

Aspectos socioeconómicos asociados al manejo hídrico en la cacaocultura del Valle del Cauca, Colombia

Socio-economic aspects associated with water management in cocoa cultivation in Valle del Cauca, Colombia

Oscar Eduardo Trujillo Obando ^{1,2}, José Alfredo Díaz Escobar ^{1,3}, Enrique A. Torres ^{1,4}.

¹Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. ²  oeatrullloo@unal.edu.co;

³  jodiaze@unal.edu.co; ⁴  eatortes@unal.edu.co



<https://doi.org/10.15446/acag.v72n4.113615>

2023 | 72-4 p 368-376 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2024-03-20 Acep.: 2024-06-13

Resumen

La cacaocultura emerge como una opción productiva en expansión, impulsada por la creciente demanda de cacao de calidad a nivel local e internacional. Para capitalizar estas oportunidades se deben implementar tecnologías respaldadas por inversiones y transferencias tecnológicas, además de adaptarse a escenarios climáticos que inciden en la producción. La falta de conocimiento sobre el manejo del recurso hídrico en el cultivo del cacao es un problema común entre los cacaocultores, debido a la escasez de investigación, capacitación y asistencia técnica, lo cual afecta la productividad, competitividad y desarrollo del sector. El objetivo de este estudio fue evaluar, de manera preliminar, la gestión hídrica en el cultivo de cacao en el Valle del Cauca, Colombia, considerando variables biofísicas, socioeconómicas y culturales en las fincas productoras de cacao. Se entrevistaron 53 productores de cacao de 14 municipios; el 60 % de las entrevistas se realizaron en los predios de producción. Los datos se analizaron mediante técnicas de estadística descriptiva, inferencial y multivariada. Los cacaoteros exhiben diversidad generacional y un alto nivel educativo, con el 73.6 % de productores mayores de 50 años y un 49.1 % con estudios de educación superior. Algunos demuestran mayor disposición hacia la adopción de innovaciones tecnológicas, como lo evidencia el 32.1 % que ha implementado irrigación en sus cacaotales, aunque con un enfoque tradicional en la toma de decisiones para determinar el momento de riego, lo que indica una baja adopción de tecnologías precisas basadas en datos. Las variables analizadas se agruparon en dos conjuntos de clústeres, uno vinculado a la producción y otro a la gestión del agua. Estos clústeres revelan que, aunque los productores comparten ubicación y características de sus tierras, mantienen perspectivas divergentes sobre la producción de cacao, destacando la necesidad de identificar productores con perfiles similares para diseñar estrategias de mejora tecnológica en el gremio.

Palabras claves: cacao, caracterización, irrigación, productores, sostenibilidad.

Abstract

Cocoa cultivation is emerging as an expanding productive option driven by the growing demand for high-quality cocoa both locally and internationally. To capitalize on these opportunities, it is essential to implement technologies supported by investments and technological transfers, and to adapt to climate scenarios impacting production. A common issue among cocoa producers is the lack of knowledge regarding water management in cocoa cultivation. This is due to a scarcity of research, training, and technical assistance which affects productivity, competitiveness, and sectoral development. The objective of this study was to explore water management in cocoa cultivation in the department of Valle del Cauca, Colombia, considering biophysical, socioeconomic, and cultural variables on cocoa farms. 53 cocoa producers from 14 municipalities were interviewed, with 60 % of the interviews conducted on production sites. The data obtained were analyzed using techniques and procedures of descriptive, inferential, and multivariate statistics. Cocoa farmers exhibited generational diversity and a high level of education, with 73.6 % of producers over 50 years old and 49.1 % having completed higher education. Some showed a greater willingness to adopt technological innovations, as evidenced by the 32.1 % who have implemented irrigation systems in their cocoa plantations, although they tend to rely on traditional decision-making methods for determining irrigation timing, indicating low adoption of data-driven precise technologies. The analyzed variables were organized into two clusters, one linked to production and the other to water management. These clusters revealed that, although producers share location and land characteristics, they maintain divergent perspectives on cocoa cultivation, emphasizing the need to identify producers with similar profiles to design technological improvement strategies in the cocoa sector.

Keywords: characterization, cocoa, irrigation, producers, sustainability.

Introducción

El sector cacaotero colombiano ha mostrado avance en los últimos años, pasando de 212000 hectáreas sembradas en 2015, a 246000 hectáreas en 2020, con un crecimiento del 16 %; de igual modo, la producción nacional de cacao se incrementó en un 15 %, alcanzando 67000 toneladas en 2020 (Ministerio de Agricultura, 2021). En el Valle del Cauca, el cacao se ha consolidado como una alternativa productiva, con una superficie cultivada de 1550 hectáreas y una producción anual de 900 toneladas (Gobernación del Valle del Cauca, 2023). Colombia cuenta con un gran potencial para la agroindustria cacaotera, dado que dispone de más de 700000 hectáreas aptas para cacao, así como de otros 2 000000 de hectáreas que podrían ser adecuadas, lo que posicionaría al país en los principales mercados (Rojas y Sacristán Sánchez, 2013).

Un aspecto clave en el avance del sector es la adaptación climática y el manejo del recurso hídrico, como lo señalan García y Moreno (2016), quienes resaltan la importancia de identificar zonas con potencial para el cacao a partir de su oferta ambiental y aprovechar las oportunidades derivadas de los mercados. Por otro lado, Lahive *et al.* (2019) y Amfo *et al.* (2021) enfatizan en la necesidad de adoptar una visión integral que comprenda los procesos fisiológicos y su interacción con el ambiente, como forma de acelerar el desarrollo de variedades de cacao con mayor capacidad productiva y resistencia a variaciones climáticas.

