naturaleza de datos, el conglomerado solo resalta 3 en particular, plantas 36, 31 y 18, estas plantas se destacan del resto de los cultivares evaluados puesto que manifiestan coloraciones en hojas, flor y fruto, separándolas del promedio de los cultivares que hacen parte de este estudio, estos cambios fenotipos son llamativos, pues aunque se desconoce el origen genético de cada una de las plantas evaluadas, la mayoría se comportan de manera similar y es por ello que se puede hablar de plantas genéticamente estables en las variables estudiadas, sin embargo, Rodríguez-Medina, *et al.* (2019) manifiesta que si bien se conocen solo tres tipos de cacao, criollo, forastero y trinitario, las características agronómicas de los híbridos dependen del ambiente en el que se desarrollan, resultando en caracteres de alta plasticidad a lo largo del tiempo del cultivo.

Los cultivares observados en este estudio manifestaron características morfológicas similares, salvo los tres mencionados en el párrafo anterior, dichas características fisiológicas y morfológicas son de clara importancia dentro del estudio como también del reconocimiento de mejores características para procesos de selección, puesto que establecen rasgos particulares de un individuo, los cuales deben ser utilizados para su clasificación y diferenciación dentro de planes de

mejoramiento genético como lo manifiesta Aranguren *et al.* (2010).

Ejemplo de lo anterior es que para realizar una clasificación cuando se carece de métodos moleculares se debe recurrir a métodos morfológicos confiables, como fue el caso de esta investigación al utilizar una guía taxonómica propia de planes de mejoramiento anteriormente establecidos y exitosos, estos planes junto con los análisis estadísticos de conglomerados permiten observar la similitud y diferenciación entre grupos cercanos de plantas dentro de una misma zona.

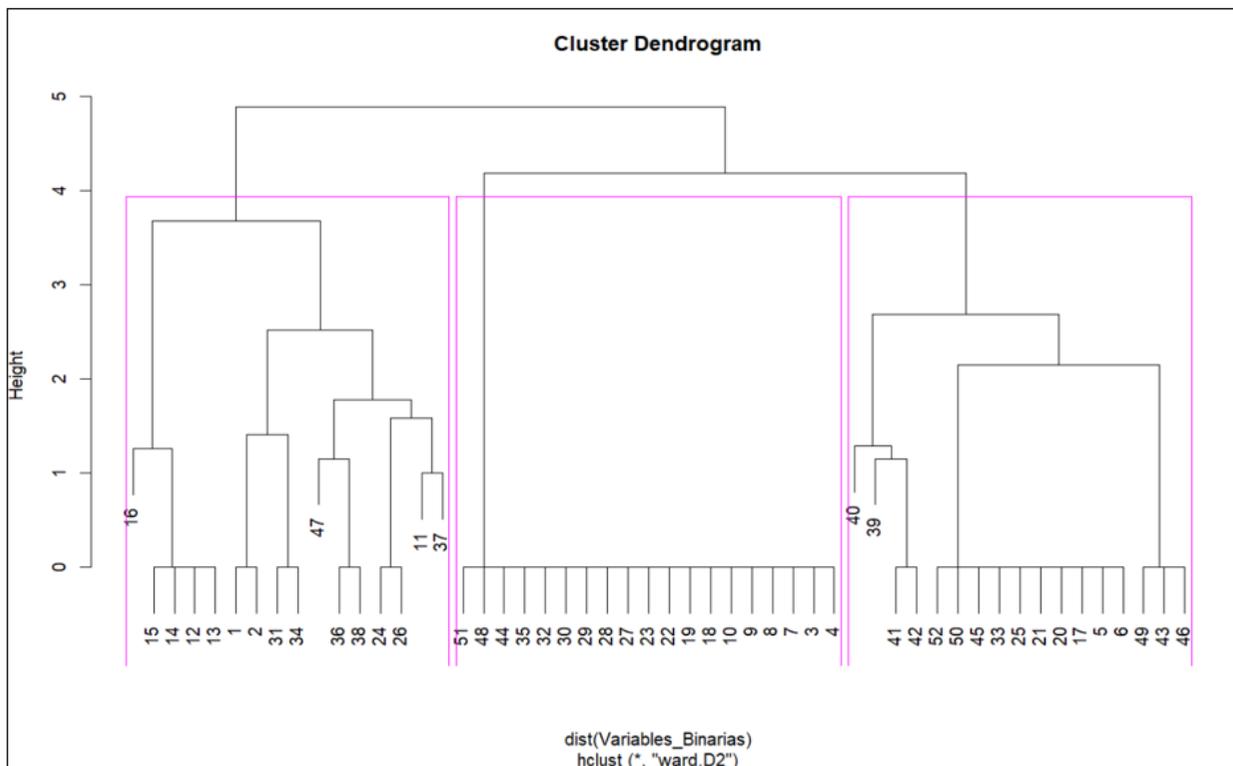
Tal como se establece en la guía publicada por la UPOV en el 2011, en la cual realizaron caracterizaciones de germoplasma acompañada por la determinación de variables genéticas que permiten determinar el comportamiento de los diversos cultivares en zonas similares. Si bien este estudio es una base fundamental para la caracterización de cultivares nativos en el Departamento del Putumayo, se deben realizar análisis de marcadores moleculares que por sí solos o combinados permiten la determinación de la diversidad genética y la detección de polimorfismos.

