

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, FEIJOO JARAMILLO KAREN ANTONIETA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado Morfología floral en 20 árboles élite de la colección de cacao de la UTMACH, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 22 de septiembre de 2022



FEIJOO JARAMILLO KAREN ANTONIETA
0706533270

Morfología floral en 20 árboles élite de la colección de cacao de la UTMACH
Analysis of the morphology of cocoa pollen in 20 trees from the UTMACH
collection

Karen Antonieta Feijoo Jaramillo¹

E-mail: kfejoo4@utmachala.edu.ec,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1421-1779>

Jose Nicasio Quevedo Guerrero¹

E-mail: jquevedo@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>

Ivanna Gabriela Tuz Guncay¹

E-mail: ituz@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0085-3495>

¹Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao*) es originario de la selva amazónica ecuatoriana, en Ecuador hay 3 grupos de genotipos conocidos; criollos, forasteros y trinitarios, siendo los más importantes los criollos por su calidad de exportación. El objetivo de esta investigación fue caracterizar la morfología de las flores de cacao en 20 árboles élite de la colección de la UTMACH. El trabajo se realizó en el laboratorio de Sanidad Vegetal y la Granja Santa Inés en el área de cacao; fueron seleccionados 20 árboles de los cuales se escogieron 5 flores de cada uno para observar la estructura floral y el polen de cada antera con el uso de un microscopio binocular, las variables analizadas fueron: diámetro y área del grano del polen, largo, ancho y color del pedicelo, largo, ancho y color del sépalo, largo del pétalo, largo, ancho y color del estaminoide, largo y ancho del estambre, largo y ancho del ovario. Los resultados obtenidos indican que la mayor varianza se distribuye a cinco descriptores: AncE, Csep, AO, Lpet, Lest, de acuerdo al análisis de componentes principales, el dendrograma y análisis de dispersión. Se concluye que basados en la morfología floral se han formado seis grupos definidos conforme a los cinco descriptores que explican el 80,05% de la varianza ya que los otros nueve descriptores no presentan significancia.

Palabras claves: Genotipo, incompatibilidad, biología floral, calidad del polen.

Abstract

Cocoa (*Theobroma cacao*) is native to the Ecuadorian Amazon jungle, in Ecuador there are 3 groups of known genotypes; criollos, forasteros y trinitarios, being the most important the Criollos for their export quality. The objective of this research was to characterize the morphology of cocoa flowers in 20 elite trees from the UTMACH collection. The work was carried out in the Plant Health Laboratory and the Santa Inés Farm in the cocoa area; 20 trees were selected from which 5 flowers of each were chosen to observe the floral structure and the pollen of each anther with the use of a binocular microscope, the variables analyzed were: diameter and area of the pollen grain, length, width and color of the pedicel, length, width and color of the sepal, length of the petal, length, width and color of the staminoid, length and width of the stamen, length and width of the ovary. The results obtained indicate that the highest variance is distributed to five descriptors: AncE, Csep, AO, Lpet, Lest, according to the principal components analysis, the dendrogram and dispersion analysis. It is concluded that based on the floral morphology, six defined groups have been formed according to the five descriptors that explain 80.05% of the variance since the other nine descriptors do not present significance.

Keywords: Genotype, incompatibility, floral biology, pollen quality

INTRODUCCIÓN

El Cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenece a la familia Malvaceae es originario de la Selva Amazónica del Ecuador, en varias investigaciones realizadas recientemente se descubrió que el cacao era consumido por la cultura Mayo-Chinchipec-Marañón que data de hace 5500 años.

Desde mediados del siglo XIX, el cacao se consolidó como el principal producto de exportación, siendo la economía ecuatoriana favorecida por este cultivo, durante los años comprendidos entre 1880 – 1915, llegó a ser conocido como “*La pepa de oro*”. A partir de 1890 se dio el “Boom cacaotero” produciendo cerca de 587 626 quintales llegando a su fin en 1924 ocupando el segundo lugar en exportaciones (ANECACAO, 2015).

