

Monitoreo computarizado y análisis agroforestal del cacao como estrategia de sostenibilidad ante el cambio climático

## Computerized monitoring and agroforestry analysis of cocoa as a sustainability strategy against climate change

Ender Antonio Iñiguez Freites<sup>1\*</sup>, Ezequiel Echevarría Zamora<sup>2</sup>, Agripina Ramírez Sánchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vicerrectorado de Investigación y Posgrado, Universidad Católica del Cibao (UCATECI), La Vega, República Dominicana. <https://www.ucateci.edu.do/>

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Biológicas y Naturales, Pontificia Universidad Católica Madre Maestra (PUCMM), Santo Domingo, República Dominicana.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), Santo Domingo, República Dominicana

✉ [einiguez@ucateci.edu.do](mailto:einiguez@ucateci.edu.do)

| ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9609-8898>

✉ [e.echevarria@ce.pucmm.edu.do](mailto:e.echevarria@ce.pucmm.edu.do)

| ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8203-5413>

✉ [agripinars@gmail.com](mailto:agripinars@gmail.com)

| ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0140-152X>

E-mail de correspondencia: [einiguez@ucateci.edu.do](mailto:einiguez@ucateci.edu.do)

### Serie Monográfica

Glebe.

e-ISSN: 3103-1234

Vol. 2(1) enero - abril 2026

Desafíos de la sociedad contemporánea

ISBN: 978-9942-7391-9-3

### Editor académico

Carlos Vásquez

Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.

### Tipo de revisión

Capítulo de libro revisado por dos pares expertos en modalidad doble ciego.

### Como citar este capítulo

Iñiguez Freites, E. A., Echevarría Zamora, E., & Ramírez Sánchez, A. (2026). Monitoreo computarizado y análisis agroforestal del cacao como estrategia de sostenibilidad ante el cambio climático. En Serie Glebe (Vol. 2, Núm. 1, Cap. 1, e1).

<https://doi.org/10.63804/gb.v2i1.e1>

### Resumen

La sostenibilidad de la producción de cacao representa un desafío estratégico frente al cambio climático y la presión sobre los recursos naturales en sistemas agroforestales tropicales. La adopción de enfoques que integren tecnologías de monitoreo con prácticas agroecológicas se perfila como una alternativa para fortalecer la resiliencia productiva y ambiental. Este estudio diseñó y evaluó un modelo de monitoreo computarizado y análisis agroforestal aplicado a diez fincas asociadas a la Coordinadora Nacional de Cacaocultores Dominicanos (CONACADO). Se empleó un enfoque cuantitativo complementado con herramientas de análisis geoespacial, monitoreo digital de variables biofísicas y evaluación agroecológica participativa. El modelo integró diagnóstico agroecológico, capacitación técnica, implementación de prácticas de manejo agroforestal

**Copyright**

© 2026 Los autores. Este es un capítulo de libro de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International ([CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)). Se autoriza el uso, distribución y reproducción de este contenido en cualquier medio, de forma irrestricta, siempre que se otorgue el crédito a los autores originales y se cite debidamente la fuente primaria de publicación.

**Recibido:** 11 de noviembre de 2025  
**Revisado:** 18 de diciembre de 2025  
**Aceptado:** 20 de abril de 2026  
**Publicado:** 28 de abril de 2026

sostenible y monitoreo sistemático de indicadores de productividad, calidad del grano, fertilidad del suelo y biodiversidad funcional. Durante el segundo año de implementación, la productividad del cacao aumentó un 12 %, mientras que el contenido de materia orgánica del suelo creció un 15 %, reflejando mejoras significativas en la fertilidad edáfica. Asimismo, se registró un incremento en la diversidad de especies asociadas al sistema agroforestal. En términos de percepción, el 80 % de los productores valoró positivamente el modelo, destacando beneficios económicos, sociales y ambientales derivados de la adopción de prácticas agroecológicas apoyadas en tecnologías de monitoreo. Los hallazgos confirman la viabilidad técnica y la pertinencia del monitoreo computarizado como estrategia para optimizar la gestión sostenible del cacao. La integración de tecnologías digitales con enfoques agroecológicos constituye una alternativa eficaz para mejorar la sostenibilidad ambiental, fortalecer la resiliencia climática y promover prácticas productivas más sostenibles en sistemas cacaoteros tropicales.

**Palabras clave:** agroforestería; sostenibilidad ambiental; productividad agrícola; biodiversidad; cambio climático.

## ABSTRACT

The sustainability of cocoa production represents a strategic challenge in the face of climate change and pressure on natural resources in tropical agroforestry systems. The adoption of approaches that integrate monitoring technologies with agroecological practices emerges as an alternative to strengthen both productive and environmental resilience. This study designed and evaluated a computerized monitoring and agroforestry analysis model applied to ten farms associated with the National Coordinating Body of Dominican Cocoa Producers (CONACADO). A quantitative approach was used, complemented by geospatial analysis tools, digital monitoring of biophysical variables, and participatory agroecological evaluation. The model integrated agroecological diagnosis, technical training, implementation of sustainable agroforestry practices, and systematic monitoring of productivity indicators, cocoa bean quality, soil fertility, and functional biodiversity. During the second year of implementation, cocoa productivity increased by 12 %, while soil organic matter content rose by 15 %, indicating significant improvements in soil fertility. Additionally, an increase in the diversity of species associated with the agroforestry system was recorded. Regarding perception, 80 % of the producers positively valued the model, highlighting economic, social, and environmental benefits derived from adopting agroecological practices supported by digital monitoring tools. The findings confirm the technical feasibility and relevance of computerized monitoring as a strategy to optimize sustainable cocoa management. The integration of digital technologies with agroecological approaches constitutes an effective alternative to improve environmental sustainability, strengthen climate resilience, and promote more sustainable production practices in tropical cocoa systems.

**Keywords:** agroforestry; environmental sustainability; agricultural productivity; biodiversity; climate change.

## INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola constituye uno de los principales desafíos para el desarrollo rural en el contexto del cambio climático y la degradación progresiva de los recursos naturales. Entre los cultivos tropicales de mayor relevancia económica, social y ambiental se encuentra el cacao (*Theobroma cacao* L.), cuya producción sustenta los medios de vida de aproximadamente cinco a seis millones de pequeños productores a nivel mundial, distribuidos principalmente en América Latina, África y Asia [1]. Este cultivo no solo representa una fuente estratégica de ingresos para comunidades rurales, sino que

también desempeña un papel clave en la conservación de paisajes agroforestales biodiversos y en la provisión de servicios ecosistémicos asociados a la regulación climática, la fertilidad del suelo y la biodiversidad funcional.

En este escenario, la República Dominicana ocupa una posición destacada en el mercado internacional al consolidarse como el principal productor y exportador de cacao orgánico certificado, concentrando aproximadamente el 60 % del volumen global de exportaciones de este tipo de cacao y generando ingresos anuales estimados en más de 180 millones de dólares [2]. Esta posición se sustenta en condiciones agroecológicas favorables, una tradición productiva centenaria y la organización de más de 40,000 familias productoras integradas en cooperativas y asociaciones, entre las que destaca la Confederación Nacional de Cacaocultores Dominicanos (CONACADO), organización que agrupa a miles de productores bajo esquemas de comercio justo y certificación orgánica [3]. Además, el sector cacaotero genera empleo directo e indirecto para cerca de 200,000 personas en zonas rurales, contribuyendo de manera significativa a la reducción de la pobreza rural, la seguridad alimentaria y el mantenimiento de sistemas agroforestales de alta diversidad biológica en regiones montañosas de elevada vulnerabilidad socioeconómica [4].