El cultivo de cacao depende en gran medida de la disponibilidad y distribución de agua por lluvia. Según Lahive *et al.* (2019), la precipitación es el factor ambiental más determinante en los rendimientos de cacao. Por su parte, Amores *et al.* (2009) sostienen que este cultivo necesita entre 1500 y 2500 mm de lluvia anualmente, destacando que precipitaciones mensuales menores a 124 mm son insuficientes para satisfacer las necesidades hídricas del cacao, lo que puede resultar en pérdidas de producción, como indican Macías Barberán *et al.* (2019). En Colombia, según la Compañía Nacional de Chocolates S.A.S (2021), el rango óptimo anual de precipitación para el cultivo de cacao se sitúa entre 1800 y 2600 mm.

Según Gavilánez Luna y Farias Chica (2019), Fernández Lizarazo (2018) y García y Moreno (2016), la aplicación de las propuestas derivadas de investigaciones sobre irrigación en las plantaciones de cacao en países como Brasil, Ecuador, Venezuela y Costa de Marfil, ha generado en un aumento considerable de la producción, estimado entre un 40 % y 100 %, ejemplos que pueden ser considerados en planes de mejora a futuro por parte del sector cacaotero.

El gremio cacaotero se debe fortalecer a partir de la inversión nacional y la cooperación internacional, con el propósito de incentivar la investigación, aspecto

clave tanto para el desarrollo económico y social del departamento, como para posicionar a Colombia como uno de los líderes en cacao (Ministerio de Agricultura, 2021).

En el país y en el Valle del Cauca, la investigación y adopción de tecnologías para la gestión del agua ha enfrentado obstáculos, como la limitación de recursos económicos, situación que restringe el desarrollo necesario para satisfacer las demandas de una productividad de cacao en crecimiento. Por esta razón es esencial reconocer el trabajo de investigadores como Luna y Farias Chica (2019) y Carr y Lockwood (2011), quienes han contribuido al entendimiento de la dinámica hídrica del cacao, cuyos estudios resaltan la importancia del agua en el desarrollo y productividad sostenible de las plantaciones de cacao. En este orden de ideas, el objetivo de este trabajo fue evaluar, de manera preliminar, la gestión hídrica en el cultivo de cacao en el Valle del Cauca, Colombia, considerando variables biofísicas, socioeconómicas y culturales en fincas productoras de cacao.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se efectuó en el departamento del Valle del Cauca, Colombia (05° 02' 08" y 03° 04' 02" LN y 72° 42' 27" y 74° 27' 13" LW) (Figura 1). La precipitación es bimodal con promedio anual que varía entre 1000 mm en las áreas más bajas del valle y 1800 mm en el piedemonte, temperatura promedio de 24 °C y evaporación media de 4.1 mm día⁻¹ (Marín-Pimentel *et al.*, 2023).

Diseño y aplicación del instrumento de encuesta

La producción de cacao en el Valle del Cauca, aunque carece de cifras precisas respecto al número de productores, abarca aproximadamente 1550 hectáreas, con una producción anual de 900 toneladas, según datos de la Gobernación del Valle del Cauca (2023). Para conocer la situación de los productores de cacao con relación al uso del agua, se aplicó un cuestionario de 26 preguntas que abordaron temas como: perfil del productor, información del predio, características del cultivo, condiciones biofísicas, prácticas de riego, aspectos socioculturales y producción de cacao.

Los agricultores de cacao fueron seleccionados mediante métodos de muestreo no probabilísticos, como el muestreo intencional y por conveniencia (Hernández y Carpio, 2019). La muestra estuvo conformada por 53 cacaoteros, de 14 municipios, los cuales se clasificaron en tres categorías agroecológicas: Jamundí, Guacarí, El Cerrito, Tuluá, Andalucía, Bugalagrande, Zarzal y La Unión, con características

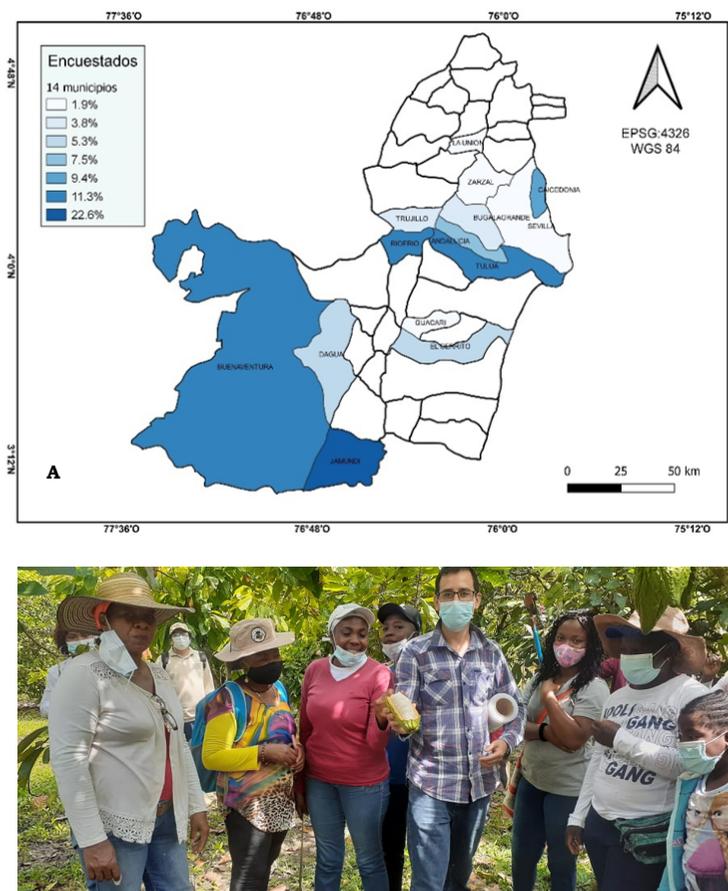


Figura 1. (A) Distribución porcentual de encuestados en el Valle del Cauca; (B) productores de cacao del municipio de Jamundí, zona plana del río geográfico Cauca. Fuente: elaboración propia.

de Valles Interandinos Secos (VIS); Trujillo, Riofrío, Sevilla y Caicedonia, correspondientes a la Zona Marginal Baja Cafetera (ZMC) y Buenaventura y Dagua, clasificados como Bosque Húmedo Tropical (BHT), siguiendo la categorización de Rojas y Sacristán Sánchez (2013).

