

iCAFE
Instituto del Café de Costa Rica

BIOCRISOL: ENERGÍA RENOVABLE Y BIOCARBÓN A PARTIR DE BROZA DE CAFÉ

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 ejecutado 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"**. El programa impulsa 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

En Costa Rica, la producción de café genera **más de 150 000 toneladas anuales de pulpa**, un residuo orgánico cuya descomposición libera más de 50 000 toneladas de CO_2 equivalente al año, incluyendo metano, un gas de efecto invernadero altamente potente. Para abordar este pasivo ambiental, el proyecto **BIOCRISOL**, liderado por la empresa costarricense Biomatec, desarrolló e implementó un **sistema innovador de gasificación de biomasa** que transforma la pulpa de café en **gas de síntesis**, aprovechable para generación energética, y en **biocarbón**, un sumidero de carbono con beneficios agronómicos.

BIOCRISOL es un sistema **diseñado y construido en Costa Rica** que destaca por su capacidad de gasificar pulpa de café con **alto contenido de humedad** (hasta 40-50 % de humedad) Esta técnica no requiere procesos intensivos de secado ni pelletización, lo que reduce costos logísticos y consumo energético.

En el marco del Concurso de Ideas **INNOVA VERDE – Edición Café** del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), se incorporó un **sistema de purificación de gas** innovador, que da como resultado un producto capaz de generar electricidad.

Uno de los principales aportes estratégicos de BIOCRISOL es su **alto potencial de replicación y escalamiento** más allá del sector cafetalero. Su diseño adaptable permite procesar otros residuos agroindustriales de alta disponibilidad en Costa Rica y la región.
El sistema es particularmente rentable en esquemas de mediana o gran escala, donde las economías de escala permiten maximizar el retorno energético y económico. Para habilitar su adopción a mayor escala, se identifican tres condiciones clave:

- **Fortalecer la cadena nacional de suministro** de componentes especializados, reduciendo costos y tiempos de implementación.
- **Alianzas público-privadas e interinstitucionales** que faciliten la transferencia de conocimiento, la validación de tecnología y la adaptación según contexto local.
- **Políticas públicas e incentivos** que reconozcan y promuevan tecnologías de valorización de biomasa como parte de la estrategia nacional de descarbonización, incluyendo apoyo a la manufactura local, exoneraciones estratégicas para importaciones y financiamiento verde.

BIOCRISOL representa una oportunidad para transformar un residuo ambientalmente problemático en una fuente de energía limpia y sumideros de carbono. Esta innovación daría como resultado la generación empleos locales, fortalecimiento técnico y posicionamiento de Costa Rica como líder en soluciones circulares para la agricultura sostenible. Su replicabilidad lo convierte en una herramienta estratégica para avanzar en la transición energética justa del sector agroindustrial.

INTRODUCCIÓN

Este documento presenta **lecciones aprendidas** a partir de la implementación de la iniciativa BIOCRISOL, desarrollada en el marco del Concurso de Ideas INNOVA VERDE – Edición Café, impulsado por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE). Como parte de esta experiencia, se integró un sistema innovador de purificación del gas de síntesis (singas), subproducto de la gasificación de la broza de café, con el fin de viabilizar su uso en la generación eléctrica a partir de residuos agroindustriales.

La sistematización se base en información recopilada a través de entrevistas con personal de la empresa costarricense Biomatec, responsable del desarrollo tecnológico, y de una visita de campo. Si bien el enfoque principal es la experiencia vinculada al Concurso de Ideas INNOVA VERDE, el documento también recoge aprendizajes generados en etapas anteriores del desarrollo de esta tecnología de gasificación de biomasa.

El contenido está dirigido a personas productoras, equipos técnicos, tomadores de decisión y entidades cooperantes interesadas en el aprovechamiento sostenible de residuos del café. Se espera que esta experiencia inspire nuevos procesos de innovación, investigación aplicada y alianzas estratégicas que contribuyan a una transición energética justa desde el sector agropecuario.



CONTEXTO

La pulpa de café, subproducto relevante de la caficultura costarricense, representa un reto ambiental y una oportunidad energética para impulsar soluciones circulares en comunidades rurales.

