

RESPUESTA MORFOMÉTRICA Y ESTADO NUTRICIONAL DE CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN CONDICIONES SUBTROPICALES DEL ECUADOR

MORPHOMETRIC RESPONSE AND NUTRITIONAL STATUS OF COCOA CLONES (*Theobroma cacao* L.) UNDER SUBTROPICAL CONDITIONS IN ECUADOR

Josselyn Jhoana Rodríguez Cruz^{1a}, Ricardo Augusto Luna Murillo^{1b*}, Kleber Augusto Espinosa Cunuhay^{1c} y Giovana Parra Gallardo^{1d}

^{1a} Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga Parroquia Eloy Alfaro, Cotopaxi, C.P. 050150 Cotopaxi, Ecuador

<https://orcid.org/0009-0009-5405-4032>

^{1b} Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Carrera Agronomía. El Triunfo-La Maná, Cotopaxi C.P. 050250 Cotopaxi, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-9078-9302>

^{1c} Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Carrera Agronomía El Triunfo-La Maná, Cotopaxi C.P. 050250 Cotopaxi, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-5151-6301>

^{1d} Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga Parroquia Eloy Alfaro, Cotopaxi, C.P. 050150 Cotopaxi, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-8612-5992>

* Autor para correspondencia: ricardo.luna@utc.edu.ec

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos de mayor relevancia económica a nivel global, cuya productividad depende en gran medida del genotipo y del ambiente. En zonas de transición como en la parroquia Guasaganda (Cotopaxi, Ecuador), se requieren clones que combinen vigor, adaptación climática y alta productividad. El objetivo del presente estudio fue comparar la respuesta morfométrica y el estado nutricional de los clones comerciales de cacao CCN-51, EETP-800 y EETP-801, en condiciones subtropicales. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con ocho repeticiones por clon y 16 plantas por unidad experimental (n=384); tras el análisis de suelo se realizó un plan de fertilización acorde al requerimiento del cultivo. Se evaluaron altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm) y número de ramas en la etapa de establecimiento (30-390 días) y mantenimiento (570-690 días). Adicionalmente, se realizaron análisis foliares a los 60 y 690 días posteriores al trasplante. Los resultados del ANOVA ($p < 0,05$) mostraron diferencias significativas entre clones. El clon EETP-800 presentó los mayores valores en altura (202,75 cm) y diámetro de tallo (71,38 mm) en la fase de mantenimiento, junto con contenido foliar de nitrógeno (21,30 g kg⁻¹) dentro del rango óptimo (20-25 g kg⁻¹), y equilibrio en macro y micronutrientes. En contraste, CCN-51 y EETP-801 exhibieron concentraciones foliares de N por encima del rango de referencia. Estos hallazgos sugieren que EETP-800 es una alternativa viable para sistemas agroforestales en zonas subtropicales de Ecuador, combinando crecimiento vigoroso con equilibrio nutricional.

Palabras clave: nutrición vegetal; crecimiento vegetal; sistemas agroproductivos.

ABSTRACT

Cacao (*Theobroma cacao* L.) is one of the most economically important crops worldwide, and its productivity depends largely on genotype and environment. In transitional zones such as the Guasaganda parish (Cotopaxi, Ecuador), there is a need for clones that combine vigorous growth, climatic adaptation, and high productivity. The objective of this study was to compare the morphometric responses and nutritional status of the commercial cacao clones CCN-51, EETP-800, and EETP-801 under subtropical conditions. A randomized complete block design was used, with eight replicates per clone and 16 plants per experimental unit ($n = 384$); following soil analysis, a fertilization plan was implemented according to the crop's nutritional requirements. Plant height (cm), stem diameter (mm), and number of branches were evaluated during the establishment stage (30–390 days) and the maintenance stage (570–690 days). Additionally, foliar analyses were conducted 60 and 690 days after transplanting. The ANOVA results ($p < 0.05$) showed significant differences among clones. Clone EETP-800 exhibited the highest values for plant height (202.75 cm) and stem diameter (71.38 mm) during the maintenance phase, along with foliar nitrogen content (21.30 g kg⁻¹) within the optimal range (20–25 g kg⁻¹) and a balanced macro- and micronutrient profile. In contrast, CCN-51 and EETP-801 exhibited foliar N concentrations above the reference range. These findings suggest that EETP-800 is a viable alternative for agroforestry systems in subtropical areas of Ecuador, combining vigorous growth with nutritional balance.

Keywords: plant nutrition; plant growth; agricultural production systems.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroproductivos, especialmente aquellos basados en agroforestería, combinan el cultivo de especies forestales, cultivos agrícolas entre otros tipos de plantas en parcelas de tierra; representan una estrategia para incrementar la productividad de los cultivos, sin perder de perspectiva la conservación de los recursos y la resiliencia frente al cambio climático (Kumawat et al., 2023), y de la misma manera incrementar la productividad y el uso eficiente del suelo (Bai et al., 2016).

Los agroecosistemas, caracterizados por altos niveles de biodiversidad, soportan mejor los desafíos asociados al suministro de alimentos, piensos, madera, fibras y otros productos. La vulnerabilidad de la sostenibilidad de los agroecosistemas frecuentemente se vincula a prácticas agrícolas inadecuadas (Kumawat et al., 2023).

Un sistema agrícola comprende el conjunto de componentes biofísicos, económicos y de manejo que interactúan dentro de una unidad de producción para generar bienes agrícolas, donde el suelo, los cultivos, el clima, la mano de obra y las prácticas de manejo funcionan de manera integrada como un sistema (Sparks, 2023).

En este contexto, el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es originario de la cuenca amazónica de América del Sur, considerada el principal centro de origen y diversificación genética comprendida ente Ecuador, Perú, Colombia, Brasil, Bolivia y Venezuela; ha evolucionado desde sistemas de sombra tradicionales hacia configuraciones más

intensivas, generando desafíos de sostenibilidad y producción del cultivo (Herrera-Feijoo et al., 2025). Hay tres tipos o grupos morfo-geográficos de cacao conocidos como “Criollo”, “Forastero” y “Trinitario” que difieren en calidad, vigor y rendimiento; algunos autores sugieren una nueva clasificación del cacao agrupados en 10 grupos genéticos (Amelonados, Contamana, Curaray, Criollo, Guiana, Iquitos, Marañón, Nacional, Nanay y Purús) que reflejaría más adecuadamente la diversidad genética disponible (Tezara y Escalante, 2017).

En Ecuador, el cacao fino y de aroma contribuye de manera determinante a la economía rural de la región Costa, donde su producción se concentra en un 80% en las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas, El Oro y Santa Elena; sin embargo, el cacao también se cultiva en la parte subtropical de Ecuador, que representa zonas de transición ecológica entre las regiones Costa, Sierra y Amazonía, determinadas principalmente por la variación altitudinal y las condiciones térmicas e hídricas (Pourrut, 1995), por lo que se requiere genotipos que mantengan tanto la calidad organoléptica como un adecuado desempeño agronómico en condiciones subtropicales (Abasolo-Pacheco et al., 2025).

