

iCAFE
Instituto del Café de Costa Rica

CONTEO DIGITAL DE PLANTAS Y ANÁLISIS DE DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA

Lecciones aprendidas

Concurso
Innova Verde
Edición Café

TRANSFORMA-INNOVA

COFINANCIADO POR:
Unión Europea
Fomentado por:
Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima
Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores
en virtud de una decisión del Bundestag alemán
IKI INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE

IMPLEMENTADO POR:
giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
CATIE Solutions for the Inclusive Green Development Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo
CONSERVACIÓN INTERNACIONAL Costa Rica
CRUSA
FUNBAM
PNUD

Acerca del Concurso INNOVA VERDE, Edición Café

El Concurso de Ideas **INNOVA VERDE – Edición Café** fue liderado por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE) en el marco del programa **TRANSFORMA-INNOVA: "Rutas Transformadoras de Baja Emisión de Carbono y Resiliente al Clima en Costa Rica: Agricultura Climáticamente Inteligente y Cadenas de Valor"**. Este programa promueve la transformación de los sistemas de producción agropecuaria (café, ganadería y musáceas) y azul hacia cadenas de valor sostenibles, biodiversas, bajas en carbono y resilientes al clima en Costa Rica.

El programa TRANSFORMA-INNOVA es co-financiado por la Unión Europea junto al Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK) y el Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Protección de los Consumidores (BMUV) de Alemania, a través de la Iniciativa Climática Internacional (IKI). Además, es implementado en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y ejecutado por la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Conservación Internacional (CI-CR), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Fundación Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación (CRUSA) y la Fundación Banco Ambiental (FUNBAM).

TRANSFORMA-INNOVA

EN COORDINACIÓN CON:

MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA | GOBIERNO DE COSTA RICA | MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA | INSTITUTO COSTARRICENSE PESCA Y ACUICULTURA | SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN | DIRECCIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO

COFINANCIADO POR:

Unión Europea

Fomentado por:

Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima | Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores

en virtud de una decisión del Bundestag alemán

IKI INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE

IMPLEMENTADO POR:

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH | CATIE | CONSERVACIÓN INTERNACIONAL Costa Rica | CRUSA | FUNBAM | PNUD

Tabla de contenidos

1 Resumen ejecutivo

2 Introducción

3 Contexto

4 Solución

5 Lecciones aprendidas

6 Replicabilidad y escalabilidad

7 Referencias

8 Créditos

RESUMEN EJECUTIVO

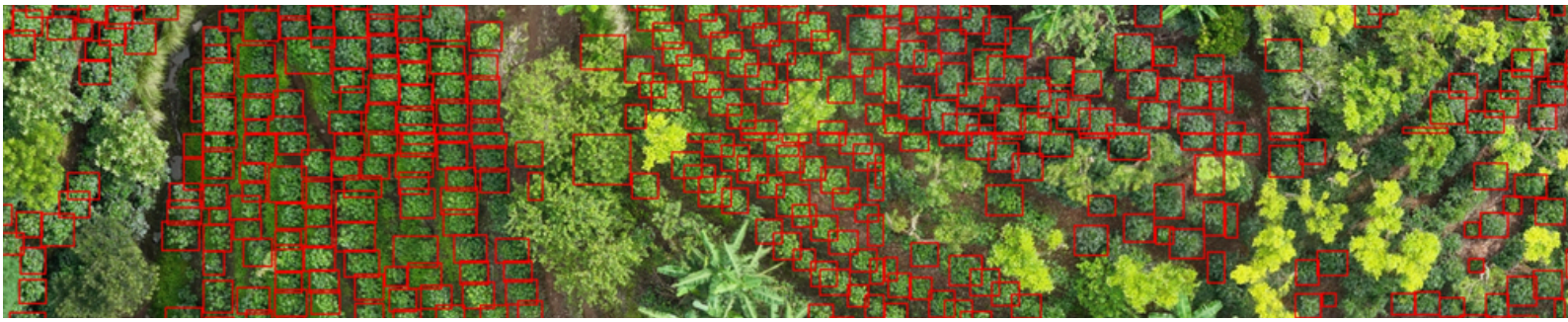
Innovación tecnológica y diversificación para fortalecer la resiliencia climática

El sector cafetalero costarricense enfrenta demandas crecientes de **calidad, trazabilidad y sostenibilidad**. La gestión eficiente de fertilizantes nitrogenados, responsables de hasta el 82% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en finca (Segura & Andrade, 2012), es un reto clave, agravado por la falta de datos precisos sobre la cantidad de plantas y área cultivada.