No obstante, a pesar de su importancia estratégica, la cacaocultura dominicana enfrenta desafíos estructurales asociados a la variabilidad climática, la degradación del suelo, la baja adopción de tecnologías de monitoreo productivo y la limitada integración de enfoques agroecológicos sistematizados en los procesos de manejo del cultivo [5]. Estas limitaciones inciden en la estabilidad productiva de las fincas, reducen la eficiencia en el uso de los recursos naturales y comprometen la capacidad de adaptación del sector ante escenarios de cambio climático. En respuesta a estas problemáticas, los sistemas agroforestales de cacao basados en principios agroecológicos han emergido como una alternativa viable para mejorar simultáneamente la productividad, la resiliencia climática y la sostenibilidad ambiental de las plantaciones.

Sin embargo, a pesar de la creciente evidencia científica sobre los beneficios de la agroecología en sistemas cacaoteros, persisten vacíos de conocimiento que dificultan su implementación a gran escala. Entre estos destacan la ausencia de modelos de transición agroecológica contextualizados a las condiciones edafoclimáticas y socioeconómicas locales, la limitada evaluación integral de indicadores productivos, ambientales y sociales durante los procesos de conversión, la escasa comprensión de las dinámicas temporales que caracterizan las etapas de transición productiva y la insuficiente identificación de los factores

sociotécnicos que condicionan la adopción de prácticas agroecológicas por parte de los productores [6].

En este contexto, el desarrollo de herramientas de monitoreo computarizado y análisis agroforestal se presenta como una estrategia innovadora para generar información sistemática sobre el desempeño productivo y ecológico de los sistemas cacaoteros, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencia. La integración de tecnologías digitales, análisis geoespacial y metodologías participativas permite evaluar de manera simultánea variables relacionadas con la productividad del cultivo, la fertilidad del suelo, la biodiversidad funcional y la percepción de los productores durante los procesos de transición hacia modelos productivos más sostenibles.

En consecuencia, el presente estudio tuvo como objetivo diseñar, implementar y evaluar un modelo piloto de monitoreo computarizado y conversión agroecológica en plantaciones de cacao asociadas a CONACADO, integrando dimensiones productivas, ambientales y sociales dentro de un enfoque de investigación participativa. La generación de evidencia empírica sobre la viabilidad y los impactos de este modelo contribuye al fortalecimiento de estrategias de sostenibilidad para el sector cacaotero dominicano y proporciona un marco metodológico replicable para procesos de transición agroecológica en sistemas agroforestales tropicales.

## METODOLOGÍA

### Enfoque, alcance y diseño de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, sustentado en la recolección sistemática y el análisis estadístico de variables biofísicas, productivas y socioambientales asociadas a sistemas agroforestales de cacao. Este enfoque permitió evaluar de manera objetiva los efectos derivados de la implementación de prácticas agroecológicas y del monitoreo computarizado mediante indicadores medibles relacionados con la productividad agrícola, la calidad del grano, la fertilidad del suelo y la biodiversidad funcional. De esta manera, se buscó reducir sesgos derivados de interpretaciones subjetivas y garantizar la reproducibilidad de los resultados mediante la aplicación de protocolos técnicos estandarizados y procedimientos analíticos rigurosos [7].

Dentro de este marco metodológico, la investigación se centró en el análisis de unidades productivas cacaoteras, considerando la finca como la unidad principal de observación. Los factores productivos y ambientales fueron tratados como

variables observables y cuantificables, evaluadas mediante indicadores técnicos de rendimiento agrícola, propiedades edáficas y diversidad biológica. Este tratamiento permitió transformar las observaciones de campo en bases de datos estructuradas, posteriormente analizadas mediante herramientas estadísticas orientadas a identificar patrones de comportamiento e interacciones entre variables dentro del sistema agroforestal.

El estudio adoptó un diseño cuasi experimental de tipo longitudinal, que permitió evaluar la evolución temporal de los sistemas productivos durante un período de veinticuatro meses de implementación del modelo agroecológico y del sistema de monitoreo computarizado. Este diseño contempló tres momentos principales de evaluación: línea base inicial, evaluación intermedia y evaluación final, lo que permitió comparar los cambios observados en los indicadores productivos y ambientales a lo largo del proceso de intervención.

A diferencia de los diseños experimentales controlados, el estudio se desarrolló en condiciones reales de producción agrícola, sin manipulación artificial del entorno productivo. Este enfoque permitió analizar el comportamiento del sistema agroforestal bajo condiciones naturales de manejo por parte de los productores, lo cual incrementa la validez ecológica y la aplicabilidad práctica de los resultados obtenidos.

El flujo general del diseño metodológico aplicado se presenta en la Figura 1, donde se describen las principales etapas del proceso investigativo, desde el diagnóstico inicial de las fincas hasta la evaluación final del modelo agroecológico.



**Figura 1.** Diagrama del diseño metodológico.

**Nota.** Se muestran las fases principales del proceso de investigación: diagnóstico agroecológico inicial, diseño participativo de manejo, implementación de prácticas sostenibles y monitoreo de indicadores productivos y ambientales.

Finalmente, el alcance del estudio puede clasificarse como correlacional, explicativo y aplicado, ya que busca identificar asociaciones entre la implementación de prácticas agroecológicas, el uso de herramientas de monitoreo digital y los cambios observados en variables productivas, edáficas y ecológicas. El propósito central del estudio se sitúa dentro del campo de la investigación aplicada, orientada al desarrollo de modelos de gestión sostenible replicables en sistemas cacaoteros tropicales [8].

### Población y área de estudio

El estudio se desarrolló en la región cacaotera central de la República Dominicana, específicamente en zonas productoras localizadas en las provincias de Duarte y Sánchez Ramírez, territorios caracterizados por una larga tradición agrícola vinculada al cultivo de cacao orgánico.

Estas regiones presentan condiciones agroecológicas favorables para el desarrollo de sistemas agroforestales de cacao, con altitudes comprendidas entre 150 y 450 metros sobre el nivel del mar, precipitaciones anuales entre 1.800 y 2.200 mm, y temperaturas medias entre 24 °C y 27 °C [9].

Los suelos predominantes corresponden principalmente a Inceptisoles y Ultisoles con textura franco-arcillosa, caracterizados por una adecuada capacidad de retención de humedad y niveles moderados de fertilidad natural, condiciones que favorecen el establecimiento de sistemas agroforestales diversificados.

La localización geográfica de las fincas incluidas en el estudio se presenta en la Figura 2, donde se muestra la distribución espacial de las unidades productivas analizadas dentro de la región cacaotera.