El clon CCN-51, ampliamente adoptado por su alta productividad y tolerancia a enfermedades, ha sido observado por sus características organolépticas no tan sobresalientes como los materiales tipo Nacional (Evert et al., 2024). En respuesta, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha

desarrollado clones como EETP-800 (Aroma Pichilingue) y 801 (Fino Pichilingue), derivados del cruce CCN-51 x EETP-233, que buscan equilibrar rendimiento, calidad y adaptabilidad (Quiroz- Vera y Pesantez- Reyes, 2010); pruebas experimentales en diferentes zonas productoras de cacao demostraron que los clones EETP-800 y EETP-801 presentan un alto grado de adaptación en la parte media y alta de la cuenca del río Babahoyo, noroccidente de Pichincha y norte de Guayas hasta una altura máxima de 600 m.s.n.m. (Loor et al., 2018). No obstante, la evaluación de estos clones en sistemas agroproductivos del subtrópico ecuatoriano, particularmente con relación a su crecimiento morfométrico y condición nutricional, no ha sido suficientemente evaluado, lo que limita el adecuado manejo del cultivo.

El presente estudio tuvo como propósito identificar alternativas genéticas con potencial de adaptación y desempeño agronómico para las condiciones subtropicales del Ecuador. Para ello, se evaluó la respuesta morfométrica y el estado nutricional de los clones de cacao CCN-51, EETP-800 y EETP-801, establecidos en un sistema agrícola de la parroquia Guasaganda, cantón La Maná, provincia de Cotopaxi. Específicamente, se analizaron las variables de crecimiento, incluyendo altura de planta, diámetro del tallo, número de ramas y tasa de crecimiento absoluta, así como el estado nutricional mediante análisis foliar durante las fases de establecimiento y mantenimiento del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación

El estudio se realizó en el Centro Experimental Sacha Wiwa (0° 47' 46" S, 79° 09' 31" O, 500 m.s.n.m), adscrito a la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la parroquia Guasaganda, cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, Ecuador, durante octubre 2023 a octubre 2024 fase de establecimiento y abril – agosto 2025 fase de mantenimiento.

Caracterización climática

El clima es subtropical húmedo (Holdridge, 1987), con temperatura media anual de 27,22 °C; humedad relativa 92 %; presión 957,54 hPa y 2.753,50 mm de precipitación anual (Tabla 1), datos reportados por la estación meteorológica del Centro Experimental Sacha wiwa (Mena-Iza et al., 2024).

De acuerdo al Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial (GAD, 2023), en donde indica el comportamiento de los factores climáticos desde el año 2005 al 2015, se reporta una precipitación promedio de 2.949,16 mm y una temperatura ambiente de 24,06 °C (Tabla 2).

Material genético

El material vegetal utilizado corresponde a plántulas de cacao de los clones CCN-51, EETP-800 y EETP-801, proporcionado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP). La edad promedio de las

Tabla 1. Datos meteorológicos octubre 2023 – octubre 2024.
Table 1. Weather data from October 2023 to October 2024.

Mes	Temperatura		Humedad		Presión (hPa)	Precipitación mensual (mm)
	Ambiente (°C)	Suelo (°C)	Ambiente (%)	Suelo (%)		
Octubre	23,75	25,98	94,67	64,73	956,67	76,50
Noviembre	23,78	25,63	90,53	58,73	956,37	100,60
Diciembre	24,29	25,44	90,71	67,27	956,24	177,00
Enero	26,29	25,80	83,35	72,85	956,81	339,70
Febrero	24,65	26,41	90,77	74,91	956,99	442,20
Marzo	24,82	26,30	90,72	72,22	956,44	496,20
Abril	23,49	25,74	94,47	70,72	956,57	847,50
Mayo	30,10	26,30	99,00	80,00	957,50	124,20
Junio	32,20	25,90	99,00	80,00	960,50	75,60
Julio	28,70	28,70	98,00	99,00	958,60	26,40
Agosto	29,50	25,90	87,00	60,00	957,50	20,00
Septiembre	31,40	26,20	91,00	37,00	958,00	7,80
Octubre	30,90	25,70	89,00	52,00	959,80	19,80
Promedio	27,22	26,15	92,17	68,42	957,54	2753,50

Tabla 2. Datos históricos climáticos de la parroquia Guasaganda, La Maná, Cotopaxi.
Table 2. Historical climate data for the Guasaganda parish, La Maná, Cotopaxi.

Año	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
2005	1.386,60	24,35
2006	3.471,30	24,67
2007	2.335,90	25,13
2008	3.120,00	25,35
2009	2.954,30	24,72
2010	3.140,60	23,75
2011	2.569,80	23,15
2012	4.006,80	23,15
2013	2.761,00	23,44
2014	2.987,00	23,39
2015	3.707,50	23,57
Promedio anual	2.949,16	24,06

plantas al establecimiento del ensayo fue de seis meses.

Establecimiento del ensayo

Las parcelas experimentales en campo fueron de 10,00 m de largo por 9,00 m de ancho (90 m²), las plantas de cacao se sembraron en marco real (o método cuadrado) a una distancia de 3 x 3 m con una densidad de 16 plantas en cada parcela experimental, las mismas que fueron sembradas en asociación con fabáceas (*Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus lunatus*) a una distancia de 0,75 x 0,75 m, la siembra se efectuó al mismo tiempo que se instaló el ensayo.

Manejo cultural

Durante el período de investigación no se realizó riego, debido a las condiciones climáticas de la zona, en el manejo fitosanitario del cultivo no se presentaron problemas en plagas o enfermedades, mientras que el manejo de las plantas no deseables (malezas) se realizó de manera manual; como manejo del cultivo se aplicó una poda de formación a los 630 días para poder definir una estructura fuerte, equilibrada y bien ventilada de la planta, en donde se seleccionó de 3 a 4 ramas principales.

Caracterización del suelo

Para la extracción de las muestras se aplicó la metodología del INIAP, 2016, donde se extrajeron 10 submuestras en forma de zig-zag a 0,20 m de profundidad, cada submuestra tenía un kilogramo de suelo. Los análisis físico-químicos que se realizaron en el suelo fueron: materia orgánica (%) (Método de Walkley y Black); para determinar la cantidad de P, NH₄⁺, S y B (Colorimetría utilizando un espectrofotómetro

Cole-Palmer 1100), K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn (Espectrofotómetro de Absorción atómica AA-6800 GFA-EX7 Shimadzu Corporation, Kioto Japón extractante Olsen Modificado pH 8,5), el pH y la conductividad eléctrica (relación suelo-agua 1:2,5); para la medición del pH se realizó con un potenciómetro HACH SensION™ MM340 (HACH LANGE GmbH, Dusseldorf, Alemania) y la CE se determinó utilizando un conductímetro HACH SensION™ EC71 (HACH LANGE GmbH, Dusseldorf, Alemania). La textura del suelo (Método modificado de Bouyoucus) (Tabla 3).

