



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



# **BioGNV - Gas Natural Vehicular Renovable**

## **Sistema integrado para la revalorización del rastrojo de la producción de piña para disminuir las emisiones de GEI, promover la transición energética y mejorar la protección ambiental**

**Presentado por:**

Ing. Juan Pablo Rojas Sossa, M.Sc.

**Fecha:**

10/02/2025

# Ing. Juan Pablo Rojas-Sossa, M.Sc.

Académico, investigador y emprendedor

Experto en bioenergía por medio de bioprocesos

X: @juanpablo13007

<https://orcid.org/0000-0002-1963-3102>

- ✓ Bach. y Lic. Universidad de Costa Rica, Ingeniería Agrícola 2015.
- ✓ M.Sc. Michigan State University, Biosystems Engineering 2019.
- ✓ Estudiante de Doctorado en Ingeniería, Universidad de Costa Rica (2021-2025)



## Intereses

- Interesado en los esfuerzos del país en reconversión de residuos orgánicos a productos de valor, por medio el liderazgo en el uso del concepto de la bioenergía y el uso de los recursos biomásicos.
- Proyectos colaboración Universidad/Sector Externo. Ejemplos: CoopeTarrazú R.L., Cámara Piñeros Unidos, ASADA de Monteverde, Grupo Mathiesen, Grupo RABSA.

## Artículos Periodísticos

- MSU turns zoo waste into power. <https://www.youtube.com/watch?v=ovjrL5cOk58&t=8s>
- WASTE360: <https://www.waste360.com/anaerobic-digestion/how-detroit-zoo-converting-manure-food-scrap-energy>
- CEGIREH: <https://www.youtube.com/watch?v=0c9ZDXn-Cig>

## Publicaciones

1. Rojas-Sossa, J. P., Murillo-Roos, M., Uribe, L., Uribe-Lorio, L., Marsh, T., Larsen, N., ... Liao, W. (2017). Effects of coffee processing residues on anaerobic microorganisms and corresponding digestion performance. *Bioresource Technology*, 245, 714–723. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.098>
2. Rojas-Sossa, J. P., Zhong, Y., Valenti, F., Blackhurst, J., Marsh, T., Kirk, D., ... Liao, W. (2019). Effects of ammonia fiber expansion (AFEX) treated corn stover on anaerobic microbes and corresponding digestion performance. *Biomass and Bioenergy*, 127(January), 105263. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105263>
3. Zhong, Y., Chen, R., Rojas-Sossa, J.-P., Isaguirre, C., Mashburn, A., Marsh, T., ... Liao, W. (2020). Anaerobic co-digestion of energy crop and agricultural wastes to prepare uniform-format cellulosic feedstock for biorefining. *Renewable Energy*, 147, 1358–1370. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.106>
4. Valenti, F., Rojas-Sossa, J. P., Zhong, Y., Porto, S. M. C., Toscano, A., Marsh, T., ... Liao, W. (2022). Effects of Mediterranean agricultural residues on microbial community and anaerobic digestion performance. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(2), 523–536. <https://doi.org/10.1002/bbb.2521>
5. Da Luz Castro, J., Rojas Sossa, J. P., Bustamante Román, M. (2023). Techno-Economic Analysis of Biogas Production from Pineapple Leaves Juice and Chicken Manure in Anaerobic Codigestion. *Ingeniería*, 2215-2652

# Producción de biogas por medio de la aplicación de la digestión anaerobia

**Residuos animales**



**Aguas residuales ordinarias**



**Residuos orgánicos municipales y agrícolas**



**Planta de Biogás**



**Fertilizante líquido**



**Fertilizante sólido**



**Producción de calor**



**Producción de electricidad**



**Transporte cero emisiones**

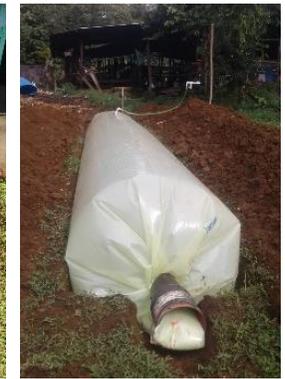


## Historia y Estado del Arte de la Digestión Anaeróbica en Costa Rica

- Costa Rica presenta una extensa trayectoria en el uso e implementación de biodigestores.
- Los primeros usos de la tecnología de biogás en Costa Rica no están claramente documentados, pero a inicios y mediados de la década de 1970, José Gabriel Castillo Araya del Instituto Tecnológico de Costa Rica comenzó a implementar varios biodigestores piloto.



# Biodigestores por todo lado



Fuente: Asobiogás, 2022.



# Hacia el futuro de la industria del biogás de Costa Rica



# EIB: Bioenergi

- Caracterización fisicoquímica de sustratos
- Ensayos de Potencial de Biometano de sustratos
  - Batch
  - Semicontinua
- Capacidades para prueba piloto de concepto a nivel comercial.
- Prospección genómica de comunidades microbianas
- Equipo de Laboratorio especializado.
- Recurso humano altamente entrenado.