La producción de café en Costa Rica genera anualmente **más de 150 000 toneladas de pulpa de café** como subproducto del proceso de beneficiado, la pulpa de café representa aproximadamente el 40-50 % del peso de la cereza del café. Este residuo, con elevada carga orgánica y contenido de humedad, representa un pasivo ambiental significativo, cuya disposición final plantea serios **desafíos técnicos y económicos**. Se estima que su descomposición natural contribuye con más de 50 000 toneladas de CO_2 equivalente por año, incluyendo emisiones de metano, un gas de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global (Instituto del Café de Costa Rica, 2024; Torres, Urvina, & De Lasa, 2019; Murthy & Naidu, 2012).

Las soluciones convencionales de manejo de la pulpa, presentan limitaciones importantes: generan lixiviados contaminantes, requieren amplias superficies de terreno y no se aprovecha su capacidad para generar energía eficiente. En este contexto, la **valorización energética de residuos agroindustriales** surge como una alternativa estratégica, capaz de reducir emisiones, mejorar la eficiencia en el uso de recursos y dinamizar las economías rurales mediante el desarrollo de capacidades locales.

La Agencia Internacional de Energía (2023) ha subrayado el papel clave de la **bioenergía sostenible** para alcanzar las **metas climáticas globales**, especialmente en países en desarrollo con alta disponibilidad de biomasa. En Costa Rica, este potencial fue aprovechado mediante el concurso de ideas Innova Verde – Edición Café, ejecutado por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), a través del cual se desarrolló el proyecto **BIOCRISOL**, liderado por la empresa costarricense **Biomatec**.

El proyecto implementó un **sistema innovador de purificación de gas de síntesis generado mediante la gasificación de biomasa con tecnología BIOCRISOL**, previamente desarrollada por la empresa. Además, se contribuyó el almacenamiento del biochar producido, fortaleciendo la cadena de valorización de residuos agrícolas y demostrando la viabilidad técnica de soluciones circulares a pequeña escala en contextos rurales.



SOLUCIÓN

BIOCRISOL: innovación energética y regenerativa a partir de la pulpa de café

Descripción técnica

BIOCRISOL es un sistema de **gasificación de lecho fluidizado**, diseñado para transformar pulpa de café (sin pelletizar) con alto contenido de humedad (~40–50 %) en gas de síntesis y biocarbón.

A diferencia de las tecnologías convencionales, que requieren pretratamientos energéticamente costosos como el secado intensivo y la pelletización, este sistema aprovecha la biomasa con solo un prensado y secado parcial.

Gracias a su diseño eficiente, es capaz de procesar materia prima con **alto contenido de humedad** (40-50 %) generando más energía de la que consume, lo que lo convierte en una **innovación pionera** tanto a nivel nacional como internacional.

Productos de gasificación

El proceso genera dos **productos** principales:

Gas de síntesis, que puede utilizarse para generar energía térmica o eléctrica

Biocarbón, que se emplea como insumo para la regeneración de suelos, mejorando su fertilidad y capacidad de retención de agua

En una configuración de **lecho fluidizado**, se hace pasar un gas (como aire) a alta velocidad a través de una cama de partículas sólidas, como la biomasa. Este flujo genera un movimiento continuo de las partículas, similar a una mezcla en constante agitación, lo que permite distribuir mejor el calor y lograr una conversión más eficiente, en comparación con otros métodos (Basu, 2010)



Durante el proceso de desarrollo se incorporó un **enfoque multidisciplinar**, integrando conocimientos de ingeniería química, energía, agronomía y ciencia de materiales para abordar los desafíos técnicos y logísticos asociados al manejo de la pulpa de café: la estacionalidad del grano, su rápida descomposición, y la necesidad de tratamiento en sitio para evitar impactos ambientales y sanitarios. En respuesta, se diseñó un **sistema compacto, escalable, adaptable a cooperativas**, con capacidad para procesar toneladas de pulpa, y contribuir al fortalecimiento de la resiliencia del negocio cafetalero.

Sistema de purificación del gas de síntesis



Para **garantizar la calidad del gas para generación eléctrica**, se diseñó un sistema de limpieza con apoyo del **concurso Innova Verde**, implementado por el ICAFE. Ante la limitada disponibilidad de alternativas comerciales en el país, **se diseñó desde cero** un sistema robusto, eficiente y adaptable a otras aplicaciones industriales más allá del sector cafetalero. Además, el sistema de limpieza incorpora un **componente relevante de control y automatización**, que permite un funcionamiento preciso, seguro y continuo del proceso de purificación del gas.