Durante la fase de establecimiento (0-390 días), la fertilización inorgánica edáfica consistió en la aplicación anual de 250 kg ha⁻¹ de nitrato de amonio (NH₄NO₃), 150 kg ha⁻¹ de sulfato de magnesio monohidratado (MgSO₄·7H₂O), 275 kg ha⁻¹ de muriato de potasio (K₂O-Cl) y 100 kg ha⁻¹ de DAP, (NH₄)₂HPO₄ equivalentes a 35 g planta⁻¹. En la fase de mantenimiento (570-690 días), se incrementó la dosis a 400 kg ha⁻¹ de urea, 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnesio, 100 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (muriato) y 150 kg ha⁻¹ de DAP, lo que representó 70 g planta⁻¹; la aplicación de estos nutrientes se realizó en cobertura que es aplicar el fertilizante alrededor de la planta.

Diseño experimental

En el desarrollo de la investigación se utilizó un diseño de bloques completos al azar, por las características del sitio experimental (Navarro-Flores y Vargas-Rojas, 2015; Duicela-Guambi, 2023), empleando los clones de cacao; cada uno de ellos tenía ocho parcelas (repeticiones) con 16 plantas por unidad experimental en cada repetición dando un total de 384 plantas. Todas las plantas del experimento fueron evaluadas cada 30 días desde los 30 a 390 días en la fase

Tabla 3. Análisis inicial y final de suelo del lugar experimental.
Table 3. Initial and final soil analysis of the experimental site.

Descripción	Valores e Interpretación					
	CCN-51		EETP- 800		EETP- 801	
	Establecimiento	Mantenimiento	Establecimiento	Mantenimiento	Establecimiento	Mantenimiento
pH	5,74	6,74	5,71	5,70	5,46	5,90
C.E. ds/m	Med ácido 0,06	Prat Neutro 0,08	Med ácido 0,05	Med ácido 0,04 No Salino	Ácido 0,07	Med ácido 0,05
Materia orgánica (%)	No Salino	No salino	No Salino		No salino	No Salino
NH4 (mg/kg)	5,38 Medio	5,76 Medio	5,86 Medio	5,90 Medio	5,35 Medio	5,65 Medio
N total (%)	26,43 Bajo*	28,75 Bajo	36,11 Medio	34,40 Medio	16,76 Bajo	15,25 Bajo
P (mg/kg)	0,43 Alto	0,20 Medio	0,42 Alto	0,30 Medio	0,30 Medio	0,16 Bajo
K (cmolc kg ⁻¹)	2,54 Bajo	8,60 Bajo	2,76 Bajo	5,91 Bajo	3,52 Bajo	6,05 Bajo
Ca (cmolc kg ⁻¹)	0,29 Medio	0,29 Medio	0,18 Bajo	0,59 Alto	0,16 Bajo	0,59 Alto
Mg (cmolc kg ⁻¹)	6,00 Medio	6,30 Alto	7,00 Medio	5,90 Medio	5,00 Medio	6,80 Medio
S (mg/kg)	1,63 medio	1,20 Bajo	1,19 Bajo	1,10 Bajo	0,73 Bajo	1,70 Medio
Zn (mg/kg)	10,02 Bajo	9,45 Bajo	8,53 Bajo	8,00 Bajo	9,04 Bajo	9,01 Bajo
Cu (mg/kg)	2,40 Medio	4,40 Medio	3,20 Medio	3,30 Medio	0,60 Bajo	4,00 Medio
Fe (mg/kg)	5,50 Medio	11,10 Alto	5,00 Medio	12,60 Alto	2,80 Medio	10,00 Alto
Mn (mg/kg)	140,70 Alto	178,00 Alto	152,00 Alto	152,00 Alto	149,00 Alto	187,00 Alto
B (mg/kg)	5,30 Medio	14,00 Medio	6,30 Medio	12,70 Medio	3,60 Bajo	9,00 Medio
Ca/Mg	0,30 Bajo	0,40 Bajo	0,23 Bajo	0,25 Bajo	0,18 Bajo	0,20 Bajo
Ca/Mg/K	3,68	5,25	5,88	5,36	6,85	4,00
Textura (%)	5,62	4,19	6,61	1,88	4,56	2,90
Arena	26,31	26,19	45,50	11,95	35,81	14,51
Limo	52,00	40,00	54,00	44,00	56,00	42,00
Arcilla	40,00	56,00	38,00	52,00	34,00	54,00
Clase Textural	8,00	4,00	8,00	4,00	10,00	4,00
	Franco - arenoso	Franco - limoso	Franco - arenoso	Franco - limoso	Franco - arenoso	Franco - limoso

* Tomado del Manual Técnico N0. 26 INIAP-EETP Clima, Suelos, Nutrición y Fertilización de Cultivos del Litoral ecuatoriano (Amores, 1992). Son suelos de las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes; se considera suelos Andisols según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de la USDA (Soil Survey Staff, 2014).

de establecimiento y 570 a 690 días en la fase de mantenimiento

Variables evaluadas

Dentro del sistema agrícola se evaluaron las variables morfométricas: la altura de planta se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice de la planta, utilizando un flexómetro y se registró en centímetros; la medición del diámetro de tallo principal se realizó a una altura a 10 cm sobre el nivel del suelo con un calibrador Vernier y se registró en milímetros y número de ramas, la misma que se realizó mediante el conteo de las ramas productora de cada unidad experimental. Estas mediciones se realizaron cada 30 días después de la siembra durante (1-13 meses fase de establecimiento y desde el mes 19 al 23 fase de mantenimiento). Entre ambos períodos existió un intervalo sin evaluaciones sistemáticas (14-18 meses), debido a limitaciones operativas en la disponibilidad de personal para el seguimiento de campo. En consecuencia, no se realizaron interpolaciones ni estimaciones de datos para dicho intervalo, y los análisis se efectuaron exclusivamente con los registros obtenidos en los períodos establecidos.

Asimismo, se determinó la tasa de crecimiento absoluta (TCA), la cual se obtuvo de la diferencia entre el crecimiento final y el tamaño inicial, dividido por los días evaluados (Di-Benedetto y Tognetti, 2016).