La logística para realizar las encuestas contó con el acompañamiento técnico de Fedecacao, quienes proporcionaron los datos de localización de los posibles encuestados y sus predios en el periodo 2020-2021, y actuaron como intermediarios con los productores. Debido a la emergencia sanitaria del COVID-19, el 40 % de las encuestas se realizaron de manera telefónica, mientras que el resto se llevó a cabo en los diversos sistemas productivos de los cacaocultores.

Análisis estadístico

En el análisis de datos se utilizaron gráficos univariados de barras y anillos, además de gráficos y tablas bivariadas. A pesar de que la muestra no fue seleccionada de manera aleatoria, se usó estadística inferencial, ya que se pretendía establecer hipótesis de asociación coherentes entre algunas variables

analizadas, que se usarían como la base de futuras investigaciones, por esta razón se utilizó la prueba chi-cuadrado y un $\alpha = 0.05$.

Debido a la naturaleza de la investigación, las variables se dividieron en grupos. El primero relacionó las variables de producción, tales como: área de cacao, variedades, tipo de sombrero, edad del cultivo, incremento del área de producción, producción alterna (producción agrícola o pecuaria), rentabilidad y mantener o aumentar área de producción. El segundo agrupó las variables relacionadas con la gestión del agua en la producción, específicamente: altitud, fertilidad del suelo, drenaje natural, riego suplementario, porcentaje del área regada, procedencia del agua, método de riego, frecuencia de riego, producción de cacao vs. épocas de lluvias, producción de cacao y labores culturales. Según la agrupación previamente mencionada, se empleó la técnica multivariada de análisis de conglomerados, optando por el algoritmo K-Modes Clustering (Huang, 1997), debido a que la encuesta solo midió variables cualitativas (categóricas). El valor utilizado para el generador de números aleatorios fue 1, y se seleccionaron valores de K igual a 5 y 4 para el primer y segundo grupo de variables, respectivamente,

permitiendo la formación de grupos de cacaoteros más homogéneos. El procesamiento de los datos se realizó mediante los softwares R 4.3.0 y QGIS 3.16.7.

Resultados y discusión

Caracterización geográfica y demográfica de los productores de cacao

De los 53 productores encuestados, el 56.6 % se localiza en la zona plana del valle geográfico del río Cauca, con predominio de VIS, es decir, suelos de buena fertilidad, topografía plana, altitud cercana a 1000 m s. n. m. y oferta ambiental adecuada para el establecimiento de cacao (Quintero Durán *et al.*, 2008).

En la muestra, los productores de cacao presentaron una tendencia hacia edades mayores de 60 años, aunque también se identificó un grupo importante entre 50 a 60 años. En cuanto al nivel académico, predominó la formación universitaria, sin embargo, hubo quienes solo contaban con educación primaria. En términos generales, estos hallazgos revelan la distribución de los niveles educativos entre distintos grupos de edad de los cacaoteros del Valle del Cauca, destacando que las personas que superan los 60 años muestran un mejor grado de educación superior en comparación con los grupos más jóvenes encuestados (Tabla 1).

Los hallazgos de edad y nivel académico de los productores de cacao del Valle del Cauca coinciden con los resultados encontrados en el departamento de Santander, Colombia, por Pabón *et al.* (2016), en lo que respecta a la prevalencia de cacaoteros de edad avanzada, pero difieren en cuanto al nivel educativo. El estudio de Pabón *et al.* (2016) evidencia que más del 72 % de los productores de Santander han completado solo la educación primaria, lo que ha obstaculizado la adopción de nuevas tecnologías en el sector cacaotero. De manera similar, investigaciones en Venezuela, realizadas por Alvarado *et al.* (2014), muestran que un 84 % de los cultivadores de cacao

tienen un nivel educativo bajo, lo que limita la adopción de tecnologías para el desarrollo de la agricultura del cacao.

Expansión y sostenibilidad del área de cultivo

Entre los cacaoteros prevalece una marcada inclinación por mantener e incluso incrementar la superficie de cultivo en los próximos 5 años. No obstante, la prueba de chi-cuadrado no reveló una correlación estadísticamente significativa entre el incremento del área destinada al cultivo de cacao en el quinquenio anterior y la intención de hacerlo en los próximos 5 años ($p = 0.8388$), lo que sugiere que estas variables son independientes en el contexto estudiado (Tabla 2).

La cacaocultura vallecaucana es de pequeña escala, basada en la combinación de cacao con otros productos agrícolas (Figura 2A). Esta forma de producción se asemeja a la de Ecuador, según lo indicado por Anzules-Toala *et al.* (2018), quienes afirman que en sus cacaotales tienen una gran diversidad, en donde el cacao es el principal cultivo, pero no el único, y se complementa con otras actividades agropecuarias, sobre todo para el autoabastecimiento. Entre las diferentes opciones de producción de cacao con otros cultivos, se destacan las asociaciones con frutales, musáceas y árboles maderables, como lo indican Ordóñez-Espinosa *et al.* (2020), quienes resaltan la asociación del cacao con árboles maderables dentro de sistemas agroforestales bien establecidos, pues garantizan sombra, lo que resulta beneficioso en climas no ideales y promueve un impacto positivo en el equilibrio hídrico.