Según el Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca (2021) en la actualidad el cacao sigue siendo una importante fuente de ingresos ya que en 2020 se reportó USD 815.5 millones entre enero a mayo de 2021 eran USD 226.4 millones. La gran demanda de aproximadamente 4 millones de toneladas del grano de cacao a nivel mundial se debe a su uso en la industria chocolatera, la producción de manteca de cacao y el cacao en polvo, el mayor proveedor es África con el 74% de la producción, América 16% y Asia/Oceanía con 10% (Pipitone, 2016; Wickramasuriya & Dunwell, 2018; Rincón *et al.*, 2021).

ANECACAO (2019) menciona en su boletín mensual que el cacao se exporta a países como: Indonesia 59.678 TM, USA 53.909 TM, Malasia 48.460 TM, Holanda 36.850 TM; México 23.892 TM; Alemania 15.923 TM; China 15.058 TM; Bélgica 10.340 TM; Canadá 8.453 TM y Japón 8.265 TM.

En Ecuador existe una gran variabilidad genética distribuida en 3 grandes grupos como son: Criollos, Forasteros amazónicos y Trinitarios, su distribución en el territorio nacional se concentra en las provincias de Guayas, Los Ríos, Cañar, Manabí, Esmeraldas y El Oro (Quevedo *et al.*, 2020).

La biología reproductiva del cacao es compleja, su fórmula floral es $K_5 C_5 A_{(5+5)} G_{(5)}$ las flores son caulinares, su desarrollo se realiza a partir de los cojinetes florales, posee 5 estambres funcionales externos y 5 estambres no funcionales internos conocidos como estaminoides (Swanson *et al.*, 2008; Ha *et al.*, 2016; Rincón *et al.*, 2021) . El gineceo está formado por un ovario súpero de cinco carpelos y cinco lóculos, la placentación es axilar y el número de óvulos varía (Santos, Pires & Correa, 2012).

La incompatibilidad del polen es un problema observado en los cacaos de tipo nacional (Cope, 1962) esta condición reduce la formación de frutos en las plantas que la padecen, el cacao nacional conocido por su excelente aroma pero baja productividad, *T. cacao* pertenece al grupo de plantas con flores en las que se sabe que la reacción de incompatibilidad es determinada esporofíticamente, las constituciones diploides de ambos progenitores los cuales participan en la determinación de la compatibilidad o incompatibilidad de una polinización cruzada (Akoa *et al.*, 2021 y Rincón *et al.*, 2021).

El conocimiento de la morfología de la flor de los árboles élite es de importancia ya que permite identificar caracteres cuantitativos o cualitativos discriminantes para establecer la diversidad existente en poblaciones, detectar problemas de incompatibilidad, entre otros, que pueden incidir en el porcentaje de fructificación de forma positiva o negativa. El estudio de la morfología floral es parte fundamental para comprender la biología floral de la especie y desarrollar nuevos genotipos a través del mejoramiento vegetal.

El cacao produce entre 26 000 y 44 000 granos de polen por flor, variando entre genotipos, una cantidad que está en el rango de *Salmaalía malabárica* Sch. y Endl, especie que produce

aproximadamente 42 000 granos de polen por flor, la cantidad del polen producido en es una característica determinada genéticamente por lo que el cacao nacional tiene un menor flujo de polen (Mena *et al.*, 2020).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar la morfología de la flor de cacao en 20 árboles élite de la colección de la UTMACH.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el área de cacao de la Granja Experimental "Santa Inés" (Figura 1) y en el laboratorio de Sanidad Vegetal. Los dos escenarios están ubicados en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, en el Cantón Machala, Provincia del Oro-Ecuador. Según el sistema de Holdridge (1987) esta zona se caracteriza por poseer un clima tropical seco siendo clasificado como un bosque seco tropical, presenta una temperatura entre 22 y 31°C, humedad relativa media anual de 91% y una precipitación anual de 905 mm (INAMHI, 2017)