Como se realizó en los estudios de Azoifeifa-Delgado (2016), los estudios de los polimorfismo son de bastante relevancia para la realización de planes de mejoramiento genético cuando se cuenta con cultivares de una misma zona de los cuales no se tienen datos anteriores, como ocurrió en esta investigación, puesto que dichos marcadores muestran diferencias evolutivas que permiten una mayor diferenciación desde el punto de vista filogenético y taxonómico de los

individuos de estudio (Avendaño-Sánchez *et al.*, 2015; Quijada *et al.*, 2017).

Dentro de las variables más regulares se encontraron: el contenido de antocianina, forma del fruto y forma de sección transversa de la semilla. Estas fueron variables en las cuales todos los cultivares presentaron el mismo patrón en los cultivares estudiados, frente a esto autores como Rodríguez-Medina *et al.* (2020) mencionan comportamientos similares en dichas variables, además de otras como el color de la pulpa, de las cuales determinaron que son rasgos que no permiten la diferenciación entre cultivares para su identificación y caracterización.

En el caso de la coloración de los frutos, estudios reportados por García en (2009) presentan pocas variaciones en la coloración y mencionan que en los cultivares nativos sobresalen la coloración de cacaos criollos en relación a los diversos híbridos que existen en el mercado, lo mismo se observa tanto en el color de los cotiledones, dichas variables coinciden con los resultados de este estudio en donde predominó el color criollo (amarillo) de las plantas estudiadas y donde no hubo cambios en los colores cotiledonales dentro de las 52 plantas seleccionadas para el desarrollo de esta investigación.



**Figura 3.** Análisis de conglomerados para las variables de naturaleza binaria

**Fuente:** autores.

## Variables binarias

Como se puede observar en el Figura 3, las plantas que presentan comportamientos superiores o distintivos a las demás evaluadas son las 47, 49, 48, 43, 42, 41, 40 y 39, si bien las dos primeras crean una subdivisión principal o diferenciada, estadísticamente las otras mencionadas presentan valores de similitud muy cercanos, cabe resaltar que al analizar este tipo de variables de ausencia y presencia no se formaron los 5 grandes grupos como sí ocurrió con las variables cuantitativas y las variables multi-estados, esto demuestra que dentro de dichas variables de estudio se presentó mayor concordancia de los datos en relación a las mencionadas.

Si bien en el Departamento del Putumayo se cuenta con una diversidad edafoclimática entre la zona alta y baja, el municipio de Puerto Asís presenta valores muy similares a lo largo de todo su territorio, es por ello por lo que su diversidad biológica no varía tanto de un lugar a otro, como se demuestra en el dendrograma de los sitios de recolección de variables de cada una de las plantas.

En consecuencia, se vuelve necesario la realización de este tipo de estudios que permiten tener una noción clara de las diversidades que existen entre los productores de cacao de una misma zona, debido a la procedencia desconocida de la semilla cultivada este tipo de análisis permiten la conservación y multiplicación de germoplasmas sobresalientes en futuros planes de mejoramiento genético, los cuales son escasos o nulos en la zona debido a que la agricultura se trabaja de manera empírica, es por ello que con el obje-

tivo de incrementar la calidad de los cacaos así como la promoción de buenas prácticas de manejo agronómico que sean sostenibles, se hace necesario comenzar con una clasificación de la variabilidad con la que se cuenta como preámbulo de planes más estrictos y metodológicos de investigación genética.

Así lo mencionan autores como Botero y Arias (2018), quienes realizaron caracterizaciones de los rasgos fenotipos más distintivos de cultivares de cacao y determinaron que el fenotipo se define como el conjunto de rasgos que son observables, medibles y cuantificables, ya sean morfológicos o fisiológicos, además, que dichos rasgos son influenciados por el ambiente específico en donde se desarrollen; señalando también que analizarlos permite hacer un mapeo de la distribución del cultivo y de la semilla con la que se cuenta, como ocurrió en este estudio, donde se puede observar que si bien se desconoce la procedencia de la semilla, se encuentran genotipos muy similares así como cultivares muy diferentes entre sí, pese a desarrollarse bajo la misma influencia edafoclimática.