La perspectiva positiva de los productores hacia el sector puede seguir mejorando si se aplican medidas técnicas apropiadas, como el establecimiento de sistemas agroforestales, la renovación de plantaciones antiguas por clones más productivos y la adopción de tecnologías que incrementen los rendimientos, según lo sugieren la Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2021) y Quintana Fuentes *et al.* (2018), como estrategias de sostenibilidad del sector.

Tabla 1. Nivel educativo por grupo de edad, Valle del Cauca, Colombia

Edad (Años)	Nivel de escolaridad					Total
	Primaria	Secundaria	Técnico o tecnólogo	Universidad	Analfabeto	
[18 - 30)	0.0 %	1.9 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	1.9 %
[30 - 40)	3.8 %	0.0 %	3.8 %	0.0 %	0.0 %	7.5 %
[40 - 50)	5.7 %	1.9 %	1.9 %	7.5 %	0.0 %	17.0 %
[50 - 60)	7.5 %	5.7 %	7.5 %	7.5 %	0.0 %	28.3 %
Mayores de 60	11.3 %	11.3 %	5.7 %	15.1 %	1.9 %	45.3 %
Total	28.3 %	20.8 %	18.9 %	30.2 %	1.9 %	100.0 %

Fuente: elaboración propia.

El 86.8 % de las áreas de cultivo son menores a 2 hectáreas (Figura 2B), resultado que es inferior al promedio nacional de 3 hectáreas (Ministerio de Agricultura, 2021). El tamaño reducido de los cacaotales plantea un desafío para la sostenibilidad a largo plazo, agravado por la falta de respaldo financiero, técnico y científico, según lo señalan Carr y Lockwood (2011). En este contexto, la contribución de la mano de obra familiar emerge como un componente esencial y constituye la principal fuerza laboral en el ámbito rural (Alvarado *et al.*, 2014; Pabón *et al.*, 2016). Esta situación, marcada por bajos niveles de capital, escasa tecnología y dependencia de la mano de obra familiar, subraya la necesidad de utilizar estos hallazgos como base para mejorar o expandir la producción de cacao, asegurando el bienestar de los cacaoteros (Pabón *et al.*, 2016; Antolinez Sandoval *et al.*, 2020).

Gestión hídrica en la producción de cacao

Los resultados indicaron que solo el 32.1 % de los encuestados poseen sistemas de irrigación (Figura 3A). Dentro de este grupo, el 90 % de los productores utilizan métodos de riego localizado, como goteo, microaspersión y mangueras, empleando diversas estrategias para determinar el momento óptimo de riego (Figura 3B). Lo anterior sugiere que los agricultores no perciben la aplicación de agua como

una estrategia para garantizar sus cosechas, y revela deficiencias en el conocimiento y la adopción de tecnologías para mitigar futuros escenarios climáticos adversos (Amfo *et al.*, 2021; Della Sala *et al.*, 2021). En regiones productoras de Ecuador, el 95 % de las fincas carecen de infraestructura para riego, lo que representa una desventaja en los meses secos y subraya la disponibilidad de tecnologías y adecuaciones como un desafío constante y una limitación para mejorar la producción de cacao (Anzules-Toala *et al.*, 2018; Arvelo *et al.*, 2017; Macías Barberán *et al.*, 2019).

Entre los productores que irrigan sobresale el uso de mangueras, debido a su menor costo en comparación con otros sistemas presurizados, así como su facilidad de conexión a tomas de agua. Sin embargo, las mangueras presentan limitaciones de diseño hidráulico, por lo que es necesario tener en cuenta las recomendaciones ofrecidas por Rodrigues-Donato *et al.* (2021) acerca de la adopción de sistemas de riego localizado de alta frecuencia, que permitan una aplicación precisa y uniforme del agua, y que mejoren así la capacidad de las plantas para absorber nutrientes.

Respecto a los métodos de decisión sobre cuándo regar, los encuestados refirieron preferencia por la programación de riego visual, basándose en el vigor de las plantas. Sin embargo, un grupo muy pequeño se inclina por métodos de programación basados en calendarios o frecuencias predefinidas, o en defecto seguido de determinaciones organolépticas de la humedad del suelo. Es importante destacar la falta de uso de sensores de humedad, que suelen ser menos accesibles para los cacaoteros. En estudios que caracterizan la producción de cacao no se encuentran referencias específicas sobre los métodos utilizados para decisiones de riego, aunque se hallan recomendaciones técnicas sobre la infraestructura de riego (Macías Barberán *et al.*, 2019).

Tabla 2. Cantidad de agricultores (%) que mantendrán e incrementarán el área de cacao en sus fincas, Valle del Cauca, Colombia

Área incrementada	Mantener área		Total
	No	Sí	
No	3.80 %	32.10 %	35.80 %
Sí	5.70 %	58.50 %	64.20 %
Total	9.40 %	90.60 %	100 %

Fuente: elaboración propia.