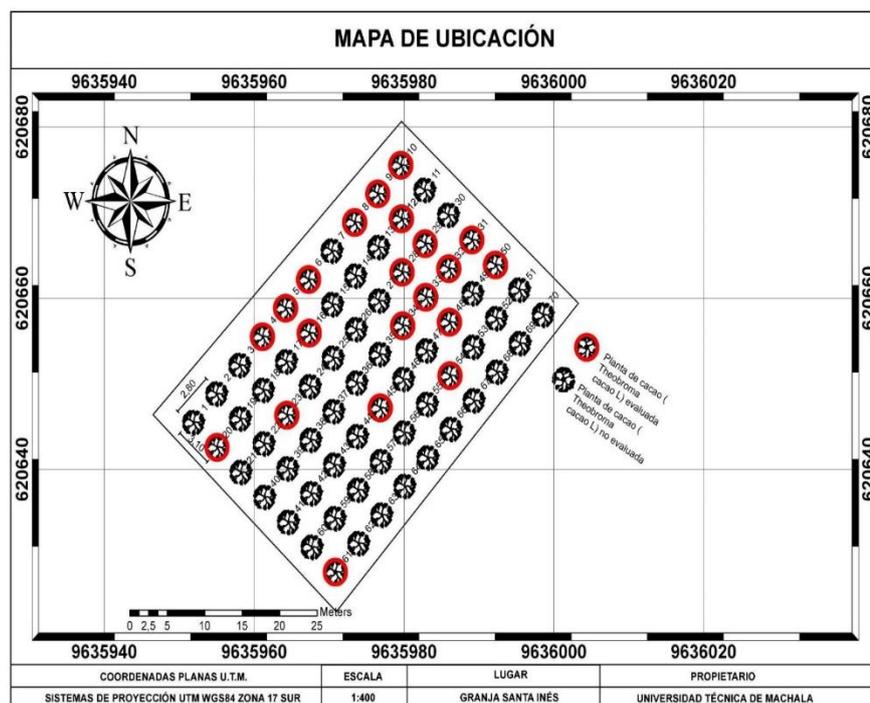


Figura 1. Croquis del diseño experimental, las plantas evaluadas son de marrón

Material vegetal, fueron seleccionados 20 árboles de cacao en la Granja "Santa Inés", entre las características de selección se consideraron plantas de mayor vigor, con mayor área foliar y con una buena cantidad de flores para poder escoger las más maduras previa antesis.

Metodología de selección floral, inició con la observación de los botones florales más hinchados porque son estos los que están próximos a abrirse, se tomaron cinco flores por árbol. Los botones florales fueron seleccionados diariamente el día anterior en un horario comprendido entre las 16:00 y 18:00.

Durante la mañana del día siguiente se extrajeron con una pinza y se depositaron en una caja, luego se guardaron en la nevera para evitar su marchitez, además evitar que el polen no se vea afectado por el calor del ambiente.

Metodología de evaluación de estructuras florales, se seleccionaron 20 flores de cacao, cada una de las estructuras fueron extraídas con una pinza y se colocaron en el portaobjeto, en el que previamente se había colocado una fracción de hoja milimetrada para poder determinar el largo, ancho y color de cada una de las estructuras florales como son: pedicelo, estambre, estaminoide, ovario y pétalo siguiendo la guía de INIAP (1994).

Para observar el largo y ancho del sépalo se procedió a colocar un cubreobjeto sobre el mismo ya que esta estructura presenta una curvatura. Las imágenes fueron tomadas con una cámara de resolución de 13 megapíxeles.

