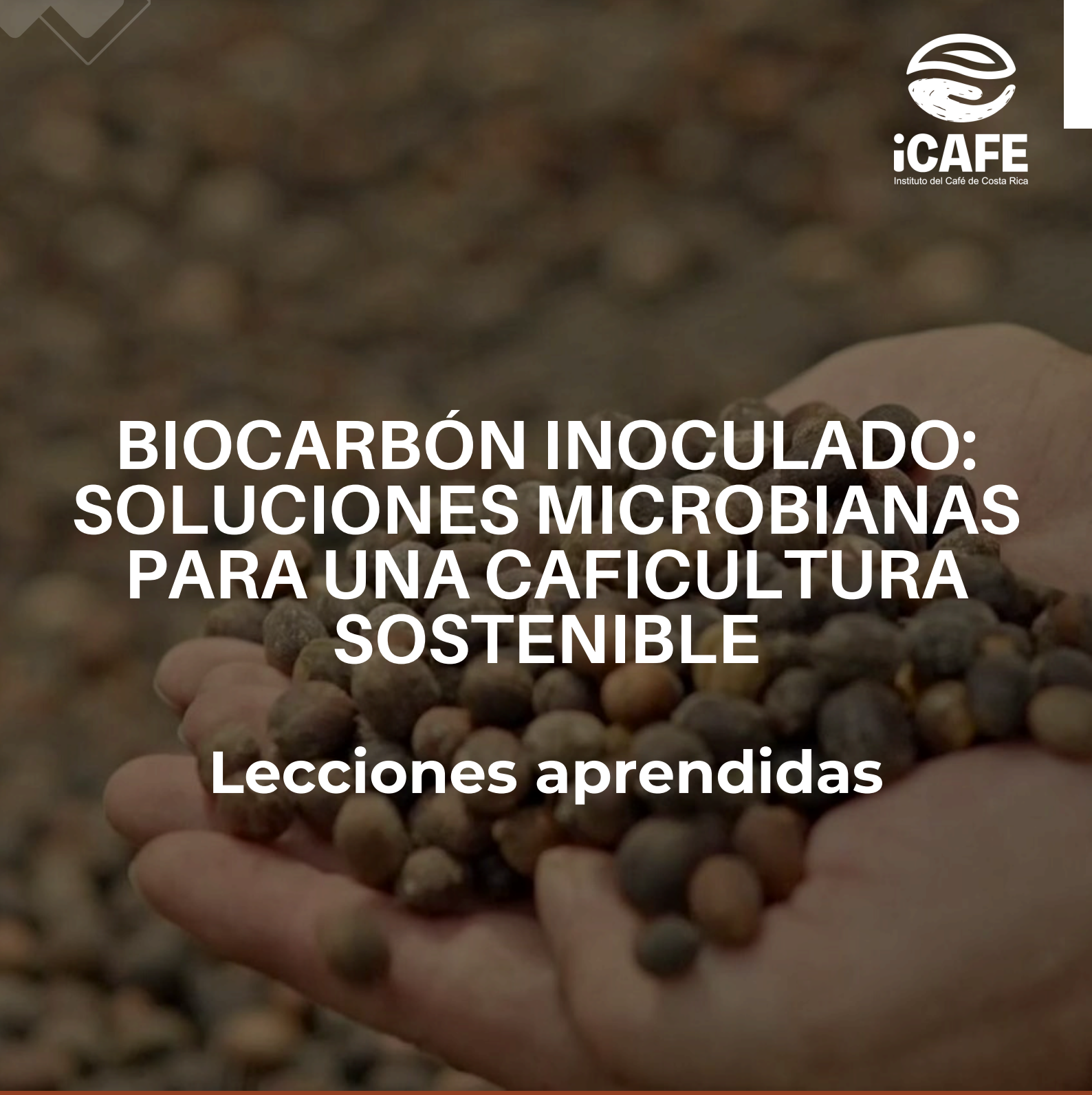


iCAFE
Instituto del Café de Costa Rica

BIOCARBÓN INOCULADO: SOLUCIONES MICROBIANAS PARA UNA CAFICULTURA SOSTENIBLE

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 Solutions for the Inclusive Green Development / Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo

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

Biocarbón inoculado: innovación regenerativa para suelos cafetaleros sostenibles

La empresa cafetalera Unión Varsán de Monteverde S.A., con **más de 35 años de trayectoria**, ha desarrollado una solución agroecológica innovadora para transformar **residuos de café en biocarbón inoculado con microorganismos nativos**. Esta iniciativa convierte subproductos lignocelulósicos de los cafetales en un insumo regenerativo que mejora la fertilidad del suelo, retiene agua, promueve la vida microbiana y podrían reducir más de un 30% el uso de fertilizantes químicos.