Adicionalmente, se recolectaron muestras foliares de cada uno de los clones para análisis nutricionales de tejidos a los 60 días (fase inicial) y a los 690 días (fase final del experimento; para ello se colectaron 15 submuestras que estaban conformadas por cuatro hojas, tomadas del tercio medio de la planta y distribuidos en los cuatro lados opuestos de la planta, con el fin de evaluar el estado nutricional de los clones a lo largo del ciclo de crecimiento. Las técnicas utilizadas para verificar los nutrientes en la planta fueron: fósforo y boro (Espectrofotometría UV-Vis); hierro, zinc, cobre, magnesio, calcio y manganeso (Espectroscopia de Absorción Atómica); potasio y sodio (Fotometría de Llama), nitrógeno y proteínas en el tejido vegetal (Métodos de flujo continuo o destilación Kjeldahl) (INIAP, 2016).

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianza (Bartlett) y fueron analizados a través del ANOVA; se compararon los tratamientos a través de la prueba post hoc de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0,05$, empleando el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la fase de establecimiento (30-390 días), el clon EETP-800 alcanzó una altura media de 126,13 cm presentando diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,001$) frente a los clones CCN-51 (94,88 cm) y EETP-801 (89,38 cm). Asimismo, registró la mayor tasa de crecimiento absoluto ($0,24 \text{ cm día}^{-1}$), lo que evidencia un mayor vigor vegetativo durante las primeras etapas de desarrollo. Este comportamiento puede atribuirse a una mayor eficiencia genética en la utilización de los fotoasimilados destinados al crecimiento longitudinal, así como a una elevada actividad meristemática, favorecida por una adecuada disponibilidad de agua y nutrientes bajo las condiciones agroclimáticas del subtrópico ecuatoriano. En cacao, la expresión del potencial de crecimiento depende de la interacción entre el genotipo y el ambiente, donde factores como la temperatura, la humedad y la radiación modifican la tasa fotosintética, la expansión celular y la acumulación de biomasa (Arévalo-Gardini et al., 2021).

Los valores obtenidos fueron considerablemente superiores a los reportados en estudios realizados en vivero (Zamora-Llanos, 2024), quien registró alturas entre 21,83 y 25,22 cm a los 120 días, mientras que Rojas-Flores (2025) reportaron 35,27 cm a los 112 días en plantas inoculadas con *Trichoderma* spp. Estas diferencias son esperadas, debido a que las condiciones de campo permiten un mayor desarrollo del sistema radical, incrementando la exploración del suelo y la absorción de agua y nutrientes, además de favorecer una mayor interceptación de radiación fotosintéticamente activa. En contraste, las plantas cultivadas en vivero presentan restricciones físicas del volumen radicular y condiciones ambientales controladas que limitan la expresión completa del potencial genético del cultivo.

No obstante, los valores observados fueron inferiores a los informados por Guamán-Guamán (2022), quien registró un altura de 144,90 cm y una tasa de crecimiento absoluto de $0,45 \text{ cm día}^{-1}$ en el clon EETP-800 cultivado bajo un nivel de sombra del 80% en Zamora Chinchipe; por otro lado, la sombra en las condiciones de la región amazónica puede alterar los rasgos fisiológicos, pero no afecta el crecimiento de las plantas, lo que sugiere una aclimatación a la modificación de la radiación (Vásquez et al., 2024). Esta diferencia, probablemente, responde al efecto modulador de la sombra sobre la fisiología del cacao, una especie naturalmente adaptada al sotobosque tropical. Niveles elevados de sombreado reducen la demanda evaporativa y el estrés térmico, favorecen el mantenimiento del potencial hídrico

foliar y estimulan la elongación celular mediante respuestas de aclimatación a bajas intensidades lumínicas. En estas condiciones, las plantas priorizan el crecimiento en altura como estrategia para maximizar la captación de luz, fenómeno ampliamente descrito en especies tolerantes a la sombra. En contraste, las condiciones subtropicales de Guasaganda, caracterizadas por una mayor radiación incidente y temperaturas elevadas, probablemente promovieron una asignación más equilibrada de biomas entre el crecimiento aéreo y el desarrollo estructural del tallo, lo que refleja un proceso de adaptación fisiológica al ambiente local más que una limitación del potencial genético del clon.

En conjunto, estos resultados evidencian que el clon EETP-800 posee un mayor desempeño vegetativo bajo las condiciones agroclimáticas del subtrópico ecuatoriano. Esta capacidad de adaptación constituye una característica deseable para sistemas agroforestales, donde las variaciones en radiación, humedad y disponibilidad de recursos exigen materiales genéticos con alta estabilidad fisiológica y agronómica (Figs. 1 y 2).

En relación a la variable diámetro, a los 112 días, Rojas-Flores et al. (2025), reportaron 3,79 mm, mientras que a los 120 días Zamora-Llanos (2024) presenta diámetros de 7,22 mm, valores inferiores a los que se observan en el presente estudio donde se obtuvo 17,50 mm en el clon EETP-800; de la misma manera a los 390 días el clon obtuvo valores superiores con 44,25 mm (15,34 cm²) de área de sección transversal del tronco (ASTT) y con una TCA de 0,10 cm día⁻¹, valores que son similares a los reportados por Guamán-Guamán (2022) que obtiene 14,66 cm² de ASTT y 0,06 cm día⁻¹.

El clon EETP-801 presentó un diámetro de tallo a los 120 días de 13,75 mm, valor que es superior al reportado por Reyes-Pérez et al. (2023), que en su investigación a los 120 días obtuvo 6,41 mm al evaluar Quitosano para mejorar los atributos morfo-fisiológicos de enraizamiento y la rentabilidad de dos variedades de cacao (*T. cacao* L) durante la propagación vegetativa. Esto demuestra que la actividad fisiológica de la planta está estrechamente relacionada con el crecimiento del diámetro del tallo (Waldburger et al., 2024).

El número de ramas se registró desde los 240 días cuando en su estructura deja de ser un brote temporal y se convierte en un eje leñoso; en esta variable el clon EETP-800 resaltó desde los 240 días hasta los 360 días, mientras que el EETP-801 resaltó su mejor vigor en ramas a los 390 días con 15 ramas. Por ello, el número de ramas es un excelente indicador del desarrollo estructural del árbol, ya que refleja la capacidad del clon para

formar una copa eficiente que posteriormente soportará la floración y la producción de frutos (Loor et al., 2018).

En la fase de mantenimiento (570-690 días), EETP-800 mantuvo su desempeño superior alcanzando 202,75 cm de altura y 71,38 mm de diámetro, con una tasa de crecimiento promedio de 0,32 cm día⁻¹ en altura. Estos valores son comparables, aunque ligeramente inferiores, a los reportados por Borbor-Tomalá y Tomalá-Neira (2018) en clones de cacao tipo Nacional evaluados a los 57-73 meses (139,53 - 237,65 cm de altura y 85,56 - 107,40 mm de diámetro), lo que sugiere que el ciclo de crecimiento aún se encontraba en desarrollo durante esta evaluación. El número total de ramas varió en los tres clones estudiados entre 12 y 25 antes de la poda de formación realizada a los 630 días, momento en que se estandarizó la arquitectura a 3-4 ramas productivas por árbol, eliminando cualquier sesgo en la comparación del potencial vegetativo posterior (Quiroz- Vera y Mestanza, 2012) (Figs. 3 y 4).