EIB Escuela de  
Ingeniería de Biosistemas

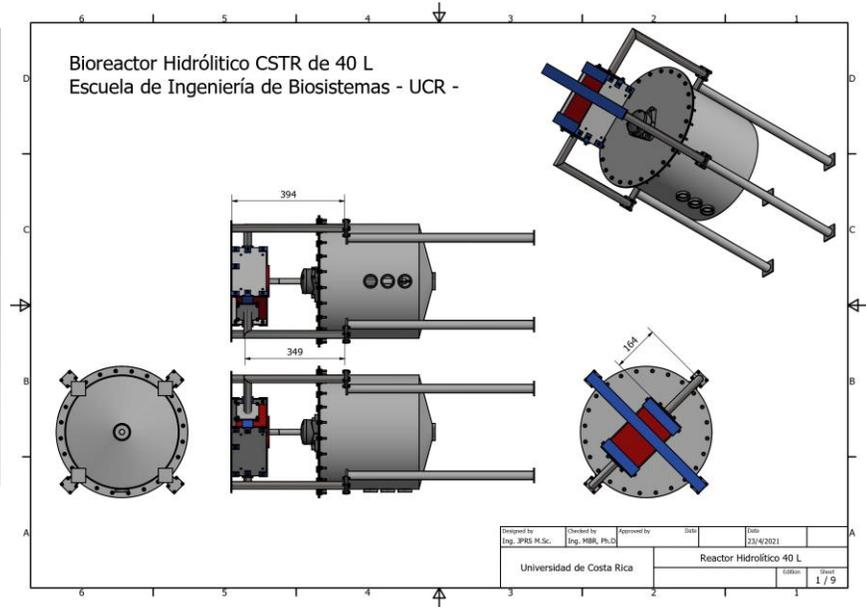
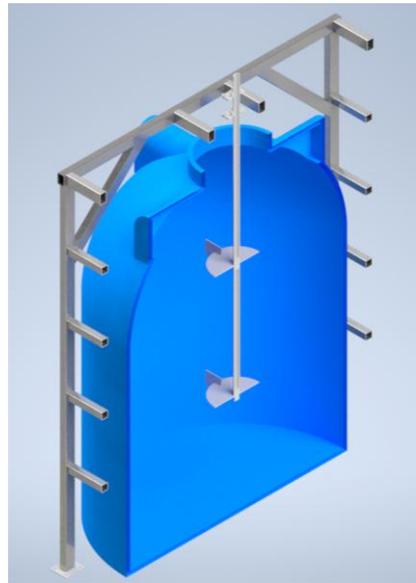


UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

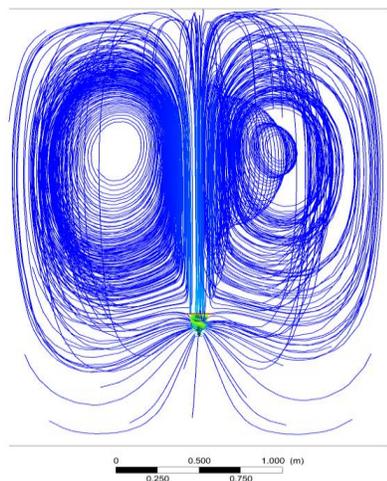
Ubicación: Laboratorio de Bioenergía, Escuela de Ingeniería de Biosistemas,  
Universidad de Costa Rica