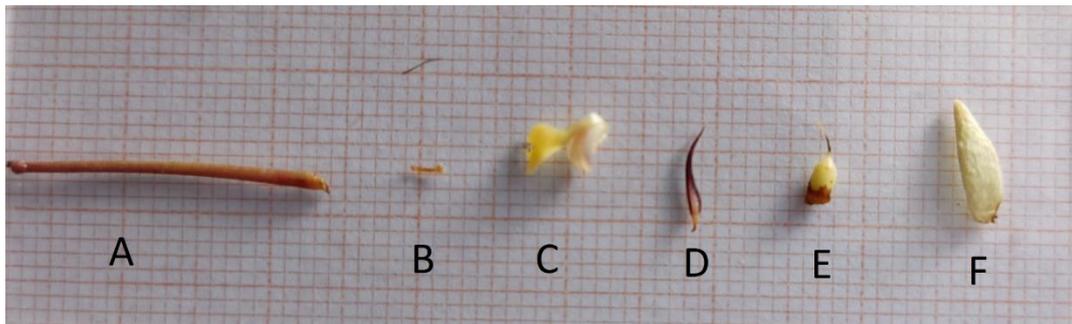


Figura 2. Estructura floral. A: pedicelo (Pdc); B: estambre (E); C: petalo (P); D: estaminoide (Est); E: Ovario (O); F: Sépalo (Sep)

Metodología para medir el grano de polen, se retiró el pétalo de cada una de las anteras, fueron colocados en el portaobjeto y con una aguja fina se golpeó ligeramente en el mismo, se aplicó una gota de agua destilada con una piseta y se tapó con el cubreobjeto.

La observación se realizó en un microscopio binocular Euromex con el objetivo de 40x, las mediciones y capturas de imagen se realizaron usando una cámara CMEX-18PRO de 18 MP conectada a la computadora portátil por medio del software AmScope 2.0.

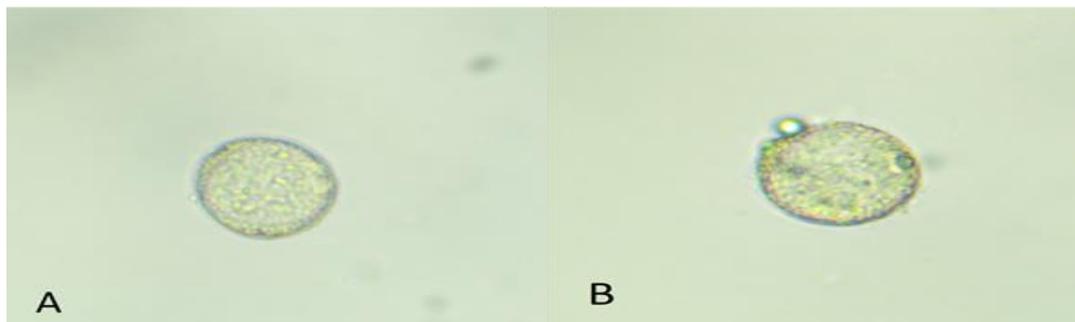


Figura 3. polen observado al microscopio. A) polen viable; B) polen no viable

Procesamiento estadístico: Para realizar el PCA (Análisis de componentes principales) se procedió a obtener los valores de los Estadísticos descriptivos con el software IBM SPSS Statistics, para lo cual se estandarizaron los valores con las mismas unidades de medida, además se excluyeron las variables: color del estaminoide y ancho del pedicelo porque sus resultados no mostraron variación (Berlanga-Silvente *et al.*, 2014).

Variables evaluadas, se evaluaron las siguientes variables: color del pedicelo (CPd), largo del pedicelo (Lpdc), ancho del pedicelo sin presentación significativa, largo del sépalo (Lsep), ancho del sépalo (Asep), largo del pétalo (Lpet), largo del estaminoide (Lest), ancho de estaminide (Aest), largo de estambre (LarE), ancho de estambre (AncE), Largo de ovario (OL), ancho de ovario (AO), diámetro del grano (DPln), área del grano (Apln). Todas las variables evaluadas se expresaron en milímetros (mm)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 nos muestra los porcentajes de información explicable del análisis factorial estandarizado (variables estudiadas)

Tabla 1. Porcentaje de información explicable del análisis factorial estandarizado.