Con el apoyo del Concurso de Ideas INNOVA-VERDE, se validó una herramienta digital basada en inteligencia artificial para el **conteo automatizado de plantas y estimación de área cultivada**. Esta herramienta digital alcanzó hasta un 85% de precisión y tiene el potencial de mejorar la **gestión agronómica, optimizar el uso de insumos, facilitar la estimación de la captura de carbono y reducir emisiones de GEI**.

Complementariamente, se realizó un estudio que **caracterizó cultivos alternativos en fincas asociadas**, mostrando potencial para mejorar la resiliencia climática y diversificar ingresos. Los datos evidencian un perfil productivo envejecido, baja participación femenina y alta dependencia económica diversificada, subrayando la urgencia de estrategias inclusivas y de relevo generacional.

Se recomienda promover **modelos asociativos** para ampliar la adopción de la herramienta, facilitando capacitación técnica local y reduciendo costos operativos. La tecnología es **adaptable a diversos contextos** agroecológicos y puede integrarse en sistemas nacionales y regionales. Esta iniciativa combina innovación digital con estrategias agroecológicas, contribuyendo a la competitividad, sostenibilidad e inclusión en el sector cafetalero costarricense, alineada con los objetivos de **mitigación y adaptación** al cambio climático.



Fotografía cortesía de Carlos Saito Villanueva (Green Xpo Lab).



INTRODUCCIÓN

Este documento presenta **lecciones aprendidas** de la experiencia de implementación de la idea “Desarrollo de herramienta digital de conteo de plantas de café y estudio económico sobre los cultivos alternativos utilizados en fincas de café”, desarrollada en el marco del Concurso de Ideas INNOVA VERDE – Edición Café, impulsado por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE). La iniciativa permitió validar una herramienta digital de conteo automatizado de plantas de café y realizar un análisis de los cultivos de sombra presentes en fincas cafetaleras asociadas a Coopeatenas.

La sistematización de esta experiencia se basó en entrevistas con personal técnico de Green Xpo Lab y Coopeatenas, así como en una visita de campo. Los resultados evidencian el potencial de estas herramientas para mejorar la planificación agronómica, optimizar el uso de insumos, reducir emisiones y generar insumos útiles para la estimación de captura de carbono en sistemas cafetaleros diversificados.

Este documento está dirigido a personas productoras, equipos técnicos, tomadores de decisión y entidades cooperantes interesadas en fortalecer la sostenibilidad y competitividad del sector cafetalero mediante la digitalización y la diversificación. Se espera que esta experiencia sirva como punto de partida para nuevos procesos de innovación, investigación aplicada y alianzas estratégicas orientadas a transformar la caficultura costarricense frente a los desafíos del cambio climático y el relevo generacional.

CONTEXTO

La transformación digital y la diversificación productiva son clave para que el café costarricense responda a mercados exigentes, reduzca su huella ambiental y fortalezca su resiliencia frente al cambio climático.

El sector cafetalero costarricense enfrenta crecientes presiones para adaptarse a **mercados internacionales más exigentes** que priorizan calidad, trazabilidad y sostenibilidad. Según la Política Pública para el Sector Agropecuario 2023–2032, se requiere **modernizar las prácticas productivas** mediante tecnologías que mejoren la productividad y reduzcan el impacto ambiental.

Uno de los principales desafíos es la gestión eficiente del uso de fertilizantes nitrogenados, los cuales representan entre el 63 % y el 82 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en finca (Segura & Andrade, 2012). Esta problemática se agrava por la falta de información precisa sobre la cantidad de plantas y el área cultivada, lo cual limita la planificación agronómica, la compra de insumos y la estimación de la cosecha.

A su vez, el envejecimiento de la población agroproductiva y la baja adopción tecnológica amenazan el desarrollo de la actividad agropecuaria en Costa Rica (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023). Frente a este panorama, **el aprovechamiento de herramientas digitales,** como el conteo automatizado de plantas, representa una oportunidad concreta para **mejorar la gestión, optimizar insumos, mejorar calidad del producto, reducir emisiones y contribuir a la sostenibilidad del sector cafetalero** (Santana et al., 2022).