A través de un modelo técnico y organizativo replicable, se instaló un **laboratorio en finca** para aislar y multiplicar microorganismos beneficiosos adaptados al entorno local. Esta estrategia, apoyada por el Concurso de Ideas INNOVA VERDE-Edición Café, permitió validar el biocarbón en una parcela experimental hortícola, demostrando evidencia preliminar de su eficacia al aumentar la biomasa foliar con menor dosis de fertilizante.

La experiencia identifica tres factores clave de éxito:

- Coordinación interdepartamental efectiva.
- Integración estratégica del agroturismo y la educación.
- Cultura organizacional proactiva hacia la sostenibilidad.

Entre los desafíos destacó la ausencia inicial de personal especializado en biotecnología, lo cual generó una curva de aprendizaje. Esta experiencia evidenció la importancia de contar desde el inicio con acompañamiento técnico continuo para facilitar la innovación en biocarbón inoculado.

En 2025, Unión Varsán proyecta producir **30 toneladas de biocarbón inoculado** y se espera **divulgar los hallazgos a más de 15 000 personas**. Esta experiencia demuestra que la ciencia y la innovación pueden surgir desde zonas rurales cuando existen estructuras colaborativas, visión sostenible y acompañamiento adecuado, generando impactos escalables y resilientes.



INTRODUCCIÓN

Este informe presenta **lecciones aprendidas** durante la evaluación del uso de biocarbón inoculado con microorganismos nativos y la instalación de un laboratorio de microbiología en finca, desarrolladas en el marco del Concurso de Ideas INNOVA VERDE – Edición Café. A partir de entrevistas con el personal técnico de Unión Varsán de Monteverde S.A. y una visita de campo, se documenta una experiencia práctica con potencial para reducir la huella de carbono en sistemas cafetaleros.

Los hallazgos incluidos se basan en estudios preliminares realizados principalmente entre 2024 y principios de 2025, compartidos por la propia empresa. Si bien no constituyen resultados técnicos concluyentes, ofrecen insumos valiosos para su discusión y validación futura.

Este documento está dirigido a personas productoras, equipos técnicos y entidades cooperantes interesadas en tecnologías regenerativas. Invitamos a las personas lectoras a utilizar esta experiencia como punto de partida para investigaciones adicionales, espacios de diálogo técnico y colaboraciones orientadas a fortalecer la sostenibilidad de la caficultura costarricense.

CONTEXTO

El biocarbón inoculado representa una innovación agroecológica clave para transformar residuos agrícolas en soluciones regenerativas, sostenibles y escalables desde las zonas rurales.

Unión Varsán de Monteverde S.A. es una empresa cafetalera costarricense con más de 35 años de trayectoria, conformada por 20 socios. Además de su actividad productiva, ha incorporado principios de sostenibilidad, educación ambiental y agroturismo, desempeñando un papel articulador en su comunidad al prestar servicios de procesamiento a **más de 20 familias productoras**.

Hace más de 5 años, la empresa ha promovido prácticas agrícolas regenerativas mediante la **producción de bioinsumos orgánicos**. En ese proceso se identificó un alto potencial no aprovechado en la biomasa residual de los cafetales (tal como residuos lignocelulósicos), lo cual dio origen a la transformación de estos residuos en **biocarbón.** Esta es una tecnología agroecológica reconocida por su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo, la retención hídrica, la actividad microbiana y el secuestro estable de carbono (Soto-Muñoz, Pérez & Rivera, 2023).

Estudios recientes han demostrado que el uso de biocarbón puede **reducir en un 36% la necesidad de fertilizantes sintéticos** en cafetales (Sánchez-Reinoso, 2022). Con el apoyo del Concurso de Ideas INNOVA VERDE - Edición Café, implementado por el Instituto del Café de Costa Rica, se avanzó hacia una fase de mayor valor agregado: **la inoculación del biocarbón con microorganismos nativos funcionales** (tales como fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo), lo que podría reducir a más de un 30 % el uso de fertilizantes químicos (Gou et al., 2020; Jabbrova et al., 2020; Rafique et al., 2017).