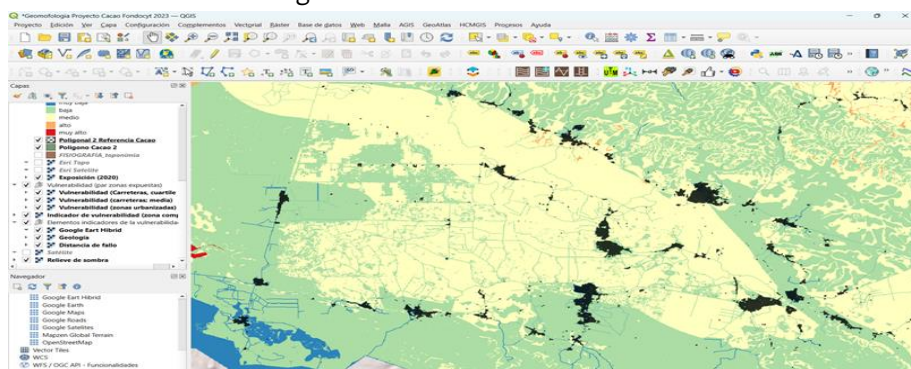


Figura 2. Mapa de la zona cacaotera estudiada.

**Nota.** Se muestra la localización de las fincas piloto incluidas en el estudio dentro de las provincias de Duarte y Sánchez Ramírez, procesada mediante el software QGIS.

La población de estudio estuvo constituida por fincas cacaoteras pertenecientes a productores asociados a la Coordinadora Nacional de Cacaocultores Dominicanos (CONACADO). A partir de un diagnóstico participativo inicial se seleccionaron diez fincas piloto, las cuales cumplían criterios técnicos específicos como superficie mínima cultivada, presencia de sistemas agroforestales con árboles de sombra y disposición de los productores para participar durante todo el período de investigación.

Las principales características estructurales de las fincas seleccionadas se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características de las fincas incluidas en el estudio.

Variable	Valor promedio
Número de fincas piloto	10
Superficie agrícola	2 - 10 ha
Edad del cultivo	8 - 20 años
Sistema productivo	Agroforestal orgánico
Altitud	150 - 450 msnm

### **Procedimiento de implementación del modelo agroecológico**

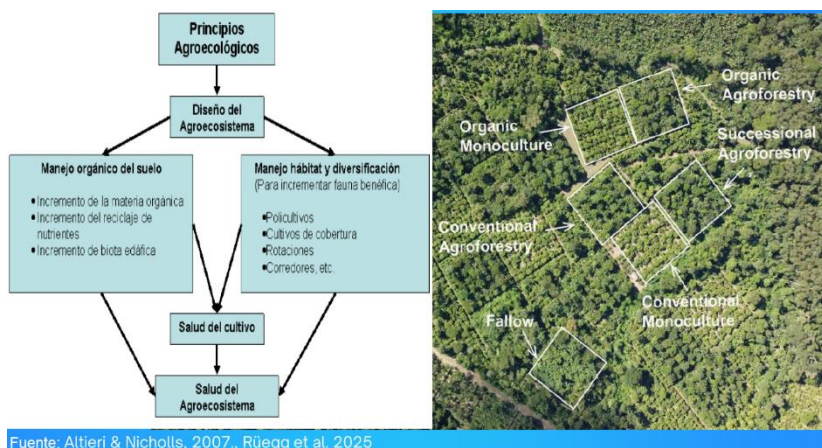
El modelo de manejo agroecológico fue diseñado a partir de principios científicos de agroecología, manejo sostenible del suelo y gestión de sistemas agroforestales tropicales. Su implementación se desarrolló mediante un enfoque participativo que integró conocimientos técnicos con saberes tradicionales de los productores, lo cual permitió adaptar las prácticas de manejo a las condiciones específicas de cada unidad productiva [10].

El proceso de implementación se estructuró en cuatro fases operativas principales:

1. Diagnóstico agroecológico inicial
2. Diseño participativo de planes de manejo
3. Implementación de prácticas agroecológicas

#### 4. Monitoreo computarizado de indicadores productivos y ambientales

Estas etapas se ilustran en la Figura 3, donde se presenta el modelo conceptual del sistema agroforestal implementado durante la investigación.



**Figura 3.** Modelo agroecológico del sistema productivo de cacao.

**Nota.** El esquema muestra la integración de componentes productivos, ambientales y tecnológicos dentro del sistema agroforestal.

Durante la fase de implementación se promovieron diversas prácticas orientadas a mejorar la sostenibilidad del sistema productivo. Entre las principales acciones desarrolladas se incluyeron:

- Manejo sostenible del suelo mediante coberturas vegetales.
- Producción de compost y biofertilizantes.
- Diversificación del sistema agroforestal mediante introducción de especies arbóreas de sombra.
- Manejo integrado de plagas y enfermedades con énfasis en métodos biológicos.

Las principales prácticas implementadas se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Prácticas agroecológicas implementadas en las fincas piloto.

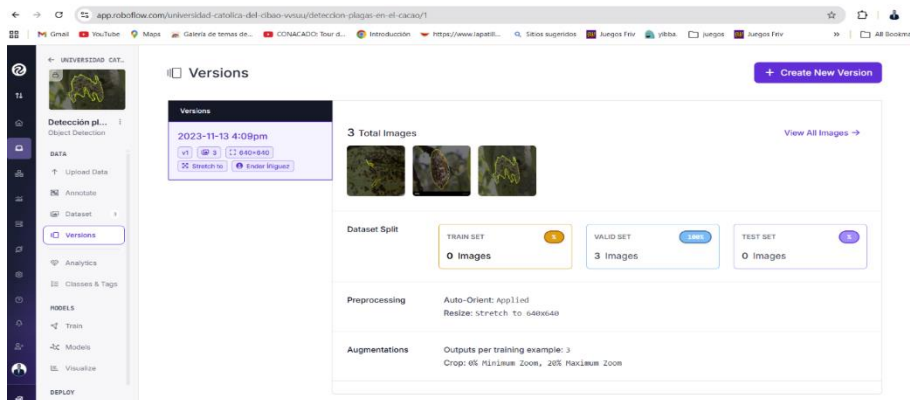
Categoría	Prácticas implementadas
Manejo del suelo	Compostaje, biofertilizantes, cobertura vegetal
Diversificación	Introducción de especies arbóreas de sombra
Control fitosanitario	Manejo integrado de plagas
Manejo del cultivo	Podas sanitarias y renovación genética

**Sistema de monitoreo computarizado del cultivo**

Como parte del proceso de innovación tecnológica del estudio, se implementó un sistema de monitoreo computarizado basado en inteligencia artificial, orientado al registro, análisis y detección temprana de variables fitosanitarias y productivas del cultivo [11].

El sistema integró herramientas de visión computacional entrenadas mediante RoboFlow y el modelo de detección de objetos YOLOv8, lo que permitió identificar insectos plaga presentes en las mazorcas de cacao a partir de imágenes capturadas mediante cámaras digitales instaladas en las fincas piloto. Las imágenes recolectadas fueron utilizadas para entrenar modelos de detección automática, generando inferencias predictivas que apoyaron el monitoreo fitosanitario del sistema productivo.

La arquitectura conceptual del sistema se presenta en la Figura 4, donde se ilustra el flujo de captura de datos, entrenamiento del modelo de inteligencia artificial, análisis computacional e interpretación de resultados.



**Figura 4.** Esquema del sistema de monitoreo computarizado (RoboFlow YOLOv8) aplicado al análisis agroforestal del cacao.