Análisis foliar

Los valores obtenidos para los análisis foliares de los clones CCN-51, EETP-800 y EETP-801 se encontraban dentro de los valores de referencia para los macro y micro nutrientes y, a su vez, son superiores a los reportados por Cevallos-Carvajal et al. (2022), quienes evaluaron momentos y fuentes de aplicaciones foliares de calcio, boro y zinc en el rendimiento y rentabilidad de cacao nacional, en la parroquia Calceta del cantón Bolívar. El clon EETP-800 se mantuvo dentro de los rangos de referencia, lo que a futuro permitirá una buena producción. Rodríguez-Arrobo et al. (2023) obtuvieron valores similares al utilizar bioestimulantes en el crecimiento morfológico de plántulas de cacao en etapa de vivero, reportando contenido de nutrientes (Tabla 4).

CONCLUSIONES

El clon EETP-800 presentó el mejor desempeño vegetativo y un estado nutricional más equilibrado bajo las condiciones evaluadas. Esta respuesta refleja una interacción favorable entre el genotipo y el ambiente asociada con una mayor eficiencia en la utilización de recursos y acumulación de biomasa.

El clon EETP-800 presentó características favorables para su evaluación o consideración en sistemas agroforestales, bajo las condiciones subtropicales estudiadas.

El análisis nutricional confirmó que EETP-800 presentó una concentración foliar de N dentro del rango de referencia bajo las condiciones

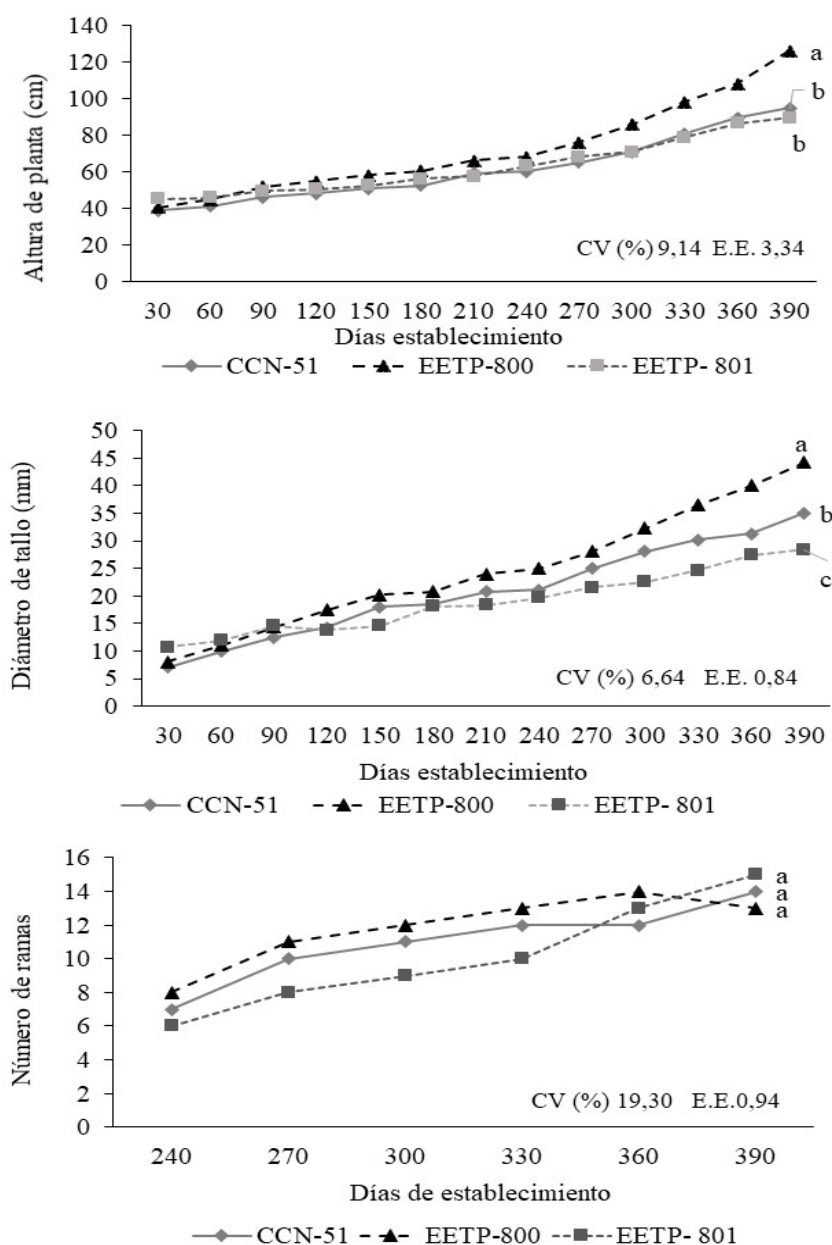


Fig. 1. Altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm) y número de ramas de clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante la etapa de establecimiento en un sistema agroproductivo en la parroquia Guasaganda. EE= Error Estándar. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$).

Fig. 1. Plant height (cm), stem diameter (mm), and number of branches of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones during the establishment stage in an agricultural production system in the Guasaganda parish. SE = Standard Error. Means followed by the same letter are not significantly different ($p \geq 0.05$).