La limpieza del gas incluye **3 etapas** sucesivas: absorción en agua, absorción en aceite y filtración final. Este sistema **opera a presión cercana a la atmosférica** y **remueve impurezas orgánicas como alquitranes** de aproximadamente 120 kg/h de gas de síntesis. Esto asegura la compatibilidad con generadores eléctricos y evita daños por corrosión o depósitos.

Desarrollo metodológico y herramientas empleadas

La solución fue desarrollada en tres fases: **diseño, construcción y puesta en marcha.** Se utilizaron **herramientas avanzadas de simulació**n como Aspen Plus, Barracuda Virtual Reactor y COMSOL Multiphysics para modelar fenómenos termoquímicos, validar parámetros de operación y anticipar riesgos. Esta rigurosidad permitió un diseño eficiente y seguro, alineado con estándares internacionales.

Contribución a la mitigación climática



BIOCRISOL contribuye directamente a la **reducción de emisiones de gases de efecto invernadero** mediante:

- La **valorización energética de residuos agroindustriales**, que de otro modo generarían metano o CO_2 en su descomposición.
- La **sustitución de fuentes fósiles por energía limpia local**.
- La **producción de biocarbón**, que actúa como sumidero de carbono estable y mejora la salud de los suelos.

Esta solución tecnológica se alinea con la Estrategia Nacional de Bioeconomía 2020–2030 de Costa Rica, al promover un modelo productivo bajo en emisiones, que genera valor a partir de recursos biológicos, fortalece capacidades nacionales en ciencia e innovación, y fomenta el desarrollo territorial inclusivo desde el sector cafetalero.

Esta solución integra mitigación, economía circular y regeneración, haciendo sinergia con las metas de descarbonización y resiliencia del sector cafetalero y de Costa Rica.

LECCIONES APRENDIDAS

El diseño, construcción y validación del sistema de gasificación BIOCRISOL generaron aprendizajes valiosos que pueden orientar futuros esfuerzos de innovación tecnológica en el país. Estos conocimientos se derivan no solo de la experiencia adquirida en el marco del concurso Innova Verde, sino también del proceso integral de desarrollo tecnológico llevado a cabo por Biomatec a lo largo del tiempo.

Factores de éxito



1. Capacidad técnica del equipo

La **experiencia previa en soluciones de ingeniería energética** permitió un diseño eficiente y una ejecución sólida del sistema de limpieza de gas de síntesis desarrollado en el marco del concurso Innova Verde. La **visión compartida**, junto con competencias técnicas instaladas, facilitó el desarrollo ágil y riguroso del sistema.