**Nota.** El sistema integra herramientas digitales de registro y entrenamiento, análisis de datos y detección computarizada de insectos plaga sobre mazorcas de cacao.

### **Evaluación de indicadores productivos y ambientales**

Para evaluar el desempeño productivo de los sistemas cacaoteros se estableció un sistema de monitoreo continuo de la producción en cada finca piloto. Los productores registraron periódicamente información relacionada con:

- Número de mazorcas cosechadas.
- Peso de cacao fresco.
- Producción final de cacao seco después de fermentación y secado.

A partir de estos registros se calcularon indicadores de rendimiento expresados en kilogramos de cacao seco por hectárea por año, lo que permitió analizar la evolución productiva de las plantaciones durante el período de estudio.

Adicionalmente, se evaluaron indicadores de calidad del grano mediante análisis físicos que incluyeron determinaciones de peso de cien granos, índice de fermentación y contenido de humedad.

Las principales variables productivas evaluadas se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Indicadores productivos analizados.

<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>
Producción de cacao seco	kg/ha/año
Número de mazorcas	unidades/árbol
Peso de cien granos	g
Índice de fermentación	%

De forma paralela, se realizaron análisis de suelo mediante muestreos sistemáticos, con el objetivo de evaluar cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Entre las variables analizadas se incluyeron pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible.

Asimismo, se evaluó la biodiversidad funcional del sistema agroforestal mediante censos de especies arbóreas asociadas, así como registros de fauna y artrópodos presentes en las fincas piloto.

### Análisis estadístico

Los datos cuantitativos obtenidos durante el proceso de investigación fueron procesados mediante procedimientos estadísticos utilizando el software R [12].

Inicialmente se realizaron análisis descriptivos para caracterizar la distribución de las variables productivas, edáficas y ecológicas. Posteriormente se aplicaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza, con el fin de determinar la pertinencia del uso de métodos paramétricos o no paramétricos.

Los cambios temporales en variables productivas y ambientales fueron evaluados mediante análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA), lo que permitió comparar los resultados obtenidos en los distintos momentos de evaluación. De manera complementaria se aplicaron análisis de correlación y técnicas multivariadas, como el análisis de componentes principales, para identificar patrones de interacción entre variables productivas, ambientales y agroecológicas dentro del sistema agroforestal.

El flujo general del procesamiento estadístico de los datos se presenta en la Figura 5.



Figura 5. Flujo de análisis estadístico de los datos.

**Nota.** El proceso incluye las etapas de organización de la base de datos, depuración de información, análisis descriptivo, pruebas de hipótesis y análisis multivariado.

### **Consideraciones éticas**

Todos los productores participantes fueron informados previamente sobre los objetivos, procedimientos y alcances del estudio antes del inicio de las actividades de investigación, otorgando su consentimiento voluntario para participar en el proceso.

Asimismo, se garantizó la confidencialidad de la información recopilada, así como el acceso de los productores a los resultados obtenidos. El estudio se desarrolló bajo principios de investigación participativa y ética en el trabajo con comunidades rurales, reconociendo el valor del conocimiento tradicional de los agricultores y promoviendo la co-construcción de soluciones sostenibles para el fortalecimiento de la cacaocultura.

## **RESULTADOS**

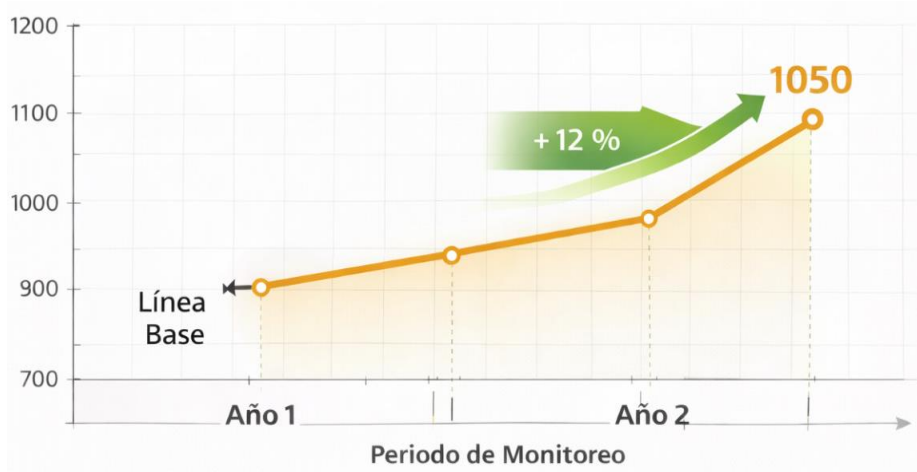
Los resultados obtenidos a partir de la implementación del modelo de monitoreo computarizado y análisis agroforestal permitieron evaluar de manera integral el impacto de las prácticas agroecológicas introducidas en las fincas piloto. El análisis se centró en indicadores clave de sostenibilidad productiva, incluyendo productividad del cultivo, calidad del suelo, biodiversidad funcional y percepción de los productores. En este sentido, los hallazgos cuantitativos se complementan con una interpretación cualitativa de su impacto en la resiliencia de los sistemas cacaoteros frente a los efectos del cambio climático. La discusión integra la evidencia empírica generada con reportes recientes de la literatura científica sobre agroforestería y agricultura sostenible en sistemas tropicales.

### **Evaluación de la productividad del cultivo de cacao**

En relación con el desempeño productivo del sistema agroforestal, los resultados evidenciaron una mejora progresiva en la productividad de las fincas participantes a partir de la implementación del modelo de manejo sostenible. Como se observa en la Figura 6, el rendimiento promedio de cacao seco por hectárea mostró una tendencia ascendente durante el periodo de monitoreo.

Durante el primer año de implementación se registró una estabilización productiva asociada al proceso de adaptación del sistema agroforestal y la incorporación de nuevas prácticas de manejo. Sin embargo, en el segundo año se observó un incremento promedio del 12 % en la productividad del cultivo, lo cual sugiere que las estrategias agroecológicas implementadas contribuyeron a mejorar la eficiencia del sistema productivo.

La gráfica 6 muestra el rendimiento promedio (kg/ha) registrado durante los dos años de implementación del modelo agroforestal sostenible.



**Figura 6.** Evolución de la productividad del cacao en fincas piloto durante el periodo de monitoreo.

Este comportamiento coincide con investigaciones previas que indican que los sistemas agroforestales diversificados pueden mejorar la productividad del cacao al optimizar el microclima del cultivo, reducir el estrés hídrico y favorecer la eficiencia en el uso de nutrientes [13]. Además, la presencia de especies arbóreas de sombra contribuye a regular la temperatura y humedad del sistema, factores determinantes para la estabilidad productiva en escenarios de variabilidad climática.

### **Mejora en la fertilidad del suelo**

Otro de los indicadores evaluados fue la evolución de la fertilidad del suelo en las fincas piloto. Los análisis fisicoquímicos realizados antes y después de la

implementación del modelo agroecológico evidenciaron mejoras significativas en los niveles de materia orgánica y en la capacidad de retención de nutrientes.

Como se presenta en la Tabla 4, el contenido de materia orgánica del suelo aumentó aproximadamente 15 % durante el periodo de estudio, lo cual refleja el impacto positivo de prácticas como el uso de abonos orgánicos, cobertura vegetal permanente y reciclaje de residuos vegetales.