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
CPd	20	,20	1,00	,6100	,21981
Lpdc	20	15,00	20,80	17,5670	1,79176
Lsep	20	7,60	9,26	8,3490	,55344
Asep	20	1,96	2,58	2,3030	,13476
Lpet	20	,20	,80	,3400	,18468
Lest	20	5,20	7,54	5,9920	,49852
Aest	20	5,20	6,80	5,8950	,47727
LarE	20	,26	,64	,3420	,09987
AncE	20	1,80	2,46	2,1290	,17764
OL	20	,20	,80	,2400	,13471
OA	20	3,60	5,20	4,4580	,44928
DPIIn	20	1,12	1,24	1,1970	,02364
AplIn	20	,02580	,02930	,0268000	,00091249
N válido (por lista)	20	,00050	,00060	,0005150	,00003663

A partir de la reducción de datos por medio del análisis factorial se extraen los componentes principales por el método de Varimax obteniendo como resultados más relevantes las comunalidades (tabla 2), este análisis muestra las correlaciones existentes, permite determinar que la mayor acumulación de la varianza en 14 variables (Quevedo *et al.*, 2020)

Tabla 2. Análisis factorial

	Comunalidades	
	Inicial	Extracción
Puntuación Z(CPd)	1,000	,808
Puntuación Z(Lpdc)	1,000	,800
Puntuación Z(Lsep)	1,000	,778
Puntuación Z(Asep)	1,000	,704
Puntuación Z(Csep)	1,000	,876
Puntuación Z(Lpet)	1,000	,849
Puntuación Z(Lest)	1,000	,823

Puntuación Z(Aest)	1,000	,788
Puntuación Z(LarE)	1,000	,660
Puntuación Z(AncE)	1,000	,903
Puntuación Z(OL)	1,000	,806
Puntuación Z(OA)	1,000	,858
Puntuación Z(DPlm)	1,000	,792
Puntuación Z(Apln)	1,000	,760

Método de extracción: análisis de componentes principales

El PCA permite determinar la mayor acumulación de la varianza en 14 variables, se observa que las más discriminantes son: ancho de estambre Z(AncE) con 0,903; Z(Csep) con 0,876; Z(OA) con 0,858; Z(Lpet) con 0,849 y Z(Lest) con 0,823 mientras que las demás variables de bajos valores no son discriminantes.

En la tabla 3 se observa el porcentaje de varianza acumulada que representa el 80.035% con los 5 componentes, los cual es suficiente para la agrupación de caracteres facilitando su comprensión, hay que considerar que para dicha interpretación es necesaria la selección de componentes principales que explican como un mínimo el 70% de la variabilidad Cliff, N. (1987)

Los componentes representan: el componente 1 para el ancho de estambre 24,08 %, el componente 2 para el color del sépalo 22,019 %, componente 3 para ancho de ovario 14,30 %, componente 4 para largo del pétalo 11,629% y el componente 5 para el largo del estaminoide 8,005 %, mientras que las demás variables no influyen significativamente en los valores, el grano de polen no ha generado varianza, los granos observados eran muy homogéneos (Rincón, et al. 2021).

Tabla 3. Varianza total explicada.

Compo nente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianz a	% acumula do	Total	% de varianz a	% acumula do	Total	% de varianz a	% acumula do
1	3,371	24,080	24,080	3,371	24,080	24,080	2,930	20,930	20,930
2	3,083	22,019	46,099	3,083	22,019	46,099	2,571	18,364	39,294
3	2,002	14,302	60,401	2,002	14,302	60,401	2,387	17,050	56,344
4	1,628	11,629	72,030	1,628	11,629	72,030	1,775	12,677	69,022
5	1,121	8,005	80,035	1,121	8,005	80,035	1,542	11,013	80,035

Método de extracción: análisis de componentes principales

Conocer los descriptores más discriminantes, nos permite realizar una presentación gráfica de la diversidad existente entre las flores, los componentes rotados (Figura 3) muestran la distribución espacial e identifica los grupos de variables, sintetiza datos y los relaciona entre sí, la mayor diversidad morfológica está agrupada en cinco variables Al estandarizar los valores en una sola unidad para cada una de las 14 variables, logramos proyectar los

datos sobre tres componentes ubicados en los ejes principales, y observamos su dispersión (Figura 4). Pocos autores avalaron el estudio de la biología floral INIAP (1994)