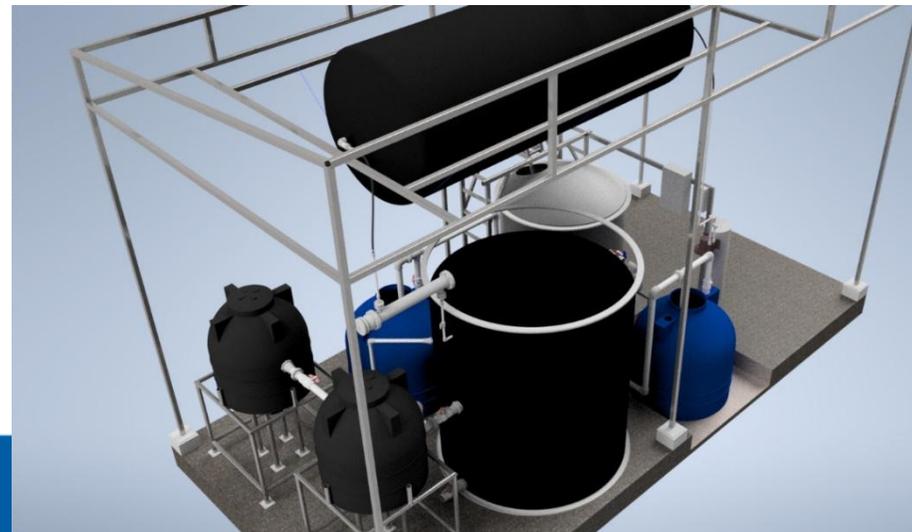
# Diseño de sistemas de pilotos



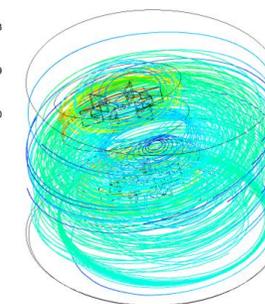
Velocity Streamline 1  
1.613e+001  
1.210e+001  
8.064e+000  
4.032e+000  
0.000e+000  
[m s<sup>-1</sup>]



ANSYS R18.0 Academic

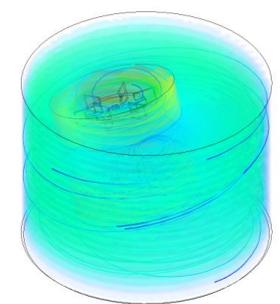


Velocity Streamline 1  
6.795  
5.097  
3.398  
1.699  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]



ANSYS R18.0 Academic

Velocity Volume Rendering 1  
6.795  
5.097  
3.398  
1.699  
0.000  
[m s<sup>-1</sup>]



# Construcción de sistemas de pilotos



# Operación y evaluación de sistemas de pilotos



# Trabajo Interdisciplinario para resolver problemas reales





# Revalorización del Rastrojo de Piña para la producción de biogás

Proyecto C3408



# Iniciativa de Biometano a partir del rastrojo de la piña (IBP)

## Ejes conductores:

- transición energética
- mitigación de GEI en sectores de difícil descarbonización
- bioeconomía sostenible y circular
- mejor manejo de los residuos

## Enfoques:

- mejorar el nivel de desarrollo de la tecnología
- crear condiciones habilitantes
- promover propuestas de valor agregado para el escalamiento e integración de la sustitución de diésel por combustibles biomásicos verdes