Para viabilizar esta innovación en un entorno rural a más de 200 km de centros académicos, se habilitó un **laboratorio en finca**. Este espacio permite realizar de forma continua procesos de aislamiento, multiplicación e inoculación, y ha establecido las bases para un nodo de investigación aplicado que facilita futuros vínculos académicos y replicabilidad regional.

Se proyecta la producción de **30 toneladas de biocarbón en 2025**, lo que permitirá su aplicación en las cinco fincas de Unión Varsán y su **divulgación a más de 15 000 personas.** Este modelo demuestra que las innovaciones científicas y tecnológicas pueden emerger desde zonas rurales y generar impactos ambientales, sociales y económicos escalables.

SOLUCIÓN

Residuos como oportunidad circular

Las fincas cafetaleras de la empresa generan anualmente **más de 30 toneladas de madera de café** como subproducto de podas periódicas y renovación de plantaciones. Esta biomasa lignocelulósica, históricamente subutilizada, usualmente se recolecta entre marzo y mayo, **se seca, almacena y posteriormente se transforma en biocarbón** mediante un proceso de carbonización controlada con agua, lo que evita que el material se convierta en ceniza.



Aplicaciones del biocarbón

Una vez producido, el biocarbón se destina a dos aplicaciones principales:

a. Aditivo en compostaje de residuos de café

Se incorpora entre un 10% y 20% de biocarbón en compost elaborado con broza y cascarilla de café (≈50 toneladas al año). Esta práctica mejora la estructura y capacidad de retención del compost, contribuyendo a una mayor diversidad microbiana post-compostaje. Dado que las temperaturas del proceso superan los 55 °C, el biocarbón no se inocula previamente para evitar la pérdida de viabilidad microbiana.



b. Aplicación directa en cafetales

En nuevas plantaciones o durante la renovación, el biocarbón se aplica directamente en la zona radicular activa, el cual puede haber sido previamente inoculado con microorganismos beneficiosos. Esto facilita su integración con la microbiota del suelo y mejora la fertilidad local, sin exposición a altas temperaturas.



Inoculación de cepas autóctonas



La inoculación se desarrolló en el laboratorio de microbiología instalado por la empresa. Anteriormente, en colaboración con la academia, se utilizaron cepas benéficas aisladas de raíces de cafetos sanos y bordes de bosque, adaptadas a las condiciones agroecológicas locales.



El proceso incluye:

- **Recuperación de microorganismos** desde rizósferas saludables.
- Aislamiento en medios selectivos como **NFB** (fijadoras de N) y **Pikovskaya** (solubilizadoras de P).
- Escalamiento en condiciones estériles y agitación controlada para inoculación eficiente del biocarbón mediante rocío.



Esta estrategia aprovecha la biodiversidad local para promover soluciones microbiológicas resilientes.



Validación experimental



Para validar esta solución, se realizó un ensayo en **Finca LIFE Monteverde con plántulas de repollo**, comparando tratamientos con biocarbón inoculado con dos cepas baterianas distintas y diferentes dosis de fertilizante químico. Entre los principales hallazgos se rescatan:

Los tratamientos con biocarbón (6 g/planta) e insumos reducidos (35–50% menos fertilizante) lograron hasta **+33% en peso fresco foliar** frente al tratamiento comercial con 100% de fertilizante, lo que sugiere un **efecto positivo sobre la acumulación de agua o biomasa en las hojas**.

El tratamiento con **biocarbón inoculado** sin fertilizante **mejoró la biomasa foliar**, aunque su **impacto en la biomasa radicular fue limitado**. Este resultado podría deberse a una subdosificación microbiana, por lo que se recomienda evaluar el biocarbón inoculado con una concentración bacteriana superior a 1×10^6 UFC/mL por cepa.

Los ensayos en repollo ofrecen indicios del potencial del biocarbón como insumo regenerativo, y abren la puerta a nuevas validaciones en café para confirmar su efectividad en este cultivo.