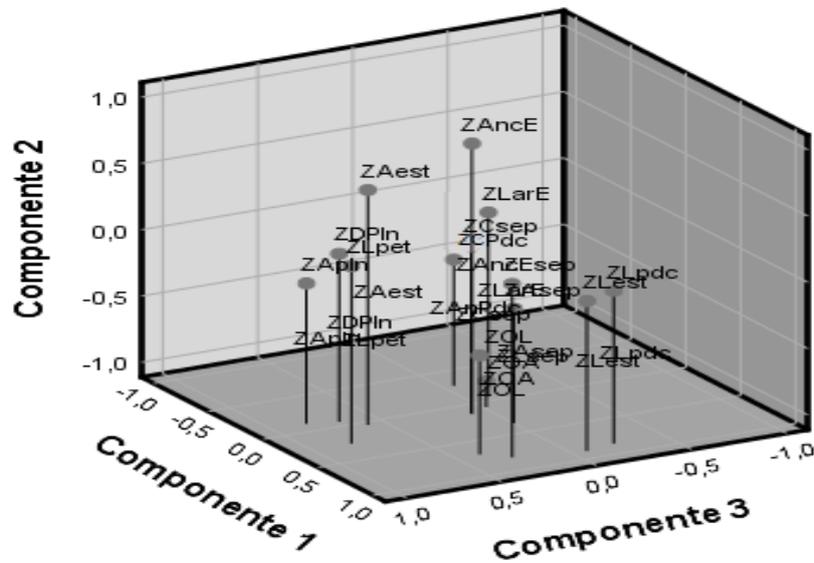


Figura 4. Distribución de los descriptores sobre los componentes principales.

Análisis de conglomerados

Para establecer diferencia significativa entre los descriptores, se emplea un dendrograma que denota las distancias de similitud (figura 5), las características de las flores fueron los descriptores que permitieron separar individuos con mayor exactitud, se presenta el dendrograma de acuerdo a las características de los árboles estudiados agrupando las diferentes accesiones por los promedios de los descriptores usados, de esta manera se da paso a la formación de 6 grupos definidos según su homogeneidad de acuerdo a los cinco descriptores que explican el 80,035 % de la varianza.

El grupo uno está conformado por las accesiones FCA13, FCA16, FCA15; el grupo dos FCA02, FCA19, FCA05, FCA10, FCA12, FCA14, FCA11; el grupo tres agrupa las accesiones FCA07; FCA09; FCA06; FCA08; FCA04; el grupo 4 está conformado por FCA18, FCA20, FCA17; el grupo 5 tiene la accesión FCA01 y finalmente el grupo 6 está con el árbol FCA03.