# Región de estudio

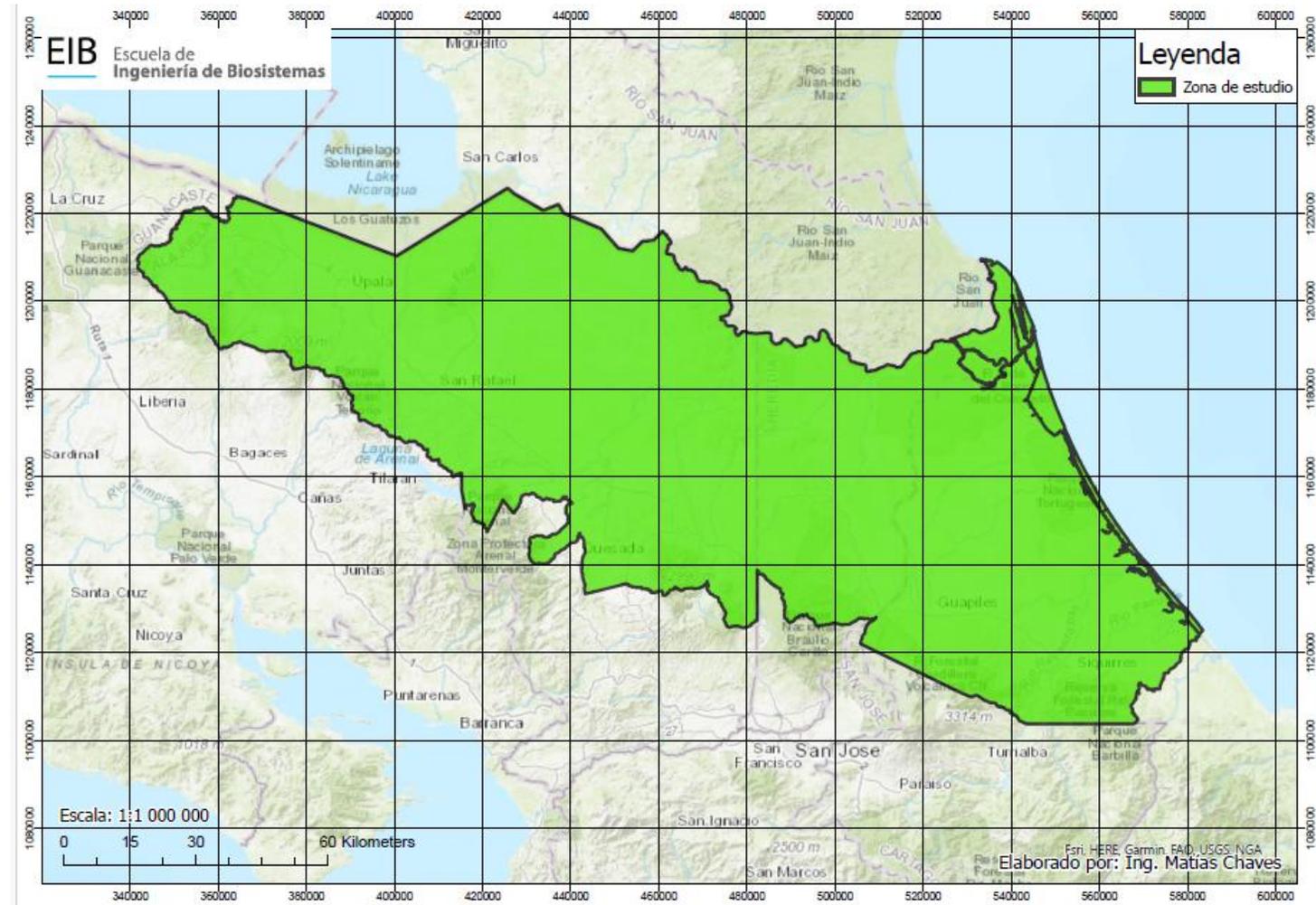


UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

FundaciónUCR

Fuente: Bustamante, Rojas, Rodríguez, Chaves, Coto; 2024).

- La zona geográfica de estudio se delimitó a sectores donde se encuentra la producción de piña.
- Abarcando un área de 13 569,6 km<sup>2</sup>.
- Zona de interés: regiones Huetar Norte y Atlántica



# Oferta Bruta de Recursos Biomásicos

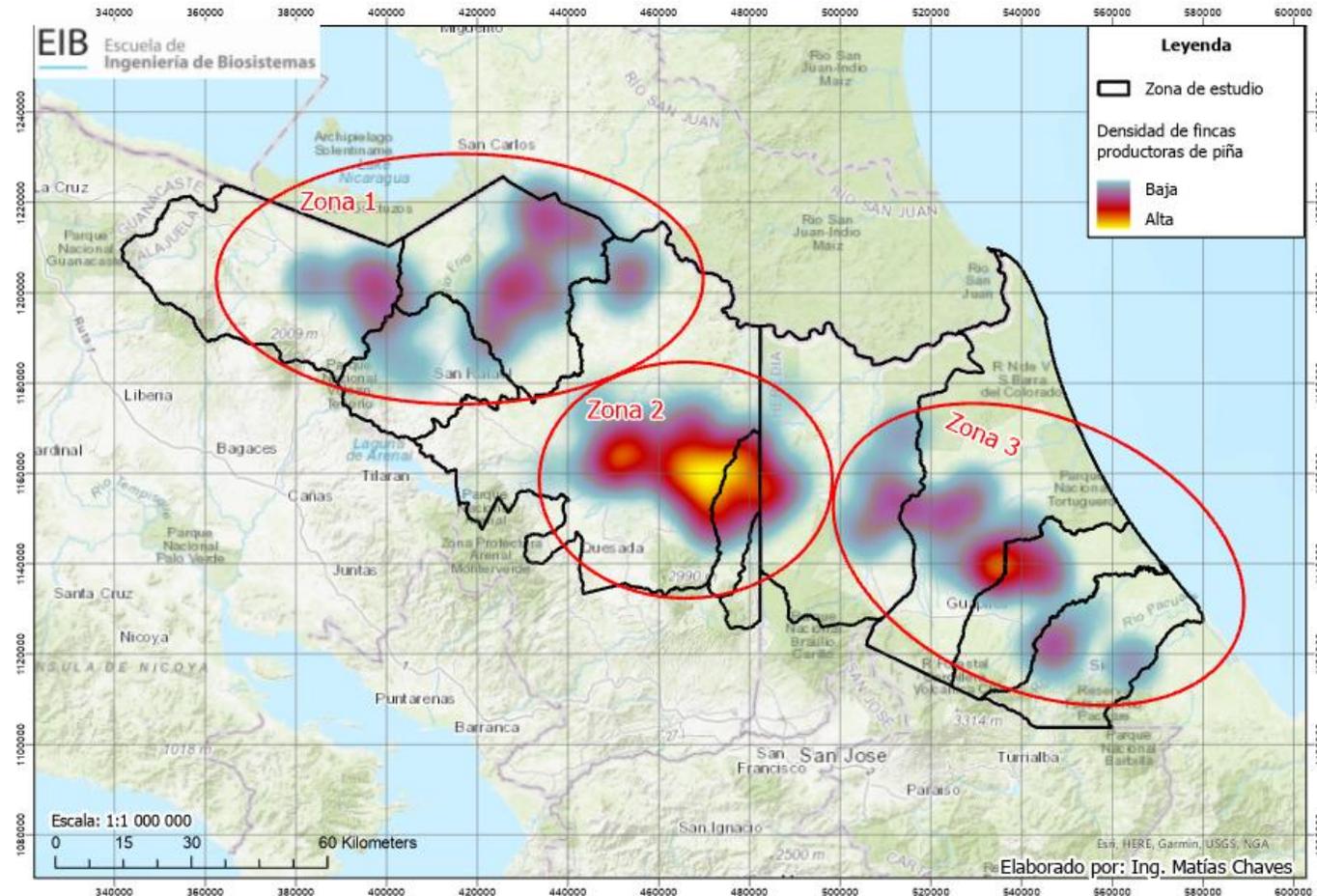


UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

FundaciónUCR

Fuente: Bustamante, Rojas, Rodriguez, Chaves, Coto; 2024).