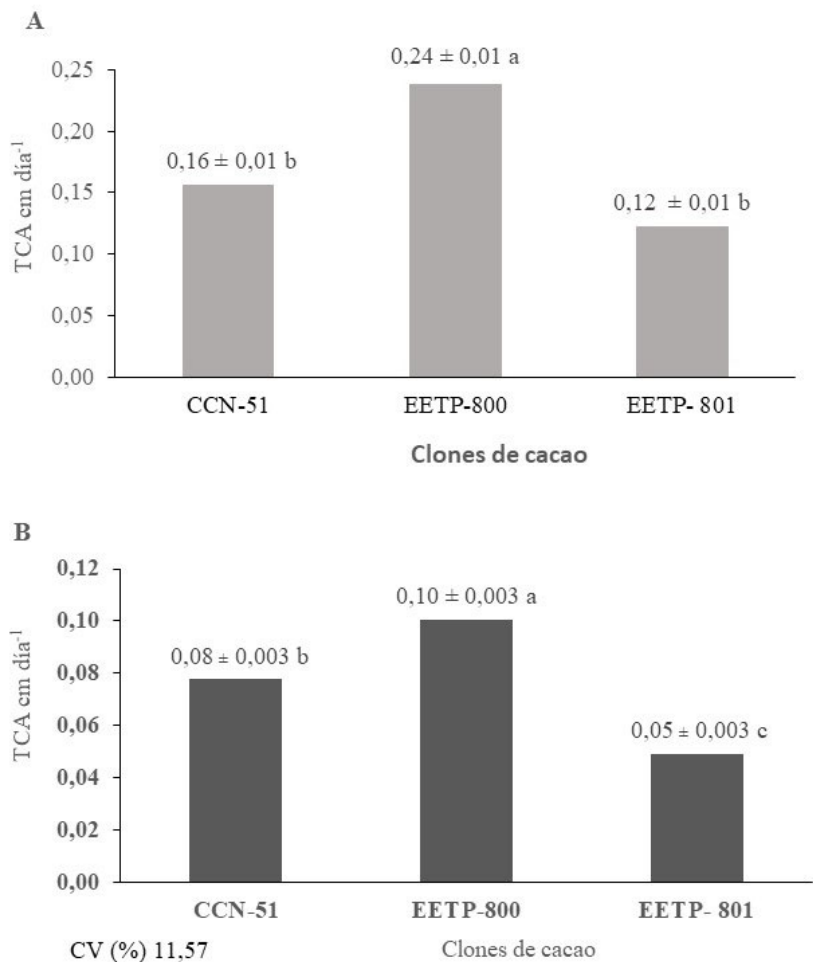


Fig. 2. Tasa de crecimiento absoluta (TCA) en la altura de planta (A) y diámetro de tallo (B) de clones de cacao (*T. cacao* L.) en un sistema agroproductivo en la parroquia Guasaganda.

Fig. 2. Absolute growth rate (TCA) for plant height (A) and stem diameter (B) of cacao (*T. cacao* L.) clones in an agricultural production system in the Guasaganda parish.

evaluadas. En contraste, los clones CCN-51 y EETP-801 presentaron concentraciones superiores de nitrógeno foliar, sin reflejar una ventaja proporcional en crecimiento vegetativo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, Carrera Agronomía, al Fondo de Investigación para la Agrobiodiversidad, Semillas y Agricultura Sustentable (FIASA) con el proyecto “Sistemas agro-productivos de fabáceas en asociación con cacao y café en un contexto de economía circular para el desarrollo sostenible”, en el Ecuador .

Declaración sobre uso de IA generativa

Los autores declaran que no hubo utilización de la Inteligencia Artificial (IA) en el desarrollo de este artículo científico.

Contribución de autores

Participación activa en la revisión bibliográfica: Giovana Parra Gallardo. Participación activa en la elaboración de la metodología: Ricardo Augusto Luna Murillo. Participación activa en la discusión de los resultados: Josselyn Jhoana Rodríguez Cruz. Revisión y aprobación de la versión final del artículo: Kleber Augusto Espinosa Cunuhay.

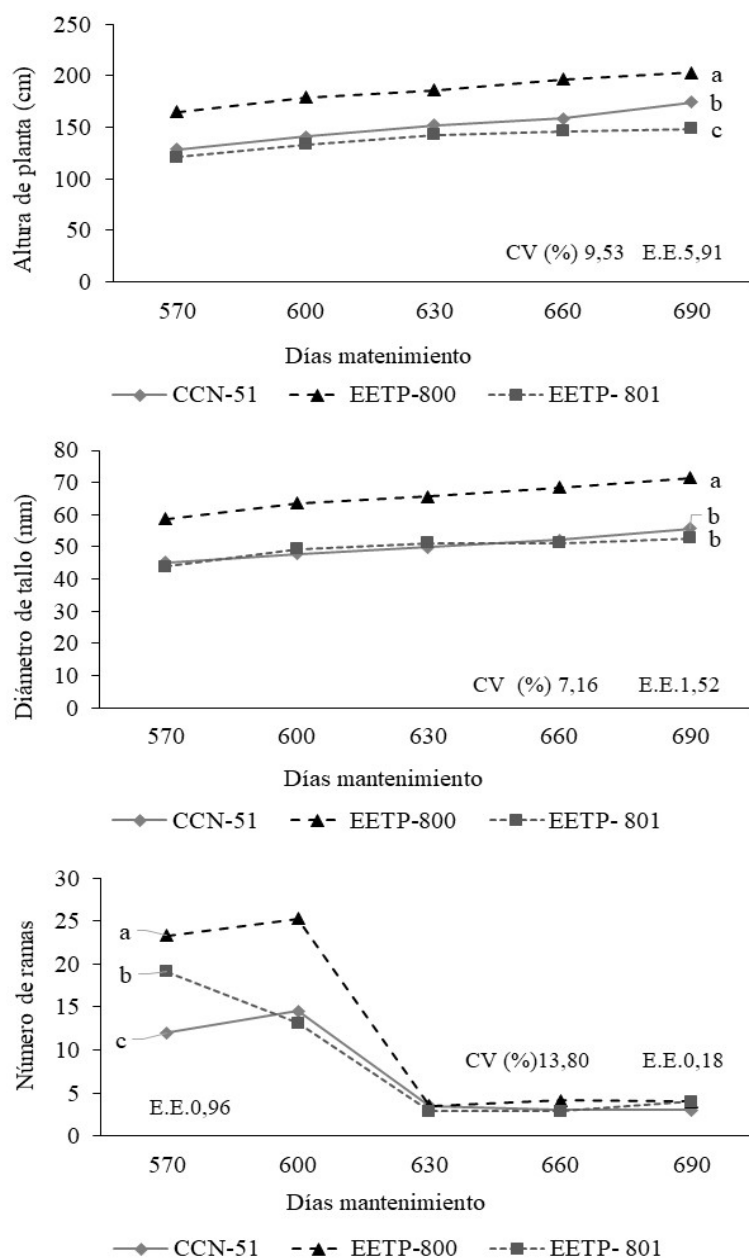


Fig. 3. Altura de planta (cm), diámetro de tallo (mm) y número de ramas de clones de cacao (*T. cacao* L.) durante la etapa de mantenimiento en un sistema agroproductivo en la parroquia Guasaganda. EE= Error Estándar.

Fig. 3. Plant height (cm), stem diameter (mm), and number of branches of cocoa (*T. cacao* L.) clones during the maintenance stage in an agricultural production system in the Guasaganda parish. SE = Standard Error.