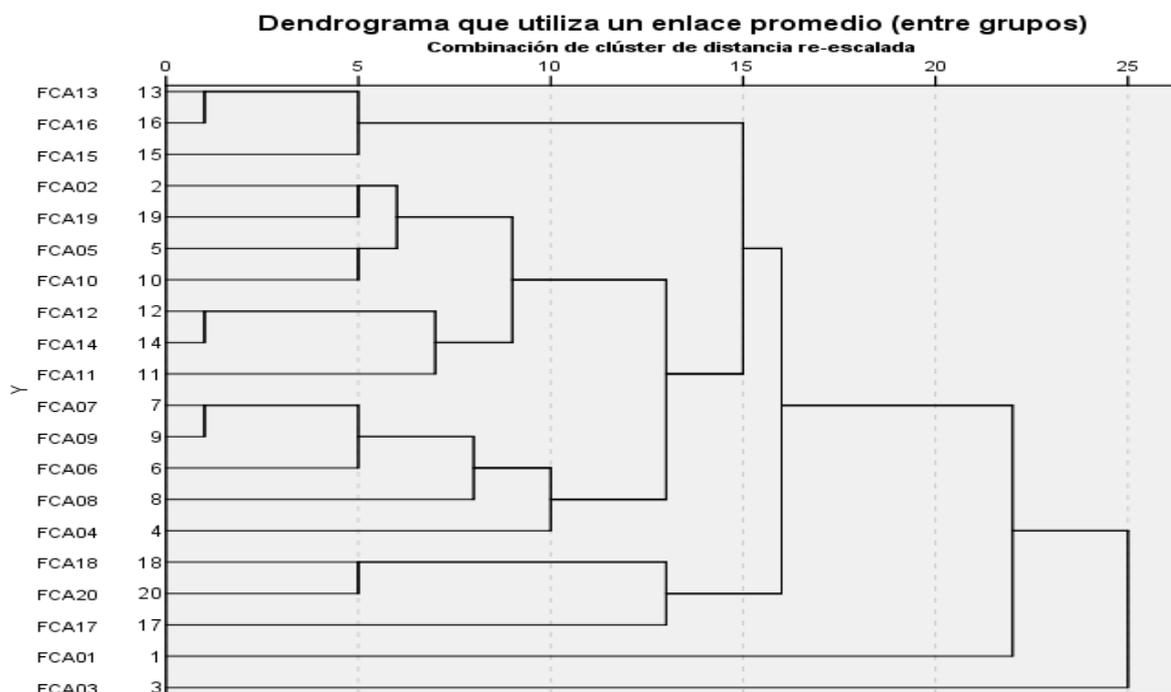


Figura 5. Dendrograma de enlace promedio.

Según el análisis de dispersión (Figura 6) se observa la misma tendencia dada por el análisis de componentes principales donde las accesiones FCA03 y FCA01 se alejan de las demás haciéndolas más heterogéneas de acuerdo a los cinco componentes que forman parte de la varianza.

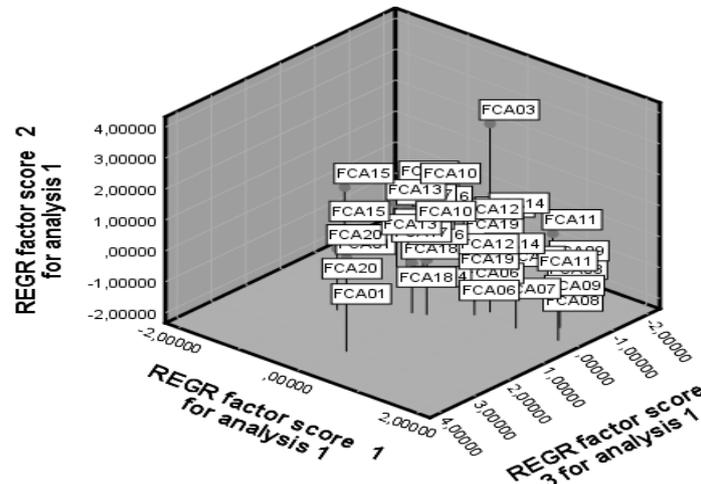


Figura 6. Análisis de dispersión de 20 árboles élite.

CONCLUSIONES

Los resultados de la morfología del cacao presentaron características fenotípicas de la estructura floral, que tuvo significancia con los descriptores en las variables ancho de estambre, color de sépalo, ancho de ovario, largo de pétalo, largo de estambre y se agruparon según la similitud. Las flores de los árboles 1 y 3 presentaron diferencias significativas debido a la heterogeneidad en las variables antes mencionadas, lo que demuestra que el estudio de la diversidad estructural de las flores es importante para comprender su biología y mejorar la producción.

Bibliografía consultada

ANECACAO. (2015). Los 'booms' en perspectiva: cacao y banano del Ecuador. <http://www.anecacao.com/index.php/fr/noticias/los-booms-en-perspectiva-cacao-y-banano-del-ecuador.html#:~:text=Sin%20embargo%2C%20la%20d%C3%A9cada%20de,%2C3%25%20durante%20dicho%20periodo.>

ANECACAO. (2019). Estadísticas de exportación. Boletín mensual de ANECACAO. <https://anecacao.com/index2022.html>

Akoa, S. P., Onomo, P. E., Ndjaga, J. M., Ondobo, M. L., & Djocgoue, P. F. (2021). Impact of pollen genetic origin on compatibility, agronomic traits, and physicochemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans. *Scientia*

Berlanga-Silvente, V., Rubio-Hurtado, M. J., Torrado-Fonseca, M., & Vilà-Baños, R. (2014). Cómo aplicar un análisis jerárquico en SPSS. *Revista d'Innovació i Recerca En Educació*, 7(1), 113–127. <http://revistes.ub.edu/index.php/REIRE>

Cliff, N. (1987). Analyzing multivariate data. Harcourt Brace Jovanovich.