LECCIONES APRENDIDAS

Factores de éxito



Cultura organizacional proactiva hacia la sostenibilidad

El proyecto se desarrolló en un entorno organizacional **con más de 10 años de compromiso explícito con la sostenibilidad ambiental**. Esta cultura favoreció la aceptación de soluciones innovadoras de biotecnología y el uso de biocarbón.



Integración de agroturismo y educación ambiental

La integración de componentes turísticos y educativos permitió:

- Convertir el conocimiento técnico en experiencias vivenciales,
- Generar procesos de validación social y científica, y
- Estimular nuevas oportunidades de colaboración interinstitucional.



Coordinación interdepartamental efectiva

La implementación de mecanismos de comunicación horizontal y transversal entre los departamentos de producción, laboratorio, agroturismo y educación ambiental fue un factor clave para el éxito del proyecto, se logró:

- Optimizar los flujos de información,
- Acelerar la toma de decisiones operativas, y
- Reducir duplicidades en tareas técnicas.



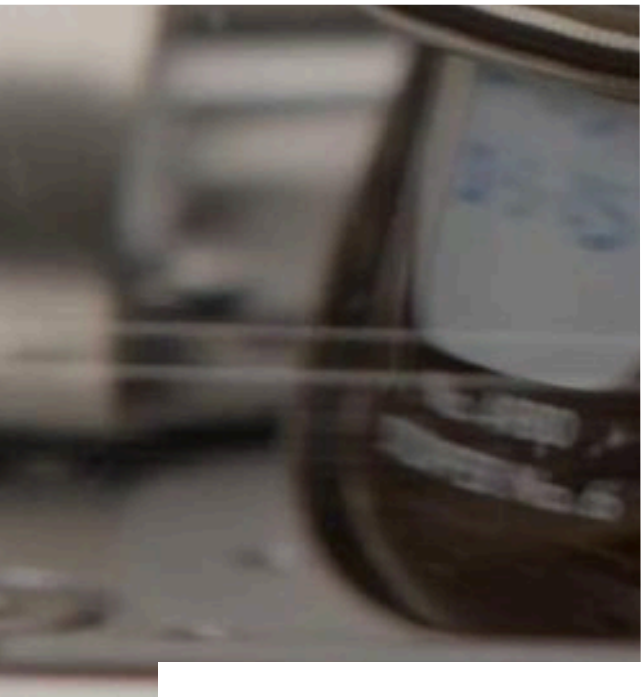
Desafío

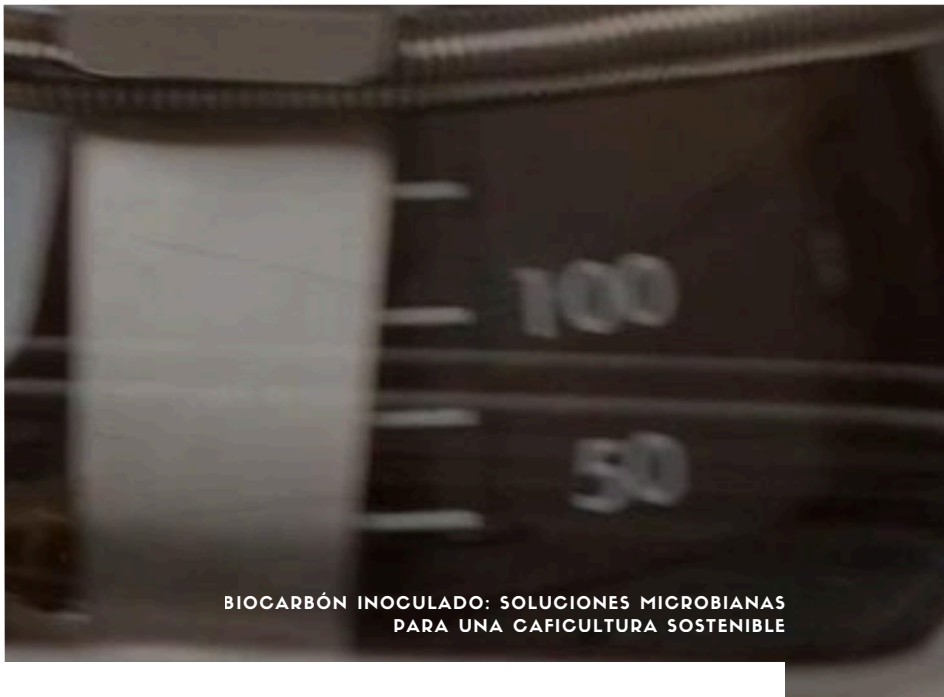


Capacidades limitadas en biotecnología agronómica

Al inicio del proyecto no se contó con una persona experta en biotecnología dentro del equipo, lo que generó una curva de aprendizaje. Dado que la inoculación de biocarbón es una temática emergente, la ausencia de capacidades técnicas instaladas prolongo el avance del proyecto. Aunque hubo disposición para aprender y se recibió asesoría externa puntual, la experiencia evidenció la importancia de **contar desde el inicio con acompañamiento técnico continuo en biotecnología agronómica** para facilitar la innovación en el desarrollo de soluciones con biocarbón inoculado.







REPLICABILIDAD Y ESCALABILIDAD

A partir de las lecciones aprendidas, se proponen las siguientes recomendaciones para el escalamiento y réplica en otras iniciativas del sector cafetalero nacional:



Fortalecimiento organizacional

- Fomentar estructuras de **gobernanza colaborativa** entre distintos niveles organizativos
- Impulsar **perfiles técnicos híbridos**, con capacidades en investigación, producción, comunicación y educación ambiental, que faciliten una **gestión técnica transversal**.
- Fortalecer la **cultura organizacional hacia la sostenibilidad** mediante formación interna, reconocimiento de buenas prácticas y alineamiento con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).