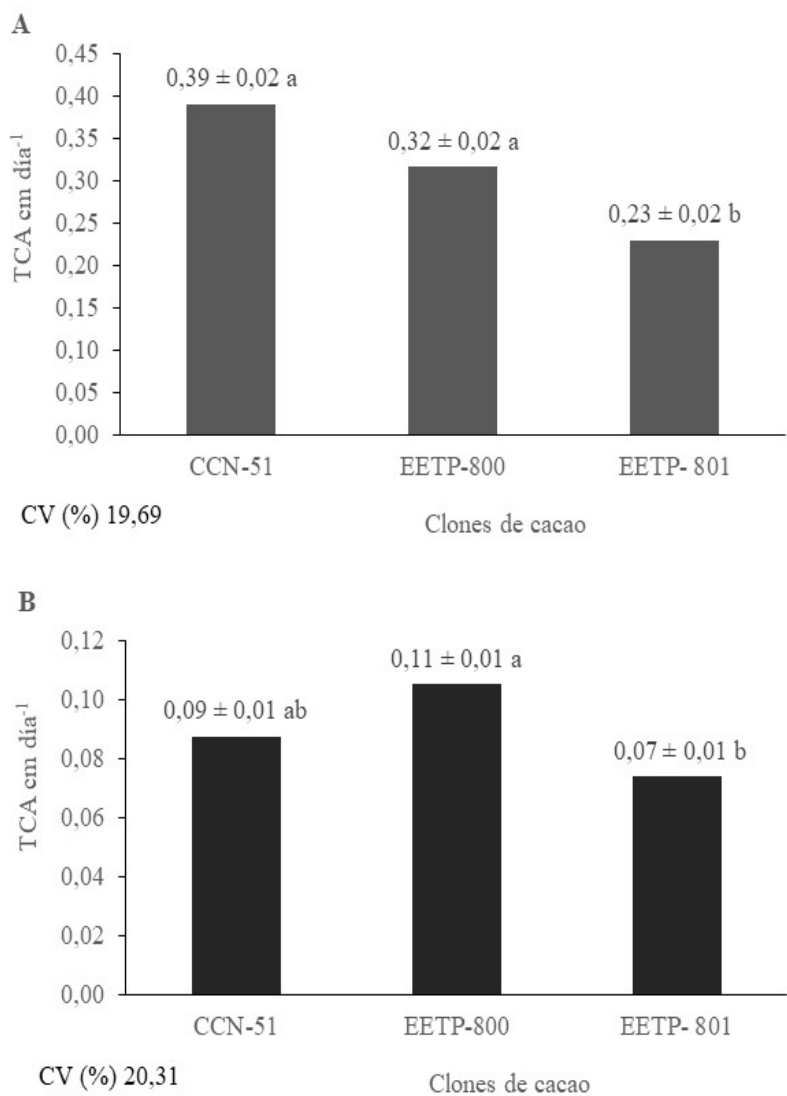


Fig. 4. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) en la altura de planta (A) y diámetro de tallo (B) de clones de cacao (*T. cacao* L.) en un sistema agroproductivo en la parroquia Guasaganda.

Fig. 4. Absolute growth rate (TCA) for plant height (A) and stem diameter (B) of cacao (*T. cacao* L.) clones in an agricultural production system in the Guasaganda parish.

Tabla 4. Valores de análisis foliar en la respuesta morfométrica de clones de cacao (*T. cacao* L.), en un sistema agroproductivo en la parroquia Guasaganda.**Table 4. Foliar analysis values for the morphometric response of cocoa clones (*T. cacao* L.) in an agricultural production system in the Guasaganda parish.**

Elemento	Valores de Referencia	CCN-51	EETP-800	EETP-801	CV (%)	E.E.
N (g kg ⁻¹)	20-25	28,60 a	21,40 a	26,75 a	16,71	3,02
P (g kg ⁻¹)	1,8 - 2,5	2,40 a	1,70 a	2,00 a	24,43	0,35
K (g kg ⁻¹)	13 - 23	22,40 a	18,75 a	16,85 a	35,24	4,77
Ca (g kg ⁻¹)	8 - 12	8,80 a	12,55 a	9,35 a	30,01	2,17
Mg (g kg ⁻¹)	3 - 7	5,30 a	4,85 a	4,50 a	28,24	0,98
S (g kg ⁻¹)	1,6 - 2,0	2,05 a	1,95 b	1,75 b	2,40	1,15
Cu (mg kg ⁻¹)	8 - 15	15,88 a	14,95 a	16,53 a	25,39	2,83
B (mg kg ⁻¹)	25 - 60	31,14 a	32,13 a	23,83 b	0,87	0,18
Fe (mg kg ⁻¹)	60 - 200	147,45 a	135,67 a	145,65 a	7,04	7,12
Zn (mg kg ⁻¹)	30 -80	69,20 a	68,25 a	41,16 a	38,19	16,08
Mn (mg kg ⁻¹)	50 - 250	167,73 a	185,32 a	122,84 a	24,79	27,80

Valores de referencia considerados de Motato-Alarcón y Pincay-Menéndez (2015). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

LITERATURA CITADA

- Abasolo-Pacheco, F., J. Troncozo-Correa, V. García- Gallirgos, J. Quintana-Zambrano y D. Reinoso-Viteri. 2025. Respuesta de plántulas de *Theobroma cacao* a la aplicación de un compuesto bioactivo altamente diluido para el control de lasiodiplodia theobromae. Código Científico 6 (1): 610-627. <https://doi.org/https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/n1/908>
- Amores, F. 1992. Clima, suelos, nutrición y fertilización de cultivos en el Litoral ecuatoriano. Manual Técnico No. 26, Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Pichilingue - Departamento de Suelos y Fertilizantes, Quevedo. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/7d217c09-a040-409d-b740-826f55ed4443/content>
- Arévalo-Gardini, E., A. Farfán, F. Barraza, C. Arévalo-Hernández, L. Zuñiga-Cernades, J. Alegre, and V. Baligar. 2021. Growth, physiological, nutrient-uptake- efficiency and shade.Tolerance responses of cacao genotypes under different shades. *Agronomy* 11(8). <https://doi.org/https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1536>
- Bai, W., Z. Sun, J. Zheng, G. Du, L. Feng, Q. Y. Cai, and L. Zhang. 2016. Mixing trees and crops increases land and water use efficiencies in a semi-arid area. *Agricultural Water Management* 178: 281-290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.007>
- Borbor-Tomalá, M. y K. Tomalá-Neira. 2018. Evaluación del comportamiento agronómico de seis clones de cacao tipo nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Centro de Prácticas y producción Río Verde, cantón Santa Elena. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias Agrarias. <https://repositorio.upse.edu.ec/items/9dafcc42-a57c-4271-a478-0e7f8924a6db>
- Cevallos-Carvajal, C., G. Cedeño-García, F. Arteaga-Alcivar y S. Velasquez-Cedeño. 2022. Efectividad de momentos y fuentes de aplicaciones foliares de calcio, boro y zinc en el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 38(3): 304-317. <https://doi.org/https://doi.org/10.29393/CHJAA38-29PVAR10029>
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. T. Gonzalez y C. Robledo. 2020. InfoStat versión 2020. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/>
- Di-Benedetto, A. y J. Tognetti. 2016. Técnicas de análisis de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 42(3): 258-282. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86449712008>
- Duicela-Guambi, L. 2023. Herramientas estadísticas para la investigación Agropecuaria (1era ed.). Universidad Técnica de Babahoyo.
- Evert, T., R. Loor, X. Argout, O. Fouet, F. Zambrano-Flores y D. Zhang. 2024. Catálogo de cacaos de Ecuador. Biodiversity International e INIAP - Quevedo (1era ed.). Ecuador.