**Tabla 4.** Indicadores de fertilidad del suelo antes y después de la implementación del modelo agroforestal.

<b>Indicador</b>	<b>Situación inicial</b>	<b>Segundo año</b>
Materia orgánica (%)	2,3	2,6
Retención de humedad (%)	41	49
Actividad biológica del suelo	Media	Alta

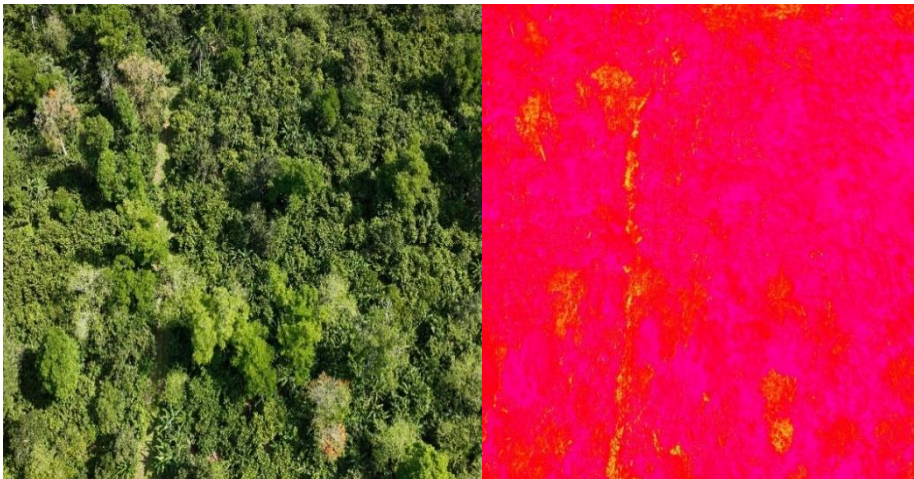
*Nota.* Valores promedio obtenidos a partir de análisis de suelo realizados en las fincas piloto.

El incremento en la materia orgánica constituye un indicador clave de restauración ecológica, ya que mejora la estructura del suelo, favorece la actividad microbiana y aumenta la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo [14]. En sistemas agroforestales tropicales, la acumulación de biomasa vegetal y hojarasca contribuye significativamente al mantenimiento de ciclos biogeoquímicos estables.

### **Diversidad vegetal y estructura del sistema agroforestal**

Uno de los objetivos principales del modelo implementado fue fortalecer la biodiversidad funcional dentro de las plantaciones de cacao. Los resultados obtenidos evidencian un incremento notable en la diversidad de especies vegetales presentes en las parcelas evaluadas.

Como se muestra en la Figura 7, el sistema agroforestal diversificado incorporó especies frutales, maderables y de sombra que contribuyen a mejorar la estabilidad ecológica del agroecosistema.



**Figura 7. Diversidad de especies vegetales asociadas al sistema agroforestal de cacao.**

**Nota.** Se muestra un aumento en la diversidad estructural del sistema productivo tras la implementación de prácticas agroecológicas. Fuente: Imagen RGB capturada con el Dron DJI Mavic 3 Multispectral.

La diversificación vegetal cumple múltiples funciones ecológicas dentro del sistema productivo. Entre ellas destacan la regulación del microclima, la protección contra la erosión del suelo y el aumento del hábitat disponible para organismos benéficos que contribuyen al control biológico de plagas. Diversos estudios han demostrado que los sistemas agroforestales de cacao con mayor diversidad estructural presentan una mayor resiliencia frente a eventos climáticos extremos y una mejor estabilidad productiva a largo plazo [15].

### **Percepción de los productores y aceptación del modelo**

La aceptación social del modelo agroecológico fue evaluada mediante encuestas aplicadas a los productores participantes en el proyecto. Los resultados evidencian una valoración positiva del sistema de monitoreo computarizado y de las prácticas agroforestales implementadas.

Como se presenta en la Tabla 5, aproximadamente el 80 % de los productores expresó una percepción favorable respecto a la utilidad del modelo, destacando beneficios relacionados con la mejora del suelo, la reducción de costos en insumos agrícolas y el incremento en la productividad del cultivo.

**Tabla 5.** Percepción de los productores sobre la implementación del modelo de monitoreo agroforestal.

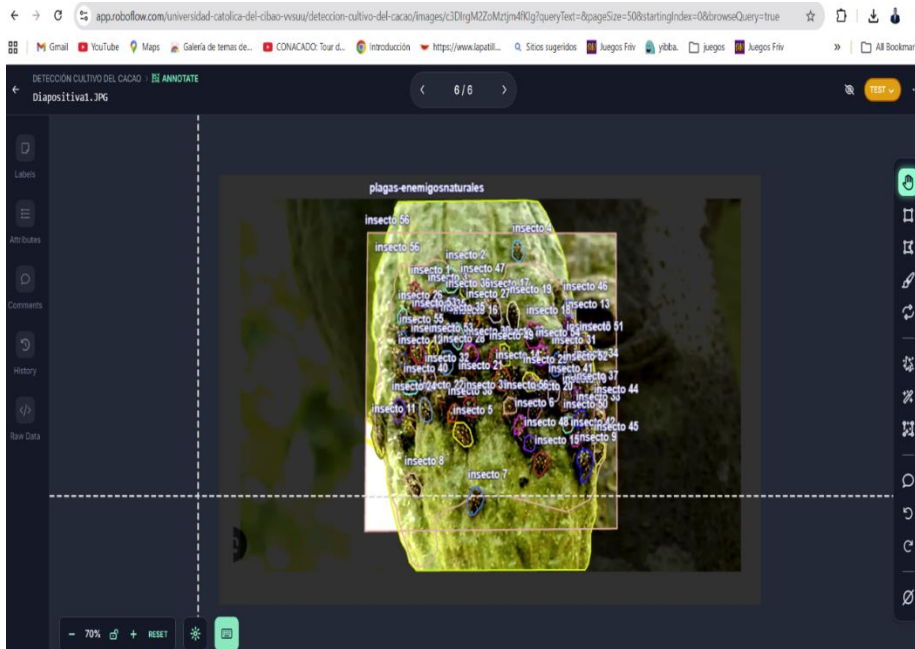
Indicador evaluado	Porcentaje de productores
Considera el sistema más sostenible	82 %
Percibe mejora en la fertilidad del suelo	78 %
Observa incremento en productividad	76 %
Valora positivamente el monitoreo digital	80 %

**Nota.** Resultados de las encuestas estructuradas aplicadas a los productores participantes.

La alta aceptación del modelo puede atribuirse a su enfoque participativo, el cual integró capacitación técnica, acompañamiento agronómico y herramientas de monitoreo digital accesibles para los agricultores. Investigaciones recientes destacan que la adopción de prácticas agroecológicas depende en gran medida de la percepción de beneficios tangibles por parte de los productores, así como del acceso a asistencia técnica continua [16].