Por otra parte, la falta de datos sobre cultivos alternativos en cafetales limita el diseño de sistemas diversificados que mejoren la resiliencia al cambio climático de las fincas (Chemeda et al., 2024). Identificar y caracterizar estas asociaciones permitiría evaluar su aporte económico y ambiental, y **orientar estrategias de diversificación adaptadas al contexto local**.

Gracias al Concurso de Ideas INNOVA VERDE – Edición Café, implementado por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), se desarrolló el proyecto **“Desarrollo de herramienta digital de conteo de plantas de café y estudio económico sobre los cultivos alternativos utilizados en fincas de café”**, ejecutado por Green Xpo Lab en colaboración con Coopeatenas y la Universidad de Costa Rica (UCR). A través de este proyecto se validó una herramienta digital de conteo de plantas de café y se preparó un análisis sobre cultivos alternativos utilizados en fincas asociadas a Coopeatenas. Este documento resume los resultados del proyecto con el fin de fortalecer las capacidades del sector cafetalero costarricense, mejorando su competitividad y reduciendo su huella ambiental mediante tecnologías digitales y estrategias de diversificación

SOLUCIÓN

Innovación digital y análisis de diversificación para mejorar la competitividad cafetalera

Optimización de una herramienta digital para el conteo de plantas de café

La empresa Green Xpo Lab desarrolló una **herramienta digital basada en inteligencia artificial (IA)** para contar plantas de café, identificar espacios sin cultivo y estimar el área sembrada de forma ágil y automatizada. Esta herramienta fue mejorada a partir del 2023 gracias del Concurso de Ideas INNOVA VERDE - Edición Café, en colaboración con Coopeatenas.



Actividades clave

01

Recolección de información en campo

Se realizaron sobrevuelos en más de 10 fincas (7 de ellas asociadas a Coopeatenas), cubriendo un área total de **entre 45 y 50 hectáreas**. Las imágenes se capturaron con un dron Mavic 3 Multiespectral, operando a **65 metros de altura**, y con seguimiento de terreno activado para asegurar calidad y precisión.

02

Desarrollo del algoritmo

- Se diseñó un algoritmo de visión computacional empleando una versión reciente del **modelo YOLO** (You Only Look Once), conocido por su robustez en detección de objetos. Este algoritmo se entrenó **desde cero**, lo que implica usar datos etiquetados (por ejemplo, imágenes de cafetales con conteo conocido de plantas) para que aprenda patrones y luego validar su precisión.
- El entrenamiento se realizó con **etiquetas generadas manual y automáticamente**, clasificando plantas por tamaño y estado vegetativo (ej. con hojas, sin hojas), para robustecer la generalización del modelo.
- Se implementaron cuatro versiones del software, **optimizadas para diferentes tipos de computadoras**, maximizando así su accesibilidad.
- El procesamiento se llevó a cabo utilizando **servidores de Google** debido a los requerimientos de cómputo intensivo del modelo.

Análisis de diversificación agrícola y cultivos de sombra



En adición, al componente tecnológico, en colaboración con la Universidad de Costa Rica, se condujo un estudio aplicado con **83 personas productoras de café** afiliadas a Coopeatenas, con el propósito de analizar las **especies vegetales utilizadas como sombra y su relación con variables socioeconómicas**.

El estudio permitió:

- Caracterizar prácticas de diversificación en café bajo sombra.
- Visibilizar el potencial de ciertos cultivos de sombra para mejorar resiliencia climática y seguridad alimentaria

Este análisis abre oportunidades para estrategias de diversificación que no solo optimicen la productividad, sino que contribuyan directamente a la adaptación y mitigación climática.

Resultados

Herramienta digital validada para estimación de área y conteo de plantas

Uno de los principales hitos del proyecto fue la validación de una herramienta digital basada en inteligencia artificial para estimar el área cultivada y realizar conteo automático de plantas de café. Los resultados preliminares indican una precisión de **hasta el 85 %**. Se identificaron limitaciones bajo condiciones de **sombra densa**, lo cual genera una subestimación del número de plantas detectadas.