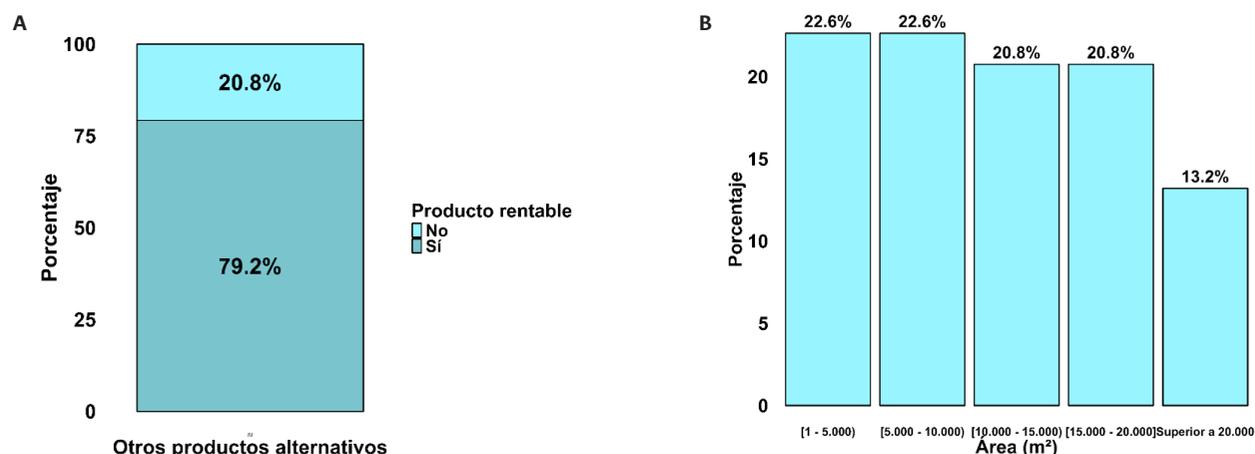
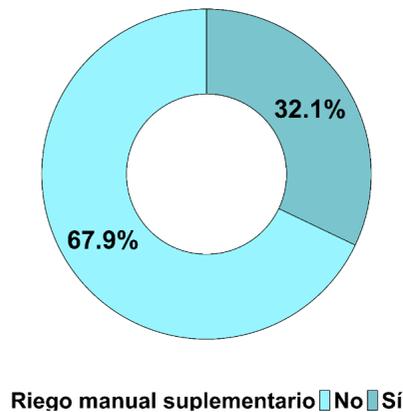


Figura 2. (A) Tendencias en alternativas de producción; (B) distribución del área de cacao. Fuente: elaboración propia.

A



B

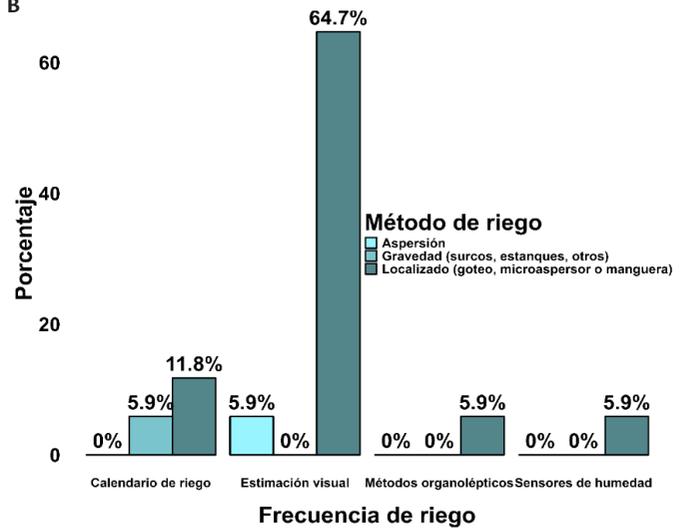


Figura 3. (A) Riego en productores de cacao; (B) métodos y estrategias de irrigación. Fuente: elaboración propia.

La prueba chi-cuadrado se utilizó para evaluar la asociación entre los métodos de riego y las frecuencias de aplicación del agua (Figura 3B), la cual no reveló una asociación significativa entre estas dos variables ($p = 0.5073$). No obstante, desde un punto de vista técnico, es crucial destacar que ambas variables deben considerarse de manera conjunta para lograr una gestión integral del recurso hídrico en la producción de cacao.

Caracterización de los sistemas integrados de producción y gestión hídrica del cacao

La caracterización reveló que el sector cacao en el Valle del Cauca está arraigado a métodos tradicionales y diversas prácticas culturales entre productores, a pesar de compartir ubicaciones y áreas similares. Para entender mejor las variables estudiadas, se dividieron en dos grupos de clústeres, maximizando la homogeneidad dentro de cada grupo y la heterogeneidad entre ellos (Anzules-Toala et al., 2018).

El grupo 1 comprendió 8 variables relacionadas con la producción. Los productores se clasificaron en cinco clústeres, con 13, 16, 7, 6 y 11 individuos (Figura 4). Los principales descriptores del grupo 1 se presentan en la Tabla 3, donde cada clúster se identifica y caracteriza con un nombre específico.

El análisis del grupo de producción revela que los clústeres 1, 2, 3 y 5 comparten características similares, ya que los productores consideran al cacao como un cultivo rentable. Los agricultores de estos clústeres muestran una clara intención de continuar con la producción de cacao debido a su rentabilidad. Además, estos productores combinan la producción de cacao con el cultivo de otros productos, como

Tabla 3. Características de los clústeres de producción de cacao

Nombre de clúster	Principales descriptores
1 (Cacao rentable y diversificado en áreas pequeñas)	Árboles frutales para autoconsumo y comercialización ≤ 5000 m ² Híbridos, > 9 años
2 (Cacao rentable y diversificado en áreas relativamente medianas)	Musáceas para autoconsumo y comercialización 10 000-15 000 m ² Diversificación de materiales y edades
3 (Cacao rentable y diversificado en áreas relativamente intermedias)	Árboles frutales para autoconsumo y comercialización 5000-10 000 m ² Híbridos, > 9 años
4 (Cacao no rentable en áreas relativamente medianas)	Árboles frutales para autoconsumo y comercialización 10 000-15 000 m ² Diversificación de materiales y edades
5 (Cacao rentable con las mayores extensiones)	Árboles frutales para autoconsumo y comercialización > 20 000 m ² Clonados, inicio de producción (3-6 años)

Fuente: elaboración propia.

frutales, que no solo sirven como sombra para el cacao, sino que también generan ingresos adicionales, lo que contribuye a la diversificación económica de las fincas. En particular, en los clústeres 1 y 3, las plantaciones de cacao presentan una diversidad de materiales con edades superiores a 9 años, lo que sugiere la necesidad de renovar las plantaciones antiguas con materiales clonados de cacao que posean atributos mejorados relacionados con la producción.