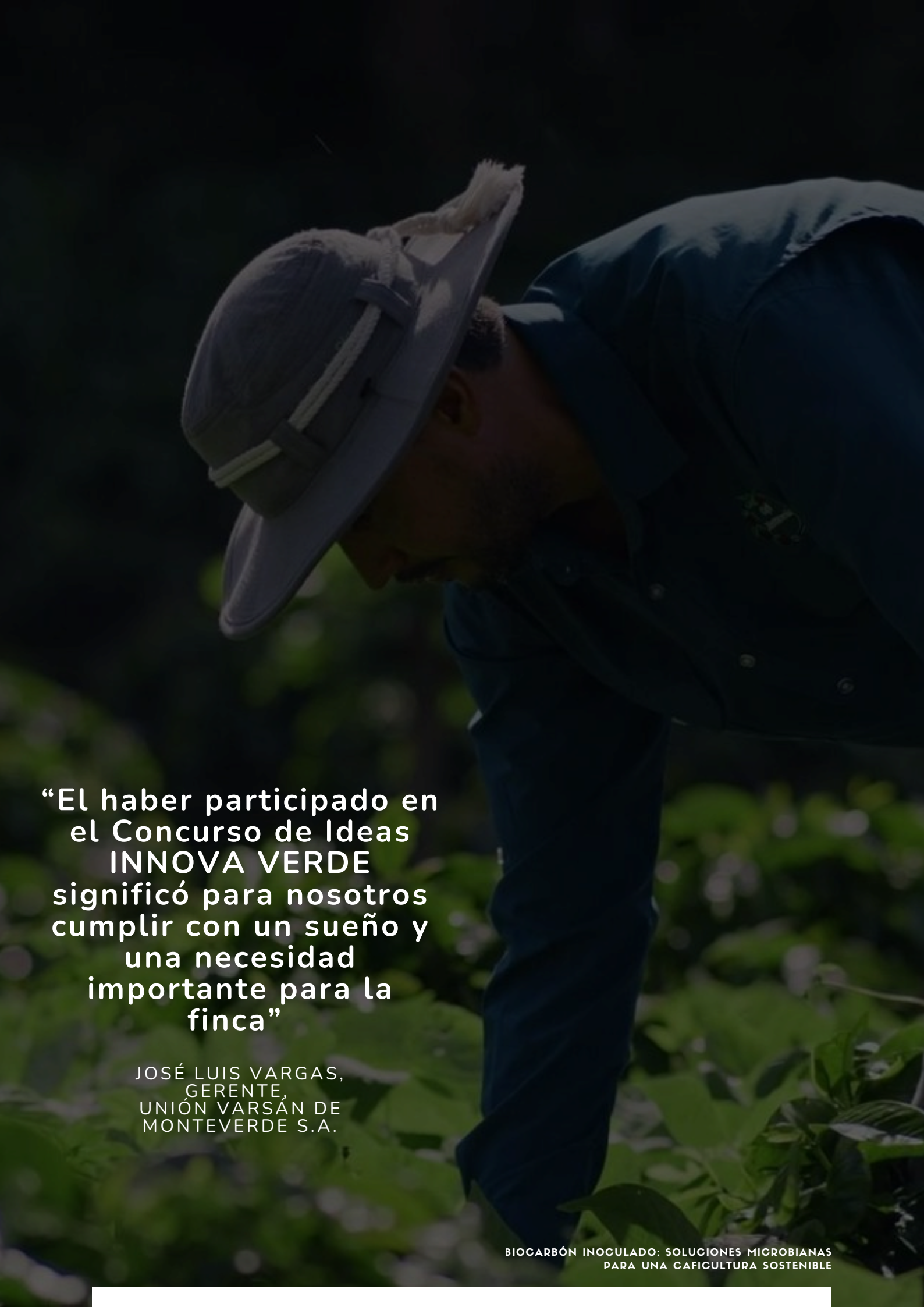
Vinculación social

Incorporar **componentes educativos y de agroturismo** como herramientas estratégicas para **conectar la innovación técnica con la sociedad** e incrementar el impacto social de las prácticas sostenibles.



Capacidades técnicas especializadas

Incorporar capacidades técnicas especializadas, como **biotecnología agrícola** o **microbiología de suelos**, desde las etapas iniciales de los proyectos con biocarbón inoculado permite acelerar su desarrollo. Para su escalamiento en el sector cafetalero, también es necesario validar su efectividad mediante ensayos experimentales en café.



“El haber participado en el Concurso de Ideas INNOVA VERDE significó para nosotros cumplir con un sueño y una necesidad importante para la finca”

JOSÉ LUIS VARGAS,
GERENTE,
UNIÓN VARSÁN DE
MONTEVERDE S.A.



REFERENCIAS

Berrocal, J., Pérez, D., & Vives, F. (2025). Evaluación del biocarbón inoculado como alternativa para reducir la fertilización sintética [Informe interno no publicado]. Unión Varsán de Monteverde S.A.

Gou, Z., Zheng, H., He, Z., Su, Y., Chen, S., Chen, H., Chen, G., Ma, N. L., & Sun, Y. (2023). The combined action of biochar and nitrogen-fixing bacteria on microbial and enzymatic activities of soil N cycling. Environmental Pollution, 317, 120790. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120790

Jabborova, D., Wirth, S., Kannepalli, A., Narimanov, A., Desouky, S., Davranov, K., Sayyed, R. Z., El Enshasy, H., Abd Malek, R., Syed, A., & Bahkali, A. H. (2020). Co-inoculation of rhizobacteria and biochar application improves growth and nutrients in soybean and enriches soil nutrients and enzymes. Agronomy, 10(8), 1142. https://doi.org/10.3390/agronomy10081142