Este hallazgo constituye una oportunidad para orientar mejoras metodológicas, especialmente en:

- el fortalecimiento de la **calibración del modelo**, y
- la **combinación de datos digitales con observaciones de campo**, con el fin de aumentar la precisión en diferentes condiciones de cobertura vegetal.



La herramienta representa un avance significativo hacia el monitoreo automatizado de fincas, con potencial para reducir tiempos y costos de recolección de datos en campo.



Todas las fotografías en esta página son cortesía de Carlos Saito Villanueva (Green Xpo Lab).

Estudio de caracterización demográfica y productiva de fincas cafetaleras en Atenas y Puriscal

Según lo reportado en el informe “Análisis de los cultivos utilizados como sombra en la producción de café: De los productores asociados a Coopeatenas RL” preparado por Fernández Gonzáles et al. (2024):

Perfil Sociodemográfico

Los datos recopilados mediante entrevistas revelan una estructura demográfica envejecida y con baja participación de mujeres:

- Solo el **15 % de las personas entrevistadas son menores de 35 años,** mientras que cerca del 70 % tienen más de 50 años.
- **Menos del 20 % son mujeres**, lo cual evidencia una importante brecha de género en la actividad cafetalera.

Diversificación productiva

Las fincas presentan un área promedio de **4 hectáreas**, con una presencia de cultivos en asocio con el café, especialmente **árboles frutales, forestales y musáceas**.

Esta diversidad productiva presenta potencial para **estrategias de diversificación de ingresos**, aunque actualmente no se aprovecha de manera significativa.

Producción de café

- El promedio de producción es de **28 fanegas por hectárea**, aunque con **alta variabilidad** entre fincas.
- Para el **45 % de las personas entrevistadas**, el **café representa su principal fuente de ingreso**, mientras que más del 50 % depende en mayor medida de otras actividades.

Ingresos y comercialización

- **Menos del 25 %** reporta ingresos mensuales superiores a **₡500,000.**
- **Solo un 30 %** indica haber obtenido más de **₡5 millones anuales por la venta de café**.



Cultivos empleados como sombra en fincas cafetaleras de Atenas y Puriscal

Característica	Atenas	Puriscal
Cultivo en asocio con el café	• Árboles forestales como el **poró** • Frutales como **la guaba**, y • Musáceas como **plátano y banano**	• Mayor presencia del **cedro** y el **plátano**, • Frecuencia moderada de otros como **poró**, **banano** y **guaba**.
Comercialización	Venta principalmente a **intermediarios** o **centros de acopio**	Venta **directa** en finca, **intermediarios** o **centros de acopio**, dependiendo del producto



Los resultados evidencian desafíos para la sostenibilidad productiva y el relevo generacional en las zonas de estudio. La herramienta de conteo digital de plantas de café tiene el potencial de **reducir costos operativos, optimizar el uso de insumos, facilitar el monitoreo digital y contribuir a estimar la captura de carbono en sistemas agroforestales.** En este contexto, el uso de herramientas digitales validadas representan una **oportunidad estratégica para atraer a personas jóvenes** al sector, al conectar la gestión del cultivo con entornos tecnológicos familiares para esta población.

La herramienta digital desarrollada aporta una solución innovadora para la gestión del cultivo, en las zonas de estudio resulta importante que se complemente con estrategias que promuevan:

- la **diversificación** efectiva de ingresos,
- una **mayor integración de mujeres y jóvenes**, y
- la **incorporación de tecnologías con el conocimiento local**

LECCIONES APRENDIDAS

Factores de éxito



Alianzas estratégicas

La **colaboración activa** de la cooperativa fue clave para acceder a la información requerida en el desarrollo de la herramienta digital y el análisis de cultivos de sombra en cafetales locales.



Visión compartida

- Hubo coincidencia entre los objetivos del proyecto y el **interés previo** de la cooperativa **por agricultura de precisión.**
- Se valoró las capacidades aportadas por cada socio, fomentando **sinergias** efectivas.



Fotografía cortesía de Carlos Saíto (Green Xpo Lab)

Capacidades instaladas

- La **claridad de objetivos y roles** permitió una implementación ágil.
- La **experiencia en iniciativas similares** entre Green Xpo Lab con la UCR y una ágil coordinación interinstitucional contribuyeron a una ejecución eficiente.