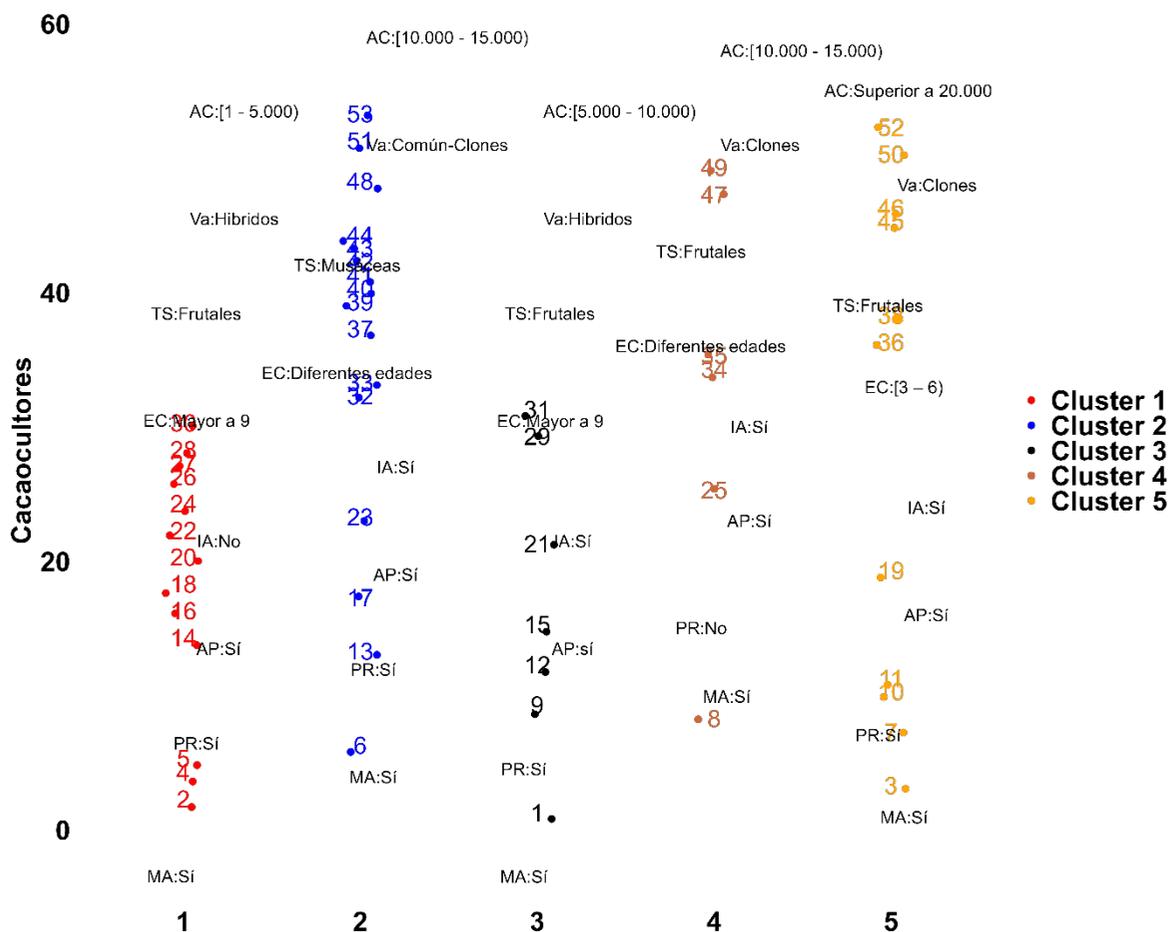


Figura 4. Producción de cultivo de cacao. AC: área de cacao en m²; Va: variedades; Ts: tipo de sombra; EC: edad del cultivo; IA: aumento de área; AP: producción alternativa; PR: producto rentable; MA: mantener o aumentar la producción. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Características de los clústeres de gestión hídrica

Nombre de clúster	Principales descriptores			
1 (Cacaocultores en suelos fértiles sin riego)	900-1100 m s. n. m.	Buen drenaje natural	Sí se cuantifica producción	Se correlacionan buenas cosechas en años de pocas precipitaciones
2 (Cacaocultores en suelos medianamente fértiles sin riego)	< 900 m s. n. m.	Excelente drenaje natural	No se cuantifica producción	Se correlacionan buenas cosechas con años de precipitaciones normales
3 (Cacaocultores en suelos fértiles con riego)	900-1100 m s. n. m.	Regular drenaje natural	No se cuantifica producción	Se correlacionan buenas cosechas con años de precipitaciones normales
4 (Cacaocultores en suelos fértiles sin riego)	900-1100 m s. n. m.	Excelente drenaje natural	Sí se cuantifica producción	Se correlacionan buenas cosechas con años de precipitaciones normales

Fuente: elaboración propia.

El grupo 2 abarcó 11 variables relacionadas con la gestión hídrica. Los productores se distribuyeron en cuatro clústeres, con 7, 17, 17 y 12 cacaoteros, respectivamente (Figura 5). Los principales descriptores del grupo 2 se presentan en la Tabla 4, donde cada clúster se identifica y caracteriza con un nombre específico.