Rafique, M., Sultan, T., Ortas, I., & Chaudhary, H. J. (2017). Enhancement of maize plant growth with inoculation of phosphate-solubilizing bacteria and biochar amendment in soil. Soil Science and Plant Nutrition, 63(5), 460–469. https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1373599

Sánchez Reinoso, A. D. (2022). Rendimiento y estado nutricional del café (Coffea arabica L.) en respuesta a aplicación de biocarbón (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía, Bogotá, Colombia.

Soto Muñoz, G., Chin Pampillo, J. S., Chinchilla Soto, C., & Pérez Villanueva, M. (2023). Manual de biocarbón para una agricultura sostenible: Experiencias en Costa Rica (1.ª ed.). Universidad de Costa Rica, CICA. https://doi.org/ISBN 978-9930-9712-3-9

Volkogon, V. V., Dimova, S. B., Volkogon, K. I., Sidorenko, V. P., & Volkogon, M. V. (2021). Biological nitrogen fixation and denitrification in rhizosphere of potato plants in response to the fertilization and inoculation. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5, Article 606379. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606379

CRÉDITOS

Agradecemos a todas las personas e instituciones que colaboraron en este proceso, incluyendo a Jorge Berrocal, Diana Pérez y Fernando Vives de Unión Varsán de Monteverde S.A. Un agradecimiento especial a José Luis Vargas (Gerente, Unión Varsán de Monteverde S.A.) por sus contribuciones para 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