### Integración de tecnologías de monitoreo y sostenibilidad agrícola

Uno de los aportes más relevantes del presente estudio radica en la integración de herramientas computarizadas de monitoreo con enfoques agroecológicos aplicados al manejo del cultivo de cacao. La incorporación de tecnologías de análisis geoespacial, junto con sistemas de registro digital de indicadores productivos y ambientales, permitió generar información precisa y actualizada para apoyar la toma de decisiones en las fincas piloto evaluadas. En este contexto, la Figura 8 presenta el esquema del sistema de monitoreo computarizado basado en RoboFlow y YOLOv8, aplicado al análisis agroforestal del cacao. Este sistema integra herramientas digitales para el registro y entrenamiento de datos, el procesamiento y análisis de información, así como la detección computarizada de insectos plaga sobre mazorcas de cacao, lo que facilita la identificación temprana de problemas fitosanitarios y contribuye a mejorar la gestión sostenible del sistema productivo.



**Figura 8.** Esquema del sistema de monitoreo computarizado (RoboFlow Yolo V8) aplicado al análisis agroforestal del cacao.

**Nota.** El sistema integra herramientas digitales de registro y entrenamiento, análisis de datos y detección computarizada de insectos plagas sobre una mazorca de cacao.

Este enfoque coincide con tendencias emergentes en la agricultura sostenible, donde la digitalización del monitoreo agrícola permite mejorar la gestión de recursos y optimizar la productividad sin comprometer la integridad ecológica del sistema [17]. En contextos tropicales vulnerables al cambio climático, el uso de tecnologías de monitoreo puede contribuir significativamente a fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidenciaron que la implementación de un modelo de monitoreo computarizado integrado con prácticas agroecológicas puede generar mejoras significativas en la sostenibilidad de los sistemas agroforestales de cacao. Los cambios observados en productividad, fertilidad del suelo, biodiversidad funcional y percepción de los productores confirman la pertinencia de combinar herramientas tecnológicas con

enfoques ecológicos de manejo agrícola. Estos hallazgos se alinean con investigaciones recientes que destacan el potencial de los sistemas agroforestales para aumentar simultáneamente la resiliencia climática y la estabilidad productiva en cultivos tropicales [18].

En relación con la productividad del cultivo, el incremento del 12 % observado durante el segundo año de implementación sugiere que las prácticas agroecológicas introducidas contribuyeron a mejorar las condiciones fisiológicas y ecológicas del sistema productivo. Estudios previos han demostrado que los sistemas agroforestales de cacao pueden incrementar la eficiencia del uso de nutrientes y mejorar el microclima del cultivo, factores que favorecen el desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas [19]. Asimismo, la presencia de árboles de sombra contribuye a reducir el estrés térmico e hídrico, condiciones que se vuelven cada vez más relevantes en escenarios de variabilidad climática [20].

Desde la perspectiva edáfica, el aumento del contenido de materia orgánica del suelo constituye uno de los indicadores más relevantes de recuperación ecológica del agroecosistema. La materia orgánica desempeña un papel fundamental en la estructura del suelo, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo [21]. En sistemas agroforestales tropicales, la acumulación de hojarasca y biomasa vegetal favorece la formación de agregados estables y el desarrollo de comunidades microbianas activas, lo que contribuye a mejorar los procesos de ciclado de nutrientes y la fertilidad natural del suelo. Estos resultados coinciden con estudios que señalan que la adopción de prácticas agroecológicas como el compostaje, la cobertura vegetal y el reciclaje de residuos orgánicos puede aumentar significativamente el carbono orgánico del suelo y mejorar la sostenibilidad productiva a largo plazo [22].

Por otra parte, el incremento observado en la diversidad de especies vegetales dentro de las fincas piloto evidencia el papel clave de la diversificación agroforestal en la estabilidad ecológica de los sistemas cacaoteros. La incorporación de especies frutales, maderables y de sombra no solo contribuye a diversificar las fuentes de ingreso de los productores, sino que también fortalece los servicios ecosistémicos asociados al sistema productivo, tales como la regulación del microclima, la protección del suelo y el mantenimiento de hábitats para organismos benéficos [23]. Investigaciones realizadas en sistemas agroforestales de cacao en América Latina han demostrado que una mayor

diversidad estructural se asocia con una mayor resiliencia frente a eventos climáticos extremos y una reducción en la incidencia de plagas y enfermedades [24].

Otro aspecto relevante identificado en el estudio es la alta aceptación del modelo por parte de los productores participantes. Aproximadamente el 80 % de los agricultores valoró positivamente la implementación del sistema de monitoreo y las prácticas agroecológicas promovidas. Este resultado confirma la importancia del enfoque participativo en procesos de innovación agrícola, ya que la adopción de nuevas prácticas depende en gran medida de la percepción de beneficios tangibles por parte de los productores y de la disponibilidad de acompañamiento técnico durante el proceso de transición productiva [25]. La integración del conocimiento local con herramientas tecnológicas accesibles facilitó la apropiación del modelo por parte de las comunidades rurales y aumenta las probabilidades de sostenibilidad a largo plazo.

Asimismo, uno de los aportes más innovadores del presente estudio radicó en la incorporación de herramientas de monitoreo computarizado basadas en inteligencia artificial para el análisis fitosanitario del cultivo. La aplicación de modelos de visión computacional como RoboFlow YOLOv8 permitió desarrollar un sistema de detección temprana de insectos plaga a partir de imágenes capturadas en campo, lo cual representa un avance significativo en la digitalización del monitoreo agrícola. Este tipo de tecnologías forma parte de las tendencias emergentes en agricultura inteligente, donde el uso de sensores, análisis de datos y modelos predictivos permite optimizar la gestión productiva sin aumentar la presión sobre los recursos naturales [26].

En conjunto, los resultados obtenidos refuerzan la idea de que la sostenibilidad de la cacaocultura tropical dominicana depende de la integración de múltiples dimensiones del sistema productivo, incluyendo factores ecológicos, tecnológicos y sociales. La evidencia empírica generada en este estudio demuestra que la combinación de prácticas agroecológicas con herramientas digitales de monitoreo puede mejorar simultáneamente la productividad agrícola, la salud del suelo y la biodiversidad del agroecosistema.

Finalmente, los hallazgos del estudio sugieren que el modelo propuesto posee un alto potencial de replicabilidad en otras regiones cacaoteras con condiciones agroecológicas similares. No obstante, futuras investigaciones deberán ampliar la

escala de análisis e incorporar periodos de monitoreo más prolongados con el fin de evaluar los efectos a largo plazo de la transición agroecológica y del uso de tecnologías de monitoreo digital en la sostenibilidad de los sistemas agroforestales de cacao.

### **Limitaciones y perspectivas futuras**

Es necesario reconocer las limitaciones inherentes al presente estudio. Una de las principales restricciones se relaciona con el tamaño de la muestra y el alcance territorial de la investigación, ya que el análisis se realizó en un conjunto de diez fincas piloto ubicadas en regiones específicas de producción cacaotera. Si bien estos sistemas representan condiciones agroecológicas típicas de la cacaocultura dominicana, la variabilidad ambiental, edáfica y productiva presente en otras zonas tropicales podría generar comportamientos diferentes en los indicadores evaluados. Asimismo, parte de la información productiva utilizada en el análisis fue registrada por los propios productores mediante sistemas de monitoreo participativo, lo que podría introducir ligeras variaciones asociadas a procesos de registro manual o diferencias en la periodicidad de los datos recopilados. Investigaciones previas han señalado que los sistemas de monitoreo participativo pueden presentar variaciones en la precisión de los registros, especialmente en contextos de agricultura familiar donde las capacidades técnicas y los recursos disponibles pueden ser heterogéneos.