Desafíos

Desfase entre cronograma del proyecto y calendario académico

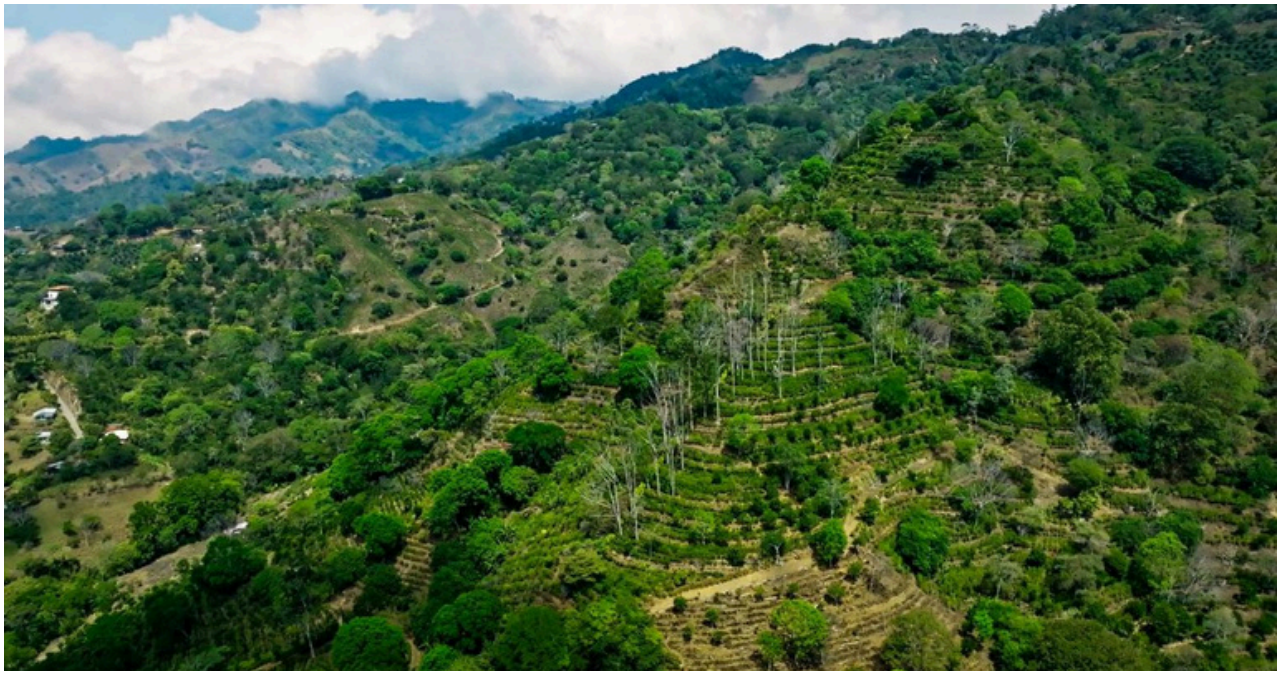
La participación universitaria estuvo condicionada por el calendario académico.
Solución: Se adaptaron los cronogramas del proyecto mediante una comunicación fluida con el personal académico.



Curva de aprendizaje en integración de IA y SIG

En el equipo de desarrollo de software no se tenía en ese momento suficiente experiencia en la integración de SIG e IA, y el etiquetado manual fue intensivo en tiempo.
Solución: Hubo disposición para aprender y cumplir los requerimientos de la herramienta

REPLICABILIDAD Y ESCALABILIDAD



Modelos de asociatividad para una adopción ampliada

Para facilitar su implementación a gran escala, se recomienda impulsar modelos de asociatividad que maximicen impactos y minimicen costos. Las **cooperativas, asociaciones de personas productoras y redes territoriales** son aliados clave para:

- **Agrupar la demanda de servicios** de captura de imágenes mediante drones
- **Reducir costos operativos** mediante economías de escala
- **Facilitar la capacitación técnica** a través de procesos colectivos adaptados a cada contexto local

Este enfoque no solo fortalece la eficiencia operativa, sino que también promueve la apropiación comunitaria de la tecnología.