2. Alianzas estratégicas

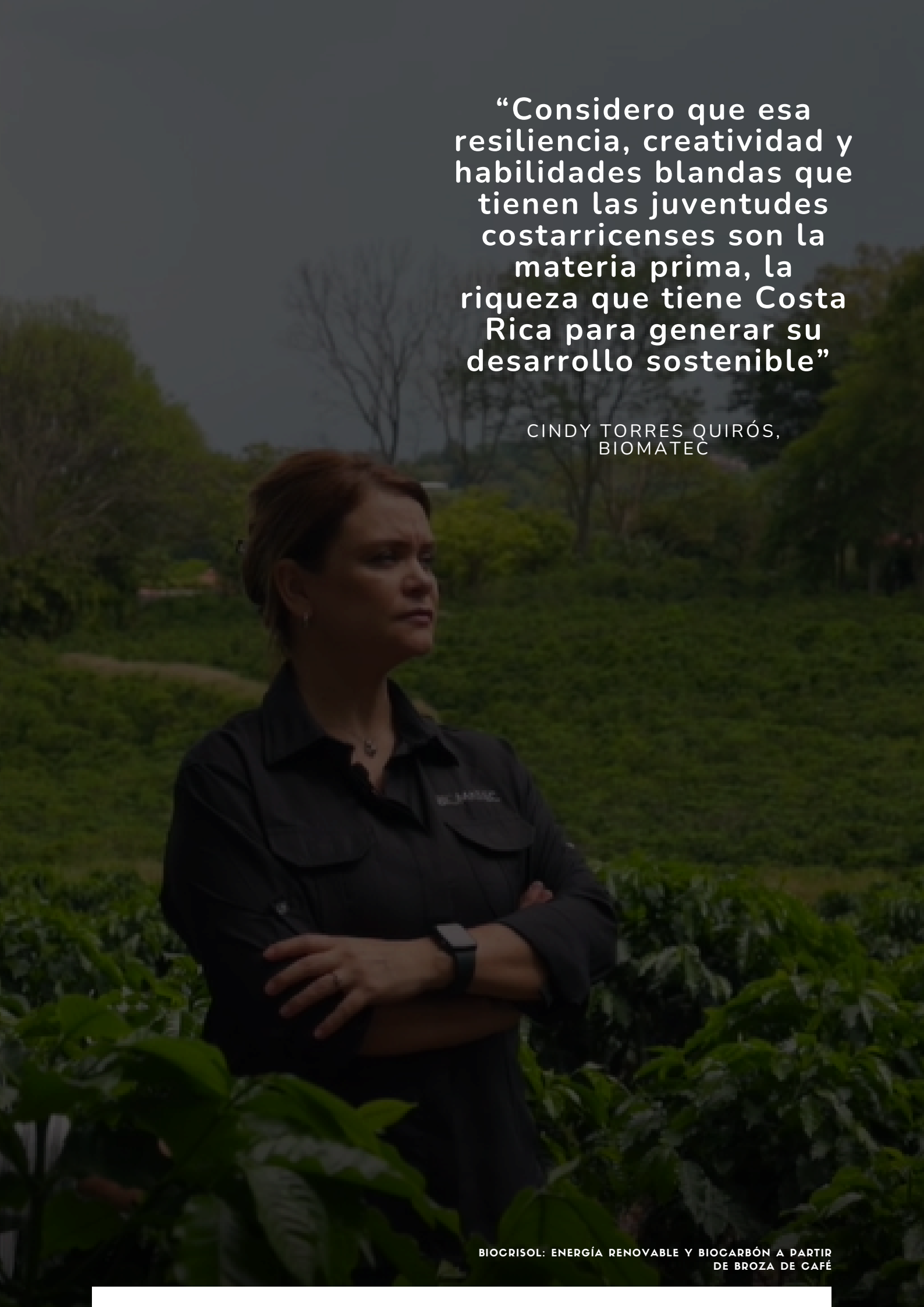
La colaboración con proveedores previamente capacitados aseguró el cumplimiento de estándares técnicos exigentes. Se **fortalecieron capacidades locales** para suministrar componentes especializados, generando un proceso de aprendizaje conjunto.

Asimismo, la alianza con el **Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE)** ha sido clave para facilitar la introducción y validación de la tecnología en el sector cafetalero, promoviendo su escalabilidad.

Por otra parte, la **conexión con la academia** fue clave durante el desarrollo de BIOCRISOL: colaboraciones con universidades permitieron incorporar conocimiento científico avanzado, generando sinergias entre investigación aplicada, innovación y desarrollo sostenible.







“Considero que esa resiliencia, creatividad y habilidades blandas que tienen las juventudes costarricenses son la materia prima, la riqueza que tiene Costa Rica para generar su desarrollo sostenible”

CINDY TORRES QUIRÓS,
BIOMATEC

BIOGRISOL: ENERGÍA RENOVABLE Y BIOCARBÓN A PARTIR DE BROZA DE CAFÉ

Desafíos



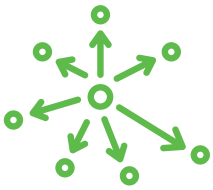
Limitaciones en la cadena de suministro local

Algunos componentes debieron importarse desde Estados Unidos y China, debido a la escasa oferta local de piezas con los estándares requeridos, altos costos y largos tiempos de entrega. Esto evidencia la **necesidad de fortalecer capacidades industriales locales** para apoyar desarrollos tecnológicos en energías limpias.



Formación y retención de talento humano especializado

Fue necesario **invertir significativamente en la formación técnica del personal**. A pesar del interés de la empresa por integrar a mujeres en el desarrollo de ingeniería en energías limpias, su permanencia ha representado un reto, reflejando una dificultad estructural en la retención de talento diverso dentro de emprendimientos tecnológicos.