Adicionalmente, aunque la integración de herramientas de monitoreo computarizado y modelos de visión artificial, como los sistemas basados en RoboFlow y YOLOv8, mostró un alto potencial para apoyar el análisis agroforestal y la detección temprana de plagas, su implementación depende de la disponibilidad de infraestructura tecnológica, conectividad y procesos de capacitación técnica para los productores. En este sentido, el sistema propuesto debe ser entendido como una herramienta de apoyo para la gestión agrícola, y no como un sustituto del conocimiento agronómico especializado ni de los procesos de diagnóstico técnico realizados por extensionistas y especialistas en sanidad vegetal.

En cuanto a las perspectivas futuras, se recomienda ampliar el alcance de la investigación mediante la incorporación de un mayor número de fincas y regiones productoras, lo que permitiría validar la robustez del modelo agroecológico y del

sistema de monitoreo digital en diferentes contextos ambientales. Asimismo, futuras investigaciones podrían profundizar en la integración de sensores ambientales, tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y modelos predictivos basados en inteligencia artificial para fortalecer los sistemas de alerta temprana frente a plagas, enfermedades y variabilidad climática. De manera complementaria, tal como señalan diversos estudios sobre agricultura digital y agroecología aplicada [27], el desarrollo de plataformas de agricultura inteligente permitirá avanzar hacia sistemas productivos más resilientes, capaces de integrar información climática, biológica y productiva en tiempo real para optimizar la sostenibilidad y la toma de decisiones en los sistemas cacaoteros tropicales [27].

## CONCLUSIONES

En primer lugar, se diseñó e implementó con éxito un modelo de monitoreo computarizado y análisis agroforestal aplicado al cultivo de cacao, orientado a fortalecer la sostenibilidad productiva frente a los desafíos asociados al cambio climático en sistemas agrícolas tropicales. Se concluye que la integración de prácticas agroecológicas con herramientas de monitoreo digital y análisis de datos permite evaluar de manera sistemática variables clave del sistema productivo, tales como la productividad del cultivo, la calidad del grano, la fertilidad del suelo y la biodiversidad funcional. Este enfoque metodológico demuestra que es posible mejorar la gestión de las fincas cacaoteras mediante el uso de tecnologías accesibles que facilitan la toma de decisiones basada en evidencia.

En segundo lugar, los resultados empíricos obtenidos durante el período de monitoreo evidenciaron mejoras significativas en los indicadores productivos y ambientales de las fincas piloto. Se registró un incremento promedio del 12 % en la productividad del cultivo, acompañado de un aumento del 15 % en el contenido de materia orgánica del suelo, lo que sugiere que la implementación de prácticas agroecológicas contribuye simultáneamente a la mejora de la fertilidad edáfica y al fortalecimiento de la resiliencia del sistema productivo. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la adopción de estrategias de manejo sostenible en sistemas agroforestales de cacao puede generar beneficios ambientales y económicos a mediano plazo.

Asimismo, el análisis de la estructura ecológica del sistema agroforestal evidenció un incremento en la diversidad de especies vegetales asociadas, lo cual favorece la estabilidad ecológica del agroecosistema, mejora la regulación biológica de

plagas y contribuye a la conservación de la biodiversidad en paisajes agrícolas tropicales. Este resultado confirma la importancia de los sistemas agroforestales como modelos de producción compatibles con los principios de sostenibilidad ambiental y adaptación climática.

En tercer lugar, se demostró la viabilidad tecnológica del sistema de monitoreo computarizado basado en herramientas de inteligencia artificial, incluyendo modelos de visión computacional entrenados mediante plataformas como RoboFlow y arquitecturas de detección de objetos del tipo YOLOv8. La implementación de estas tecnologías permitió desarrollar mecanismos de identificación automática de insectos plaga sobre mazorcas de cacao, facilitando procesos de monitoreo fitosanitario más eficientes y oportunos dentro de las fincas piloto. Este tipo de soluciones tecnológicas amplía las posibilidades de aplicación de la agricultura digital en sistemas productivos de pequeña y mediana escala.

Finalmente, la evidencia obtenida indica que la integración de agroecología, monitoreo digital e inteligencia artificial constituye una estrategia viable para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas cacaoteros tropicales. La principal contribución de este estudio radica en la propuesta de un modelo de gestión agroforestal basado en información digital y participación de los productores, capaz de mejorar la productividad agrícola, promover la conservación ambiental y apoyar procesos de adaptación al cambio climático. En este sentido, el modelo desarrollado puede ser considerado una herramienta replicable para impulsar la transición hacia sistemas agrícolas más resilientes, sostenibles y tecnológicamente integrados en el contexto de la cacaocultura latinoamericana.

### **Contribución y autoría**

**E.A.I.F., E.E.Z. y A.R.S.:** Conceptualización, diseño metodológico, investigación, curación de datos, análisis formal y redacción: preparación del borrador original.

**E.E.Z.:** Desarrollo del componente tecnológico, software, implementación del sistema de monitoreo computarizado y visualización de resultados.

**A.R.S.:** Validación de resultados, supervisión académica, revisión crítica del contenido y redacción: revisión y edición del manuscrito.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

**E.A.I.F., E.E.Z., and A.R.S.:** Conceptualization, methodological design, investigation, data curation, formal analysis, and writing: original draft preparation.

**E.E.Z.:** Software development, implementation of the computerized monitoring system, and visualization of results.

**A.R.S.:** Validation of results, academic supervision, critical review of the content, and writing: review and editing of the manuscript.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### **Financiamiento**

La presente investigación fue financiada por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONDOCYT) en el marco de la Convocatoria 2023, administrada por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (MESCyT) de la República Dominicana. El estudio forma parte del proyecto titulado “Análisis geomorfológico, biofísico y fotogramétrico de sistemas agroforestales asociados al cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) en República Dominicana”, identificado con el código FONDOCYT-2023-1-2D6-0651. Este financiamiento fue otorgado para apoyar el desarrollo de investigaciones científicas orientadas al fortalecimiento de la sostenibilidad agrícola, la innovación tecnológica y la generación de conocimiento aplicado al sector cacaotero nacional. Asimismo, el proyecto contó con el respaldo institucional de las universidades participantes en el marco de sus actividades académicas y de investigación.

### **Declaración ética**

Se declara que la presente investigación se desarrolló bajo principios de ética en investigación y participación comunitaria, centrada en el monitoreo computarizado y análisis agroforestal de fincas cacaoteras piloto. Todos los datos primarios fueron recolectados directamente en las fincas con el consentimiento informado de los productores, quienes fueron debidamente notificados sobre los objetivos, procedimientos y alcances del estudio.

Por esta razón, el estudio no implicó experimentación invasiva ni manipulación de organismos humanos ni animales. Se garantiza la confidencialidad y el anonimato de la información proporcionada por los productores, cumpliendo con los estándares de protección de datos personales. La investigación se desarrolló respetando los principios de participación voluntaria, transparencia y reconocimiento del conocimiento local, promoviendo la co-construcción de soluciones sostenibles para el manejo agroforestal del cacao.