- 56 000 ha (88% de la producción de piña del país) integradas en SIG
- Potencial bruto de rastrojo de 6.49 millones ton/año (+/-30% incertidumbre)
- Cosustratos de actividades pecuarias identificados en estadísticas cantonales
- Identificación de 3 “zonas calientes” con alta densidad de disponibilidad



# Producción de GNV con rastrojo



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



- Construir modelos económicos sobre las estructuras de costos de la producción de cajas de piña.

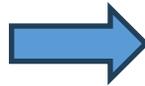
- Estructurar mejor las cadenas de valor alrededor de la producción de biometano del rastrojo de la piña.

# Caracterización del rastrojo de piña



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FundaciónUCR



Desfibrado y molienda del rastrojo para obtención de la fase líquida del rastrojo (FLRP)

Caracterización del rastrojo de piña

Contenido de humedad (%)	Sólidos totales (%)	Ceniza (%)	Sólidos volátiles (%)	Nitrógeno (%)
88,35 ±0,16	11,65 ±0,16	0,5 ±0,11	11,14 ±0,18	0,78 ±0,18

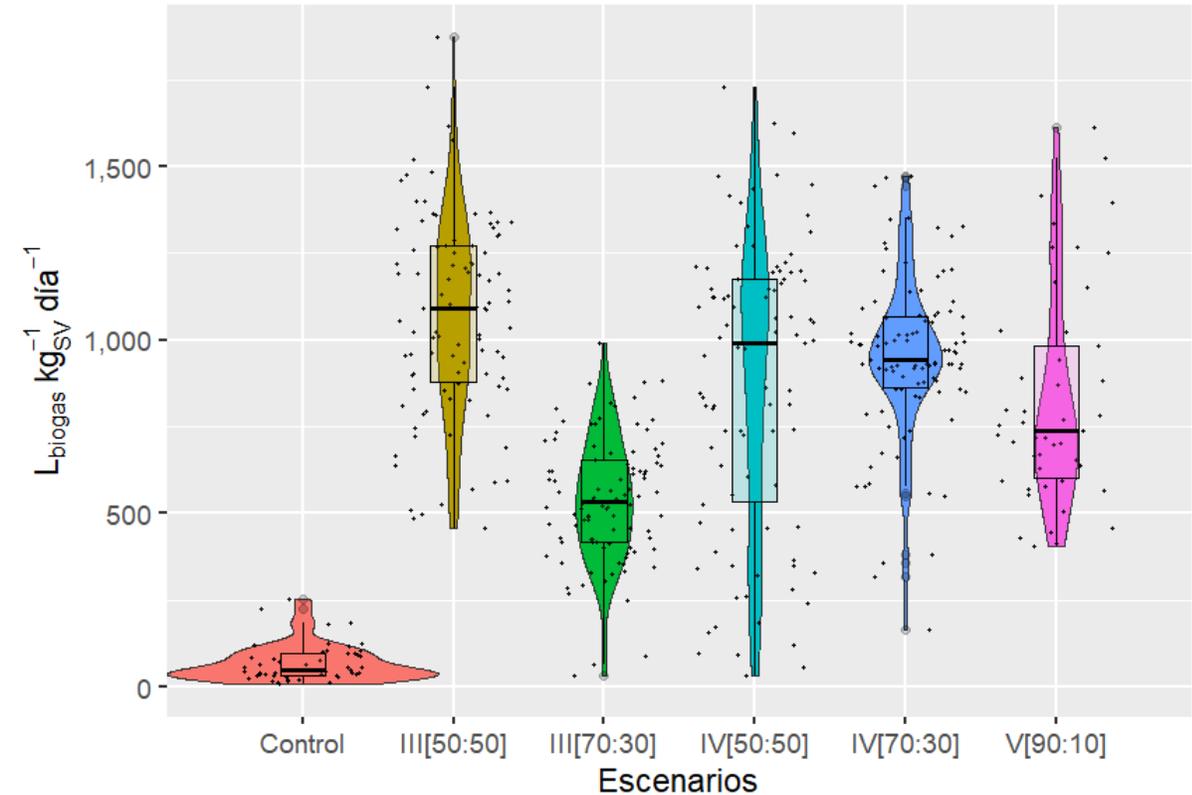
Caracterización del FLRP para digestión anaeróbica