Fortalecimiento de capacidades locales

Es recomendable la formación práctica de personal técnico y extensionista locales en tres áreas clave:

- Captura y procesamiento de imágenes
- Análisis geoespacial
- Interpretación y uso de resultados para la toma de decisiones

Esto favorece una replicabilidad descentralizada y ajustada a la realidad de cada territorio.

Requisitos técnicos para su replicación

Para garantizar resultados confiables en distintos territorios, se requieren condiciones básicas:

- Resolución mínima de imágenes: **2 cm por píxel**
- **Capacidad de vuelo estable** sobre terrenos inclinados

Estas condiciones permiten su aplicación con drones comerciales y software libre (como QGIS), lo que facilita su replicación incluso en zonas rurales con infraestructura limitada.

Adaptabilidad agroecológica

La herramienta ha sido validada en distintas regiones cafetaleras, variedades de café y condiciones fenológicas. No obstante, su precisión puede verse afectada por:

- **Defoliación postcosecha**
- **Sombra intensa**
- **Cultivos asociados o intercalados**

Aún así, su arquitectura de entrenamiento es **flexible y escalable**, lo que permite mejorar continuamente el modelo con nuevos datos locales.

Escalabilidad institucional y regional

La herramienta puede integrarse fácilmente en los **sistemas existentes de monitoreo y asistencia técnica** de entidades como el ICAFE, y escalarse mediante:

- **Programas de transformación digital rural** impulsados por cooperación internacional
- **Transferencia tecnológica** a otros países con condiciones agroecológicas similares, como **Honduras, Nicaragua y Colombia**.

Su replicabilidad no solo es técnica, sino también institucional y geográfica, lo que la convierte en una solución estratégica para la digitalización del agro en América Latina.



REFERENCIAS

Chemeda, B. A., Wakjira, F. S., & Birhane, E. (2024). The role of coffee-based agroforestry in improving food security through dietary diversification. Discover Agriculture, 2, 131.

Fernández González, J., Baltodano Zúñiga, D., Hernández Rodríguez, V., Rojas Esquivel, R., & Calderón Quesada, M. T. (2024). Análisis de los cultivos utilizados como sombra en la producción de café: De los productores asociados a Coopeatenas RL [Informe no publicado]. Universidad de Costa Rica.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). Política pública para el sector agropecuario y el desarrollo rural costarricense 2023–2032. Recuperado a partir de https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/e14-11132.pdf

Saito, C. (2025). Informe sobre proyecto Innova Verde: Desarrollo de herramienta digital de conteo de plantas de café y estudio económico sobre los cultivos alternativos utilizados en fincas de café [Informe no publicado]. Green Xpo Lab.

Santana, L. S., Ferraz, G. A. e. S., dos Santos, S. A., & Dias, J. E. L. (2022). Precision coffee growing: a review. Coffee Science, e172007

Segura, M. A., y Andrade, H. J. (2012). Huella de carbono en cadenas productivas de café (coffea Arabica l.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. Luna Azul, (35), 60–77. Recuperado a partir de https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1726

CRÉDITOS

Agradecemos a todas las personas e instituciones que colaboraron en este proceso, incluyendo a Rosa Hernández Ramírez (Finca La Trinidad) y Wilfreddy Vargas Chaves (Coopeatenas). Un agradecimiento especial a Carlos Saito Villanueva (CEO, Green Xpo Lab) por sus contribuciones en la preparación de contenido y compromiso a lo largo del proyecto.

Expresamos nuestro agradecimiento a la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) por encargar este trabajo en el marco del programa TRANSFORMA-INNOVA, cofinanciado por la Unión Europea (UE) junto al Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima (BMWK) y el Ministerio de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Protección de los Consumidores (BMUV) de Alemania, a través de la Iniciativa Climática Internacional (IKI)

Las opiniones expresadas en este documento no reflejan necesariamente el punto de vista de las organizaciones que brindaron apoyo para su elaboración.

Autor: Antony Torres Solano
Coordinación y revisión técnica: José Fabio Sojo Chaves (ICAFE)
Fotografías: Salvo que se indique lo contrario, todas las fotografías de este informe son propiedad del Instituto del Café de Costa Rica.

© 2025 Instituto del Café de Costa Rica. Todos los derechos reservados.

Contacto

Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE)
San Pedro de Barva, Heredia, Costa Rica

icafe.cr