En el grupo 2, los clústeres 1 y 4 cuantifican la producción de cacao, pero carecen de infraestructura de riego, mientras que el clúster 3 cuenta con infraestructura de riego, pero no cuantifica la producción. La implementación de prácticas precisas de cuantificación de la producción, junto con sistemas de riego eficientes y una gestión cuidadosa

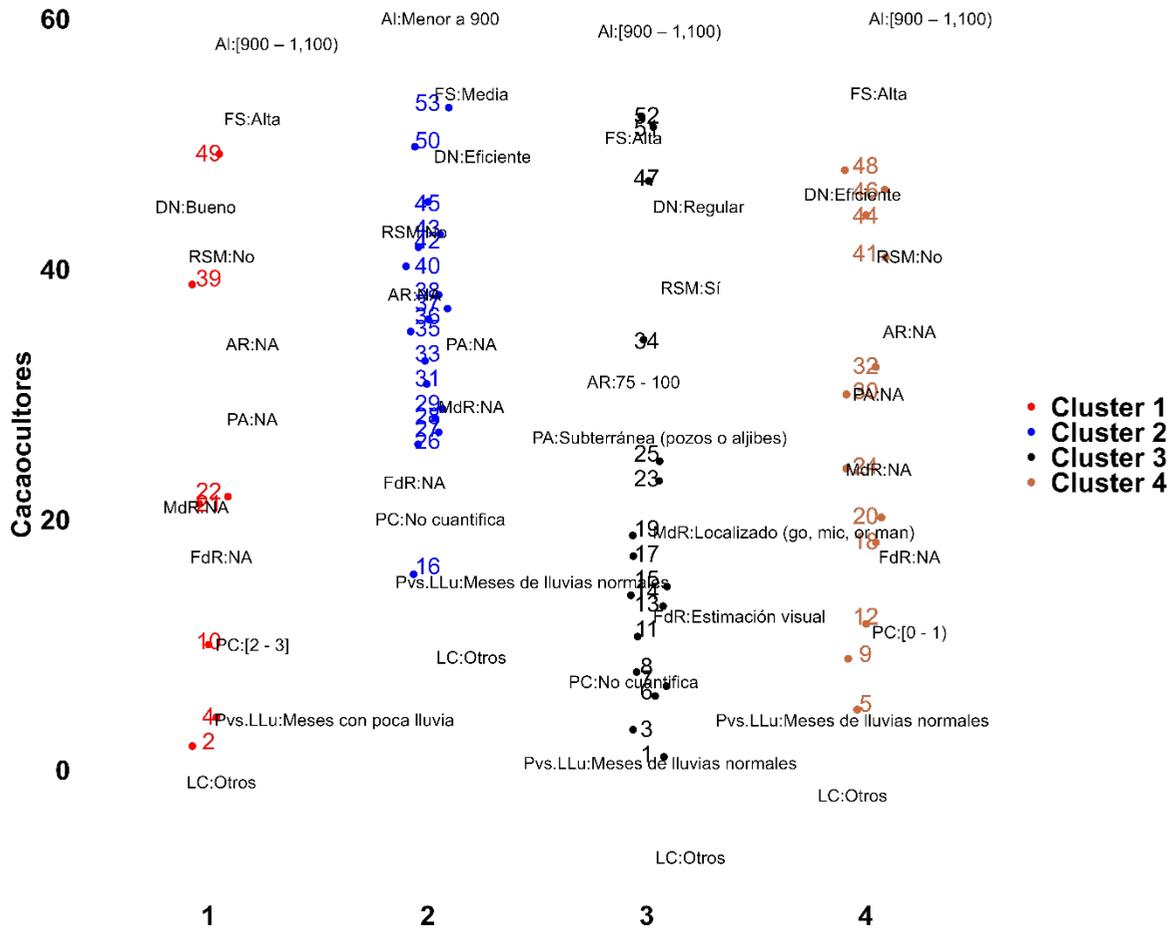


Figura 5. Gestión del agua en la producción de cacao. Al: altitud sobre el nivel del mar en metros; Fs: fertilidad del suelo; DN: drenaje natural; RSM: riego suplementario; AR: área irrigada, PA: fuente de agua; MdR: método de riego; FdR: frecuencia de riego, PC: cuantificación de la producción (Kg árbol⁻¹ cacao seco⁻¹), Pvs: producción vs. lluvia; LC: prácticas culturales. Fuente: elaboración propia.

del agua, son cruciales para optimizar recursos y promover la sostenibilidad económica y ambiental de la industria cacaotera.

Los resultados de ambos grupos indican la necesidad de tener programas de capacitación y asistencia técnica adaptados a cada clúster, como lo sugieren Ordóñez-Espinosa *et al.* (2020) y Anzules-Toala *et al.* (2018). Estos deben fomentar la adopción de tecnologías innovadoras en producción y gestión del agua, así como la renovación con materiales clonados de cacao y prácticas sostenibles de manejo del suelo. Finalmente, fortalecer la colaboración entre agricultores y entidades gubernamentales es fundamental para asegurar un desarrollo cacaotero sostenible y rentable en la región.

Conclusiones

La caracterización de los sistemas de producción y gestión hídrica reveló una diversidad en las prácticas de manejo del agua entre los clústeres identificados.

Solo el 32 % de los productores poseen sistemas de irrigación, en donde predominan los métodos de riego localizado, especialmente mediante mangueras. No obstante, persisten desafíos significativos, como la falta de infraestructura de riego en la mayoría de los clústeres y la baja adopción de tecnologías avanzadas para la gestión del agua.

Se identificó que el 86.8 % de las áreas de cultivo son menores a 2 hectáreas, lo que plantea limitaciones para la sostenibilidad a largo plazo debido a restricciones financieras y tecnológicas. Esta situación se ve agravada por la dependencia de la mano de obra familiar y la prevalencia de sistemas de producción tradicionales, que pueden obstaculizar la implementación de prácticas más eficientes y sostenibles.

El agrupamiento de variables en clústeres ha revelado que, aunque los productores de cacao estudiados comparten ubicación y características de sus tierras, poseen también perspectivas divergentes sobre la producción de cacao. Este hallazgo subraya

la necesidad de identificar a productores con perfiles similares para diseñar estrategias de mejora tecnológica en la cadena productiva del cacao.