Sólidos totales (%)	Ceniza (%)	Sólidos volátiles (%)	Nitrógeno (% ST)	Carbono (% ST)	C/N
3,66 ±0,1	1,08 ±0,01	2,58 ±0,1	3,69	33,01	8,9

# I&D: Productividad del Biogás (PB)



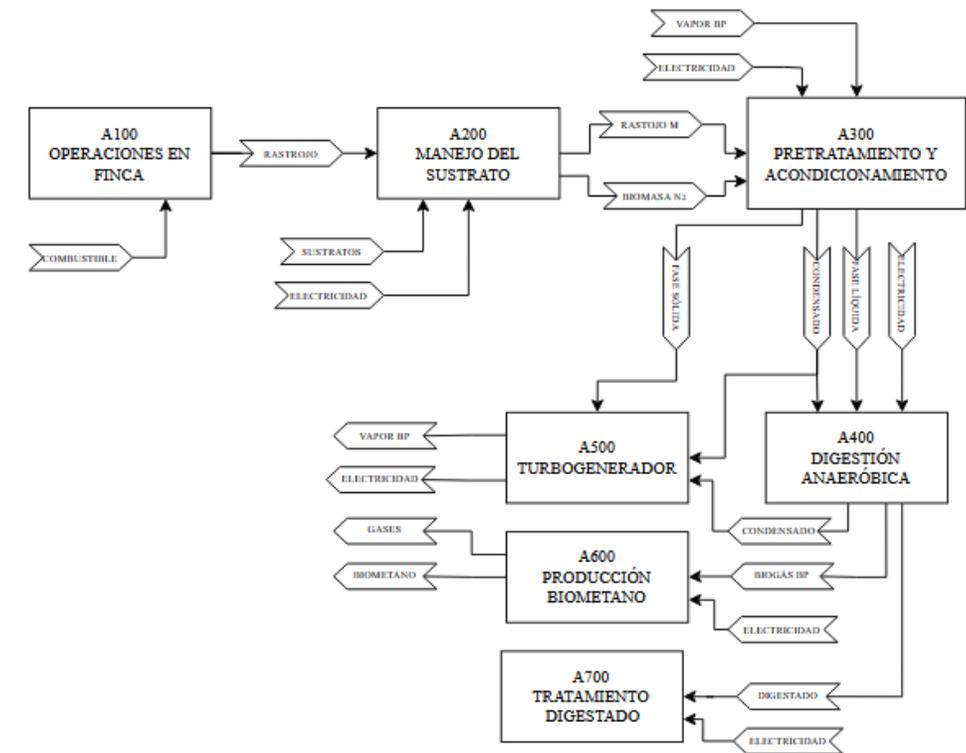
Pruebas en reactores de tipo “batch” y de flujo continuo (+ 4 meses de operación)



PB en el rango de 842-1.092  
litros de biogás/kg SV/día

# Planta de Referencia de Biometano (RP)

- DA en dos fases con volumen de 3 000 m<sup>3</sup>
- Masa sustratos: 130 t/d (rastrajo), FLRP: 99.5 t/d, excretas animales: 2.1 t/d
- Área de cosecha de rastrajo: 0.6 ha/d
- Producción de la PR: 144 m<sup>3</sup> biogás/h
- Contenido energético del biogás: 7 363 MWh (900 kW)
- Producción de biometano: 2 490 m<sup>3</sup> /d a 96% (909 021 m<sup>3</sup> /y)
- Producción de energía eléctrica: 1 188 kW de los cuales 53% son para auto consumo, permitiendo exportación a la red o desarrollo de otros usos productivos (cadenas de frío)
- Producción de digestados: 98 t/d (fertilizantes)