### **Uso de inteligencia artificial**

La concepción del estudio, el diseño experimental, el análisis e interpretación de los resultados, así como la redacción y revisión crítica del manuscrito, fueron realizados de manera autónoma por los autores, quienes asumen la responsabilidad plena por el contenido final del artículo. Los autores declaran que se utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa de forma asistida exclusivamente para apoyar tareas técnicas de programación.

### **Disponibilidad de datos**

Los datos y los artefactos de investigación que respaldan los resultados de este estudio están disponibles de forma abierta en el repositorio Roboflow, correspondiente al proyecto de detección del cultivo del cacao: <https://app.roboflow.com/universidad-catolica-del-cibao-vvsuu/deteccion-cultivo-del-cacao/2/notebook/yolov8>

Asimismo, con el objetivo de garantizar la reproducibilidad computacional, el código fuente completo, los scripts de preprocesamiento, la configuración del entrenamiento y los módulos de despliegue han sido depositados en el repositorio público del mismo proyecto, accesible mediante el enlace anterior.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés de carácter financiero, académico o personal en relación con la realización, interpretación o publicación del presente trabajo de investigación.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Católica del Cibao (UCATECI) por su apoyo institucional y facilidades brindadas para la ejecución de esta investigación. Se reconoce también la colaboración del equipo de Roboflow por permitir el acceso a las herramientas y repositorios utilizados en el desarrollo del modelo de detección del cultivo del cacao.

Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a la Coordinadora Nacional de Cacaocultores Dominicanos (CONACADO) por su valiosa colaboración, facilitando el acceso a parcelas cacaoteras y aportando conocimientos prácticos que enriquecieron la recolección de datos y la validación de los resultados del estudio. De igual manera, agradecemos a la Estación Experimental de Cacao del IDIAF en Mata Larga, San Francisco de Macorís, por su apoyo técnico y logístico durante las actividades de campo.

## REFERENCIAS

- [1] R. A. Fisher, *Statistical Methods for Research Workers*, 13th ed., Edinburgh: Oliver & Boyd, 1970.
- [2] P. K. Sen, *Applied Nonparametric Statistics*, 2nd ed., New York, NY: John Wiley & Sons, 1985.
- [3] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed., Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1988.
- [4] R. Chambers, *Participatory Rural Appraisal (PRA): Analysis and Experience*, London, UK: Intermediate Technology Publications, 1994.
- [5] G. Schroth et al., *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*, Washington, DC: Island Press, 2004.

- [6] D. A. Pimentel et al., "Soil organic matter and sustainability of agroecosystems," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 121, pp. 123-136, 2007.
- [7] T. Tscharntke et al., "Conservation biological control and ecosystem services in agroforestry landscapes," *Ecology Letters*, vol. 10, pp. 635-643, 2007.
- [8] J. Pretty, *Agroecological Approaches to Sustainable Agriculture*, London, UK: Earthscan, 2008.
- [9] J. Vandermeer, *The Ecology of Agroecosystems*, 2nd ed., Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2011.
- [10] M. Tscharntke et al., "Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification," *Biological Conservation*, vol. 151, pp. 53-59, 2012.
- [11] R. Clough et al., "Biodiversity and productivity in cocoa agroforests: Effects of shade tree diversity on yields," *Ecological Applications*, vol. 22, no. 5, pp. 1224-1236, 2012.
- [12] P. Läderach et al., "Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries," *Climatic Change*, vol. 119, pp. 841-854, 2013.
- [13] World Medical Association, *Declaration of Helsinki - Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects*, Fortaleza, Brasil, 2013.
- [14] R. Clough et al., "Agroforestry systems for sustainable cocoa production: Evidence from Latin America," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 197, pp. 101-110, 2014.
- [15] M. A. Schroth y G. Läderach, *Agroforestry and Cocoa Production: Opportunities and Challenges*, London, UK: Routledge, 2015.
- [16] G. Schroth et al., "Agroforestry and biodiversity conservation in cocoa landscapes," *Biodiversity and Conservation*, vol. 24, no. 6, pp. 1501-1520, 2015.
- [17] A. E. Somarriba, "Agroforestry systems for sustainable cocoa production," *Cocoa Research Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 45-55, 2016.
- [18] R. Clough et al., "Implementing agroecology in smallholder cocoa farms," *Agroecology and Sustainable Food Systems*, vol. 41, pp. 1090-1107, 2017.

- [19] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 9th ed., Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2017.
- [20] F. M. Kremen et al., "Pollination and crop yield," *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 48, pp. 497-522, 2017.
- [21] A. Wolfert et al., "Big Data in Smart Farming - A review," *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69-80, 2017.
- [22] J. A. Perfecto et al., *Nature's Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty*, 2nd ed., London, UK: Earthscan, 2019.
- [23] FAO, *The State of Food and Agriculture 2020*, Roma: Food and Agriculture Organization, 2020.
- [24] L. K. van Vliet et al., "Challenges for smallholder cocoa production under climate change," *Agricultural Systems*, vol. 176, 2020.
- [25] FAO y ICCO, *Cocoa Market Review 2021*, Roma: FAO/ICCO, 2021.
- [26] I. Herrera et al., "Agroecological characterization of cocoa systems in the Dominican Republic," *Revista Dominicana de Ciencias Agropecuarias*, vol. 7, no. 1, pp. 23-36, 2021.
- [27] CONACADO, *Informe anual de producción de cacao orgánico en República Dominicana*, La Vega, RD, 2022.

## Biografía de los autores

**Ender Antonio Iñiguez Freites** es Doctor en Biotecnología Agrícola Mención Vegetal, Master en Desarrollo Agrario Sostenible, y Profesor Investigador Asociado a la Vicerrectoría de Investigación y Asuntos Académicos de Posgrado en la Universidad Católica del Cibao (UCATECI), La Vega, República Dominicana. Sus líneas de investigación incluyen agricultura digital, sistemas agroforestales sostenibles, resiliencia climática en cultivos tropicales y biotecnología aplicada a la producción agrícola. Es autor de múltiples publicaciones científicas sobre innovación tecnológica en el sector agropecuario.

**Ezequiel Echevarría Zamora** es MSc. en Ciencias Agroecológicas y Profesor en la Facultad de Ciencias Biológicas y Naturales de la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM), Santo Domingo, República Dominicana. Sus investigaciones se centran en agroforestería, análisis ecológico de cultivos y

gestión sostenible de fincas productivas. Ha participado como investigador principal en proyectos de conservación de biodiversidad y sostenibilidad agrícola en la región del Caribe.

**Agripina Ramírez Sánchez** es Doctora en Biodiversidad y Gestión Ambiental, Máster En Biología Molecular y Biotecnología y profesora de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), República Dominicana. Su trabajo se enfoca en el desarrollo rural, la participación comunitaria en proyectos agroecológicos y el análisis socioeconómico de sistemas productivos sostenibles. Ha colaborado en proyectos de fortalecimiento de capacidades para agricultores en sistemas agroforestales.

### **Descargo de responsabilidad**

Los libros y capítulos de libros publicados en la Editorial Unión Científica representan únicamente las opiniones de los autores. La Editorial Unión Científica, su equipo editorial y sus revisores no se hacen responsables del contenido, las interpretaciones o las consecuencias derivadas de la aplicación de los métodos o conclusiones incluidos en los trabajos. Todas las publicaciones se rigen por las políticas éticas de la editorial.