Del mismo modo, Avendaño *et al.* (2014) manifiestan que los rasgos fenotípicos empleados para distinguir los cacaos criollos de otros tipos son: el color del cotiledón, color de brotes, antocianinas, color del fruto maduro e inmaduro, mismas variables que fueron estudiadas en esta investigación y las cuales arrojaron los resultados que se muestran en el conglomerado.

No obstante, son pocas las características fenotípicas que se relacionan en este estudio, por lo tanto, se sugiere continuar con una

segunda fase que sea de análisis genético, el cual permita determinar el grado de similitud molecular, abarcando diversas variables poligénicas que posibiliten hacer una caracterización aún más detallada que permita la clasificación de cada uno de los cultivares estudiados y así poder correlacionarlas con este estudio. Con lo que se tiene un mapa de distribución de cultivares predominantes en el departamento, lo que facilita desarrollar planes de manejo, mejoramiento y producción del cultivo de cacao, acorde a las necesidades y condiciones ambientales de la zona.

Los resultados de las diferentes variables estudiadas si bien se prestan para crear 4 y 5 grupos en donde se tiene varios cultivares con comportamientos promisorios, permiten dilucidar el estado actual del material vegetal con el que cuenta el departamento y el cual puede constituirse como una fuente de recursos genéticos para procesos de mejoramiento del cultivo en la zona, ya que, la mayoría lleva más de 20 años de sembrado en cada una de estas fincas y, en otros casos, presentan mayor edad.

Al no contar con un plan de manejo aún demuestran tener un potencial productivo interesante, estos resultados están acordes con varios estudios realizados, en este sentido, en zonas de la geografía colombiana, en donde autores como Aranguren *et al.* (2018) demuestran que las variedades vegetales nativas contienen características diferenciales fisiológicas, morfológicas y genotípicas, de allí radica la importancia de ser caracterizadas estableciendo los rasgos principales de cada individuo o población.

Por otro lado, Quijada *et al.* (2017) manifiestan que el estudio de intra e interpolaciones de cacaos nativos demuestran diferencias evolutivas lo cual permiten obtener información filogenética y taxonómica de los individuos. Del mismo modo, la construcción de clúster o dendrogramas, se constituye en una herramienta fundamental para determinar las distancias y agrupaciones estadísticas en métodos filogenéticos, con el fin de determinar las relaciones de parentesco y diferencias entre cada cultivar en procesos de selección (Kumar *et al.*, 2018).

## 4 CONCLUSIONES

El proyecto de caracterización fenotípica de caracteres morfoagronómicos permitió describir y clasificar los materiales nativos del *T. cacao* en 52 fincas del municipio de Puerto Asís, ubicado en el Departamento de Putumayo, para ello se analizaron en total 48 variables y se dividió a las plantas en 4 estratos para su análisis: hojas, flores, semillas y frutos, dentro de cada estrato se

midieron 3 tipos de descriptores, que fueron utilizados como unidades básicas de caracterización para variables de tipo: binomial, multi-estado y cuantitativas.

Posterior al análisis de clúster o conglomerados obtenidos se pudieron evidenciar diferencias entre los estratos al igual que diferencias estadísticas entre los diversos cul-

tivares, lo cual garantiza un punto de partida fundamental para el establecimiento de un banco de germoplasma propio de la región, puesto que se evaluaron plantas de más de 15 años de su establecimiento; por lo tanto, este material vegetal propicia el desarrollo de nuevos conocimientos sobre la aclimatación de estos a diversas condiciones edafoclimáticas en la región.

Lo anterior, permite desarrollar estrategias de conservación de dichos cultivares y propicia el desarrollo de programas de fito-

mejoramiento, los cuales son escasos en la región, estableciendo a este estudio como el primero en caracterización de material vegetal nativo en el cultivo de cacao en la zona amazónica colombiana, lo cual constituye una herramienta de selección de cultivares como material vegetal, que tiene como objetivo ser utilizado como semilla con fines de promover el cultivo en la zona, mitigando así la ampliación de la frontera agrícola de los cultivos ilícitos, el cual es un problema latente en la región.

## CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

**José Julián Apraez Muñoz:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original y logística. **Gabriel Burgos Jiménez:** adquisi-

ción de recursos, administrador del proyecto, supervisión, metodología, investigación.

**Emel John Burbano Ijaji:** logística y recolección de datos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este manuscrito dan sus agradecimientos al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), regional Puerto Asís, por el apoyo en la realización de este proyecto, así como al grupo de Investigación Arapaima, del mismo centro y al grupo de

Investigación en Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales de la Universidad de Nariño, junto a todos los actores que contribuyeron en el desarrollo del mismo.