# Planta de Biometano en Jepua-Finlandia

La energía producida con biogás es 3,5 MW

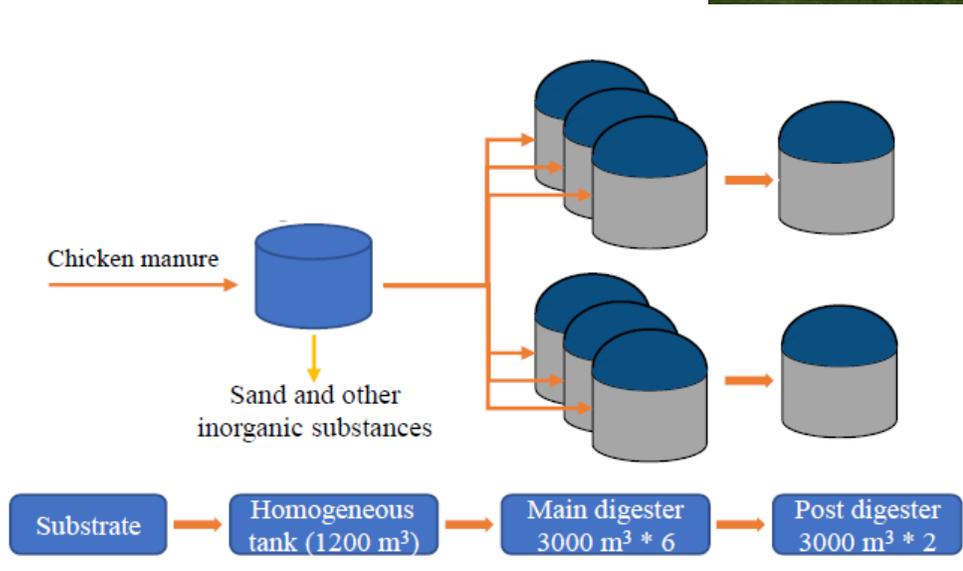
Digestores 3x3500 m<sup>3</sup>



# Planta de Biometano en Yantang-China

Energía eléctrica de 60 000 kWh/día

Digestores 8x3000 m<sup>3</sup>



Ref: IEA Bioenergy Task 37. Minhe chicken manure biogas plant. 2021.

# Planta de Biogás en MSU- Estados Unidos

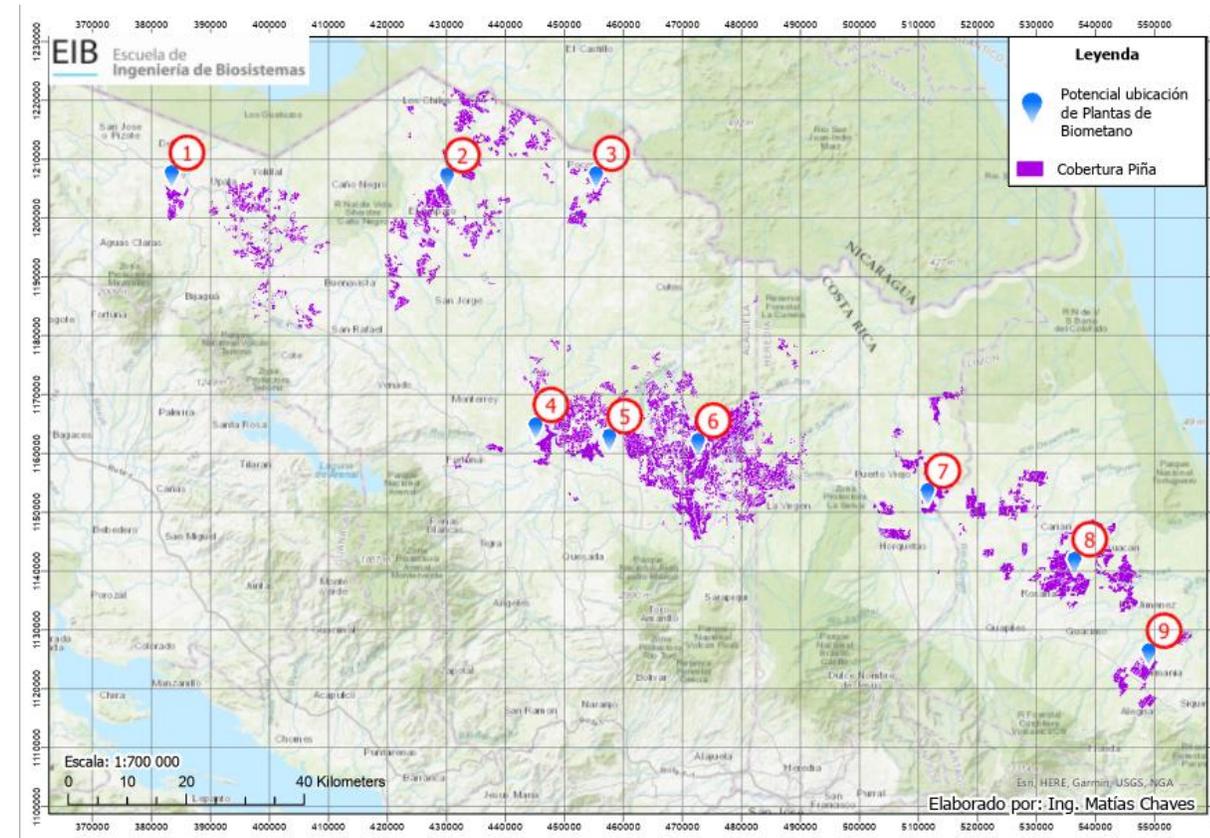
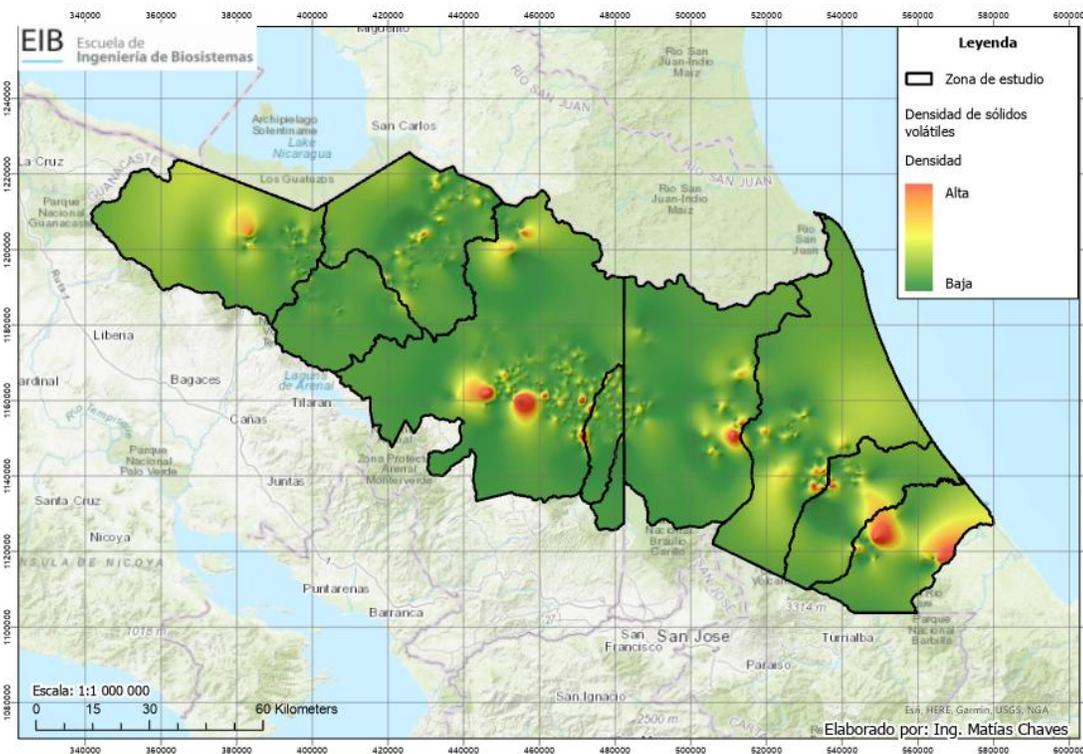
Energía eléctrica de 450 kW