Financiamiento limitado y fragmentado para innovación tecnológica

El acceso a financiamiento ágil, adecuado en monto y **alineado con los tiempos de desarrollo de tecnologías de alto impacto** sigue siendo limitado en el país. Los fondos disponibles suelen orientarse a iniciativas de bajo riesgo o prototipado rápido, distribuyéndose entre múltiples actores, lo que reduce su efectividad para impulsar avances significativos.



REPLICABILIDAD Y ESCALABILIDAD

El sistema BIOCRISOL presenta un alto potencial de **replicación en otras cadenas agroindustriales**, como la piña y la caña de azúcar. Su diseño permite realizar adaptaciones mecánicas relativamente simples en el sistema de alimentación para ajustarse a distintas características fisicoquímicas de los residuos agroindustriales.

Desde una perspectiva de escalamiento, la tecnología muestra **mayor viabilidad en configuraciones de mayor capacidad operativa** ("escalamiento hacia arriba"), donde las economías de escala mejoran su rentabilidad. En contraste, su implementación a menor escala ("escalamiento hacia abajo") enfrenta mayores desafíos técnicos y financieros, lo que limita a corto plazo su aplicabilidad para unidades productivas muy pequeñas.

Para facilitar tanto la replicación como el escalamiento, se identifican tres **condiciones habilitadoras clave**:

1. **Fortalecimiento de la cadena de suministro nacional**, para garantizar componentes críticos con calidad técnica y tiempos de entrega competitivos.
2. **Alianzas con sectores productivos e instituciones especializadas**, que faciliten la transferencia de conocimiento y la adaptación contextualizada de la tecnología.
3. **Políticas e incentivos para tecnologías de valorización de biomasa**, orientados a acelerar procesos de importación de componentes, apoyar manufactura local, y fomentar la adopción de soluciones energéticas sostenibles en el sector agropecuario.

“La tecnología de gasificación de lecho fluidizado es escalable, y la desarrollada a través de BIOCRISOL tiene la ventaja de haber sido creada en Costa Rica, con conocimiento local y capacidad para adaptarse a las necesidades de cada planta de procesamiento de café”

Rolando Chacón Araya, Jefe de la Unidad de Industrialización y Sección de Calidad, ICAFE



El escalamiento del sistema BIOCRISOL representa una oportunidad estratégica para avanzar en la descarbonización del sector agroindustrial, mediante el aprovechamiento energético de residuos agrícolas y el fortalecimiento de capacidades locales en innovación tecnológica limpia.



Biomatec ha contribuido a la creación de capacidades locales para el desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas en energías limpias aplicadas al sector agropecuario. A través del diseño, construcción y validación del sistema BIOCRISOL, la empresa ha consolidado un modelo de innovación que integra conocimientos avanzados en aprovechamiento de biomasa, al tiempo que promueve la participación activa de personas jóvenes profesionales y técnicas en todo el proceso. Este enfoque no solo ha fortalecido el talento humano en ingeniería para la transición energética, sino que también ha demostrado el potencial de las juventudes para liderar procesos de transformación tecnológica en zonas rurales, aportando a la descarbonización y sostenibilidad del agro costarricense.



REFERENCIAS

Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Academic Press.

IEA. (2023). Latin America Energy Outlook 2023. https://www.iea.org/reports/latin-america-energy-outlook-2023

Instituto del Café de Costa Rica. (2024). Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informes_gestion/actividad_cafetalera/Informe%20Actividad%20Cafetalera%20de%20Costa%20Rica%202024.pdf

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT). (2020). Estrategia Nacional de Bioeconomía Costa Rica 2020–2030. https://www.conagebio.go.cr/Conagebio/public/documentos/Estrategia%20Nacional%20Bioeconom%C3%ADa%20CR.pdf

Murthy, P. S., & Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. Resources, Conservation and Recycling, 66, 45–58. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005

Torres, C., Urvina, L., & De Lasa, H. (2019). A chemical equilibrium model for biomass gasification. Application to Costa Rican coffee pulp transformation unit. Biomass and Bioenergy, 123, 89-103. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.025

CRÉDITOS

Agradecemos a todas las personas e instituciones que colaboraron en este proceso, incluyendo a Cindy Torres, Luis Urvina y Luis Araya de Biomatec y Rolando Chacón Araya de ICAFE. Un agradecimiento especial a Marco Chaves (Gerente, Biomatec) por sus contribuciones para 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 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