Referencias

- Alvarado, M. L.; Portillo, E.; Boulanger, R.; Bastide, P. y Macia, I. (2014). Caracterización socioeconómica de los productores de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el estado Portuguesa-Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*, supl. 1, 856-864. https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento_2014/se/sesupl12014856864.pdf
- Amfo, B.; Ali, E. B. y Atinga, D. (2021). Climate change, soil water conservation, and productivity: Evidence from cocoa farmers in Ghana. *Agricultural Systems*, 191(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103172>
- Amores, F.; Palacios, A.; Jiménez, J. y Zhang, D. (2009). Entorno ambiental, genética, atributos de calidad del cacao en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas. Quevedo: INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1565>
- Antolinez Sandoval, E. Y.; Almanza Merchán, P. J.; Barona Rodríguez, A. F.; Polanco Díaz, E. y Serrano Cely, P. A. (2020). Estado actual de la cacaoicultura: una revisión de sus principales limitantes. *Ciencia y Agricultura*, 17(2), 1-11. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n2.2020.10729>
- Anzules-Toala, V.; Borjas-Ventura, R.; Castro-Cepero, V. y Julca-Otiniano, A. (2018). Caracterización de fincas productoras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Santo Domingo de Los Tsáchilas, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 30-50. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/493>
- Arvelo, M. A.; González, D.; Maroto, S.; Delgado, T. y Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas*. San José: IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Carr, M. K. V. y Lockwood, G. (2011). The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*, 47(4), 653-676. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000421>
- Compañía Nacional de Chocolates S.A.S. (2021). Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.): Origen, botánica y generalidades. <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2021/12/AF-FOLLETO-ORIGEN-BOTANICA-Y-GENERALIDADES-1.pdf>
- Della Sala, P.; Cilas, C.; Gimeno, T. E.; Wohl, S.; Yaw Opoku, S.; Găinușă-Bogdan, A. y Ribeyre, F. (2021). Assessment of atmospheric and soil water stress impact on a tropical crop: the case of *Theobroma cacao* under Harmattan conditions in eastern Ghana. *Agricultural and Forest Meteorology*, 311(15), 1-49. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108670>
- Fernández Lizarazo, J. C. (2018). *Estudio del efecto de diferentes líneas monospóricas de Rhizophagus irregularis en la respuesta del cacao al cadmio bajo condiciones de déficit hídrico in vitro*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76826>
- García, J. y Moreno, L. P. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, 65(1), 44-50. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.48161>
- Gavilánez Luna, F. C. y Farias Chica, S. R. (2019). Method of the cenirrómetro as an alternative to scheduling irrigation by aspersion in cocoa crop (*Theobroma cacao*). *Acta Agronómica*, 68(1), 29-34. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n1.70370>
- Gobernación del Valle del Cauca. (2023). *Gobierno del Valle le apuesta a revitalizar la agroindustria del cacao*. <https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/77695/gobierno-del-valle-le-apuesta-a-revitalizar-la-agroindustria-del-cacao/>
- Hernández, C. E. y Carpio, N. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *Revista Científica del Instituto Nacional de Salud*, 2(1), 75-79. <https://camjol.info/index.php/alerta/article/view/7535/7746>
- Huang, Z. (1997). A fast clustering algorithm to cluster very large categorical data sets in data mining. *Workshop on Research Issues on Data Mining and Knowledge Discovery*, 21-34. <https://vladestivill-castro.net/teaching/kdd.d/readings.d/huang97fast.pdf>
- Lahive, F.; Hadley, P. y Daymond, A. J. (2019). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0552-0>
- Macías Barberán, R.; Cuenca Nevárez, G.; Intriago Flor, F.; Caetano, C. M.; Menjivar Flores, J. C. y Pacheco Gil, H. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder cocoa producers in the province of Manabí, Ecuador. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(1), 8707-8716. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n1.72564>
- Marín-Pimentel, G. E.; Rueda-Saa, G. y Menjivar-Flores, J. C. (2023). Evaluation of physicochemical properties in agricultural soils on the flat and piedmont areas of Valle del Cauca, Colombia with emphasis on degradation. *Environmental Earth Sciences*, 82(157), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10813-6>
- Ministerio de Agricultura. (2021). *Cadena del cacao*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ordóñez-Espinosa, C. M.; Suárez-Salazar, J. C.; Rangel-Churio, J. O. y Saavedra-Mora, D. (2020). Los sistemas agroforestales y la incidencia sobre el estatus hídrico en árboles de cacao. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 19(1), 255-267. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(19\)256-267](https://doi.org/10.18684/BSAA(19)256-267)
- Pabón, M.; Herrera-Roa, L. y Sepúlveda, W. (2016). Caracterización socio-económica y productiva del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia). *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38(1), 283-294. <https://www.redalyc.org/journal/141/14146082001/html/>
- Quintana Fuentes, L. F.; García Jerez, A. y Moreno Martínez, E. (2018). Perfil sensorial de cuatro modelos de siembra de cacao en Colombia. *Entramado*, 14(2), 256-268. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4756>
- Quintero Durán, R.; García Sánchez, A.; Cortés Lombana, A.; Muñoz Arboleda, F.; Torres Aguas, J.; Carbonell González, J. y Osorio Murillo, C. (2008). *Grupos homogéneos de suelos del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (segunda aproximación)*. Cali: Cenicaña. https://www.cenicana.org/pdf_privado/serie_tecnica/st_37/st_37.pdf
- Rodrigues-Donato, S.; Borém, A. y Viela-Rodrigues, M. (Eds.) (2021). *Banana: do plantio a colheita*. Belo Horizonte: Epamig. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222707/1/Manejodepragas-Bananadoplantioacolheita-1.pdf>
- Rojas, F. y Sacristán Sánchez, E. J. (2013). *Guía ambiental para el cultivo de cacao* (2.ª ed.). MinAgricultura y Fedecacao. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/11622>