Cope, F. W. (1962). The mechanism of pollen incompatibility in *Theobroma cacao* L. *Heredity*, 17(2), 157-182. <https://www.nature.com/articles/hdy196214.pdf?origin=ppub>

Ha, L.T.V., Hang, P.T., Everaert, H., Rottiers, H., Anh, L.P.T., Dung, T.N., Messens, K. (2016). Characterization of leaf, flower, and pod morphology among Vietnamese cocoa varieties (*Theobroma cacao* L.). *Pakistan Journal Botany*, 48(6), 2375-2383. [https://pakbs.org/pjbot/PDFs/48\(6\)/23.pdf](https://pakbs.org/pjbot/PDFs/48(6)/23.pdf)

Holdridge, L. R. (1987). Ecología basada en zonas de vida (No. 83). Agroamérica.

INAMHI. 2017. Anuario meteorológico N° 53-2013. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

INIAP. (1994). Caracterización fenotípica del cacao nacional de Ecuador. Boletín técnico N° 74. Estación experimental tropical "PICHILINGUE". <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1579/1/Bolet%20t%20t%20a9cnico%20N%20ba%2074.pdf>

Mena-Montoya, M., García-Cruzatty, L. C., Cuenca-Cuenca, E., Vera Pinargote, L. D., Villamar-Torres, R., & Jazayeri, S. M. (2020). Pollen flow of *Theobroma cacao* and its relationship with climatic factors in the central zone of the Ecuadorian littoral. *Bioagro*, 32(1). <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=d945ddea-c156-4241-aa2f-529aacb4bd46%40redis>

Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. (2021). Inició Aromas del Ecuador – Edición Cacao, vitrina internacional con compradores de tres continentes. <https://www.produccion.gob.ec/se-inicio-aromas-del-ecuador-edicion-cacao-vitrina-internacional-con-compradores-de-tres-continentes/#:~:text=El%20sector%20cacaotero%20ecuatoriano%20export%C3%B3,marco%20Aromas%20del%20Ecuador%20%E2%80%93%20Edici%C3%B3n>

Pipitone, L. (2016). Overview of cocoa supply and demand. In International Cocoa Organization (ICCO). *ICCO Cocoa Market Outlook Conference September*. England: International Cocoa Organization (ICCO). <https://www.icco.org/wp-content/uploads/2019/07/01-Laurent-Pipitone-1.pdf>

Quevedo Guerrero, J. N., Ramírez Villalobos, M., Zhiminaicela Cabrera, J., Noles León, M. J., Quezada Hidalgo, C., & Aguilar Flores, S. (2020). Diversidad morfoagronómica: caracterización de 650 árboles de *Theobroma cacao* L. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(6), 14-21. https://www.researchgate.net/publication/348019101_Diversidad_morfoagronomica_caracterizacion_de_650_arboles_de_Theobroma_cacao_L

- Santos, R.C., Pires, J.L., & Correa, R.X. (2012). Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* L. species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(3), 327-345. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10722-011-9685-6>
- Swanson, J.D., Carlson, J.E., & Gultinan, M.J. (2008). Comparative flower development in *Theobroma cacao* based on temporal morphological indicators. *International Journal of Plant Sciences*, 169(9), 1187-1199. DOI: <https://doi.org/10.1086/591986>
- Rincón-Barón, E. J., Zarate, D. A., Agudelo-Castañeda, G. A., Cuarán, V. L., & Passarelli, L. M. (2021). Micromorphology and ultrastructure of anthers and pollen grains in ten elite genotypes of *Theobroma cacao* (Malvaceae). *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 403-421. DOI 10.15517/rbt.v69i2.44711
- Wickramasuriya, A.M., & Dunwell, J.M. (2018). Cacao biotechnology: current status and future prospects. *Plant Biotechnology Journal*, 16(1), 4-17. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28985014/>