- GAD. 2023. Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial parroquia Guasaganda 2023-2027. La Maná. <https://guasaganda.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2025/03/PDOT-Gobierno-Autonomo-Descentralizado-Parroquial-Rural-Guasaganda-final-1.pdf>
- Guamán-Guamán, A. 2022. Influencia de distintos niveles de sombra en las características morfológicas y fisiológicas en el crecimiento temprano del cacao (*Theobroma cacao* L) clon EET-800 en la provincia de Zamora Chinchipe. Universidad Nacional de Loja, facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/items/b4bf0ea7-2ded-48bf-ad7b-aac-2d15606ee>
- Herrera-Feijoo, R., J. Torres-Rodriguez y M. Carranza-Patiño. 2025. Del grano al conocimiento: Un análisis bibliométrico de la investigación sobre *Theobroma cacao* L. vinculada a Ecuador. Multidisciplinary Collaborative Journal 3(3): 192-224. <https://doi.org/https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n3/83>
- INIAP. 2016. Muestreo de suelos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas, Mocache. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3525>.
- Kumawat, A., D. Yadav, P. Srivastava, S. Babu, D. Kumar, D. Vishwakarma, and M. Madhu. 2023. Restoration of agroecosystems with conservation agriculture for food security to achieve sustainable development goals. Land Degradation & Development 34(11): 3079-3097. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ldr.4677>
- Lloor, R., I. Sotomayor, J. Jiménez, O. Tarqui, G. Rodríguez, T. Casnova y G. Quijano. 2018. INIAP-EETP-800 e INIAP-EETP-801 Nuevos clones de cacao fino y de aroma con alto rendimiento. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) - Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Programa Nacional de Cacao y Café, Quevedo. <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/4f89802c-f3b5-4a28-8b6b-287798f28ae0/content>
- Mata-Anchundia, D., M. Rivero-Herrada y E. Segovia Montalván. 2018. Sistemas agroforestales con cultivo de cacao fino de aroma: entorno socioeconómico y productivo. Revista Cubana de Ciencias Forestales 6(1): 1013-115. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/280>
- Mena-Iza, D., V. Quiroga-Yanez, C. Borja-Borja, and J. Bajaña-Zajia. 2024. Impact of climatic factors on Coffea Growth. Nanotechnology Perceptions 20(7): 1912-1921. www.nano-ntp.com
- Motato-Alarcón, N. y J. Pincay-Menéndez. 2015. Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. La Técnica Revista de las Agrociencias 14(1): 6-23. https://doi.org/https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i14.573
- Navarro-Flores, J. y J. Vargas-Rojas. 2015. Eficiencia relativa del diseño de bloques completos al azar para ensayos de arroz en Bagaces, Guanacaste, Costa Rica. Intersedes 16(34): 61-70. <https://www.redalyc.org/journal/666/66643073004/html/>
- Pourrut, P. 1995. El agua en el Ecuador: Clima, precipitaciones, escorrentía (7a ed.). Quito: Corporación Editora Nacional. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014823.pdf
- Quiroz-Vera, J. y S. Mestanza. 2012. La poda de cacao. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Litoral del Sur Programa Nacional del Cacao. <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/6c4db4ff-a8e5-4280-ad5f-dd9628c57295/content>
- Quiroz-Vera, J. y A. Pesantez-Reyes. 2010. Caracterización morfológica de clones de cacao finos y de alto rendimiento INIAP-EETP-800 E INIAP-EETP-801. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Yaguachi-Guayas-Ecuador. <http://www.iniap.gob.ec>
- Reyes-Pérez, Juan., L. Llerena-Ramos, L. Hernández-Montiel, V. Reynel-Chila, W. Tezara, and T. Rivas-García. 2023. Chitosan improves morpho-physiological, rooting attributes and profitability of two cocoa (*Theobroma cacao* L.) varieties during vegetative propagation. Tropical and Subtropical Agroecosystems 26(098). <https://doi.org/http://doi.org/10.56369/tsaes.4761>
- Rodriguez-Arrobo, T., K. Cajamarca-Crespo, S. Barrezueta-Unda, A. Luna-Romero y D. Villaseñor-Ortiz. 2023. Efectos de bioestimulantes en el crecimiento morfológico de plantulas de cacao en etapa de vivero. Manglar 20(2): 117-122. <https://doi.org/http://doi.org/10.57188/manglar.2023.013>

- Rojas-Flores, G., T. Paytan-Montañez, J. Quispe-Rodríguez y A. Quispe-Ramos. 2025. Producción de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L) con aplicación de Trichoderma, control de enfermedades en vivero. Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias 9(26): 425-434. <http://www.scielo.org.bo/pdf/arca/v9n26/2664-0902-arca-9-26-425.pdf>
- Smith, J., D. Pearce y M. Wolfe. 2013. Conciliar la productividad con la protección del medio ambiente: Es la agroforestería templada la respuesta? Renewable Agriculture and Food Systems. <https://doi.org/doi:10.1017/S1742170511000585>
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture. https://soildistrict.org/wp-content/uploads/2022/01/2014_Keys_to_Soil_Taxonomy.pdf
- Sparks, D. L. 2023. Advances in Agronomy 177 (1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.08.001>
- Tezara, W. y E. Escalante. 2017. Bases Fisiológicas. Agronómicas y Tecnológicas del café y cacao (1era ed.). Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador : CIDE Cod. 9942-8632. <http://www.cidecuador.com>
- Vásquez, S., M. Capa-Morocho, and M. Molina -Muller. 2024. Sustainable Cacao Cultivation in Latin America (1era ed.). Taylor & Francis. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781003381761-5>
- Waldburger, T., T. Anken, A. Walter, H.-R. Nasser, P. Monney, and M. Cockbyrn. 2024. Growing cocoa in semi-arid climate and the rhythmicity of stem growth and leaf flushing determined by dendrometers. Heliyon 10(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32266>
- Zamora-Llanos, E. 2024. Efecto de varias fuentes de sustratos sobre la etapa de germinación y crecimiento de las plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L). Universidad Estatal del Sur de Manabí , Facultad de Ciencias Naturales y de Agricultura, Jipijapa-Manabí. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6801>