## FINANCIAMIENTO

Este proyecto fue financiado gracias al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) mediante el sistema de Investiga-

ción y Desarrollo Tecnológico y de Innovación de SENNOVA, SGPS-SIPRO con código SGPS-11403-2023.

## LITERATURA CITADA

- Aikpokpodion, P. O. (2010). Variation in agro-morphological characteristics of cacao, *Theobroma cacao* L., in farmers' fields in Nigeria. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38(2), 157-170. <https://doi.org/10.1080/0028825X.2010.488786>
- Aranguren-Díaz, Y. C., Varani, A. M., Michael, T. P., & Miranda, V. F. O. (2018). Development of microsatellite markers for the carnivorous plant *Genlisea aurea* (Lentibulariaceae) using genomics data of NGS. *Molecular Biology Reports*, 45(1), 57-61. <https://doi.org/10.1007/s11033-017-4140-1>
- Aranguren, Y., Briceño, A., & Fermin, G. (2010). Assessment of the variability of Venezuelan guava landraces by microsatellites. *Acta Horticulturae*, 849, 147-154. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.849.16>
- Avendaño-Sánchez, M., Espinoza-Velázquez, J., Gutiérrez-López, A., Flores-Gallegos, A. C., y Rodríguez-Herrera, R. (2015). Secuencias nucleotídicas de la región ITS en familias S. y PL de maíces poliembriónicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3), 509-521. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n3/v6n3a6.pdf>
- Avendaño, C., Cueto, J., Mendoza, A., López, P., Sandoval, A., & Aguirre, J. (2014). *Graphic Handbook for Description of Cocoa Varieties (Theobroma cacao L.)*. Instituto de investigación forestales, agrícolas y pecuarias.
- Azofeifa-Delgado, Á. (2016). Uso de marcadores moleculares en plantas; aplicaciones en frutales el trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 221-241. <https://doi.org/10.15517/am.v17i2.5163>
- Ballesteros, P. W., Lagos, T. C., & Ferney, H. (2015). Morphological characterization of elite cacao trees (*Theobroma cacao* L.) in Tumaco, Nariño, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(2), 313-328. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i2.4187>
- Barón, E. J., Zarate, D. A., Castañeda, G. A., Cuarán, V. L., y Passarelli, L. M. (2021). Micromorfología y ultraestructura de las

- anteras y los granos de polen en diez genotipos élite de *Theobroma cacao* (Malvaceae). *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 403-421. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i2.44711>
- Botero, K., y Arias, T. (2018). Uso de las ciencias ómicas para el mejoramiento genético de cultivos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 64-78. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.92>
- Bravo, D., León-Moreno, C., Martínez, C., Varón-Ramírez, V., et al. (2021). The first national survey of cadmium in cacao farm soil in Colombia. *Agronomy*, 11, 11-18.
- Bravo, D. (2022). Bacterial cadmium-immobilization activity measured by isothermal microcalorimetry in cacao-growing soils From Colombia. *Frontiers in Environmental Sciences*, 10, 910234. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.910234>
- Cáceres, P. F. F., Vélez, L. P., Junca, H., & Moreno-Herrera, C. X. (2021). *Theobroma cacao* L. agricultural soils with natural low and high cadmium (Cd) in Santander (Colombia), contain a persistent shared bacterial composition shaped by multiple soil variables and bacterial isolates highly resistant to Cd concentrations. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.crimi-cr.2021.100086>
- Cuellar, C. A., Rodríguez, D. F., Rodríguez, L. C. H., Torres, P. N., Tobón, Y. M., y Guzmán, M. N. (2013). Variabilidad morfoagronómica de 50 materiales promisorios de tres especies de *Theobroma* (Malvaceae) en condiciones de la amazonia colombiana. *Revista Colombia Amazónica*, 6, 123-145.
- Engels, J. N., Baterley, B. G., & Enríquez, G. (1980). *Cacao descriptors, their states and modus operandi*. Turrialba. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0779e02.pdf#page=82>
- Enríquez, G. (2014). Cacao orgánico, guía para productores ecuatorianos. *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Manual 54*.
- Fajardo, J. G. B., Téllez, H. B. H., Atuesta, G. C. P., Aldana, A. P. S., & Arteaga, J. J. M. (2022). Antioxidant activity, total polyphenol content, and methylxantine ratio in four materials of *Theobroma cacao* L. from Tolima, Colombia. *Heliyon*, 8(5), e09402. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09402>.

**Conflicto de intereses**  
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.