Digestor 1x1400 m<sup>3</sup>





# Oferta y Disponibilidad de Sólidos Volátiles (SV)

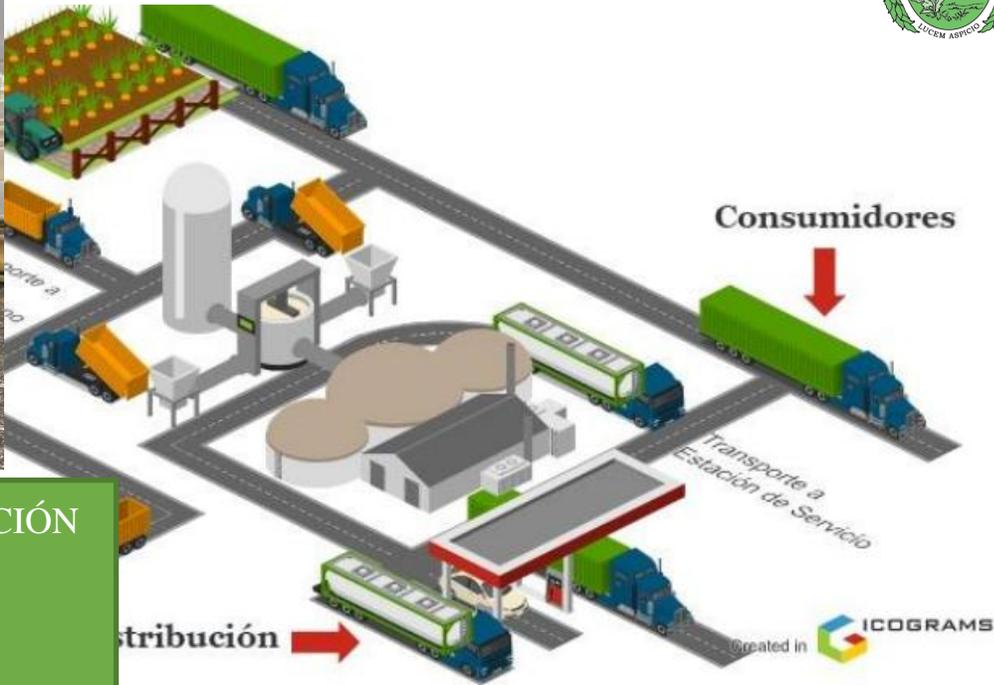


Rastrojo: 148 031 t SV/año  
Excretas animales: 369 092 t SV/año

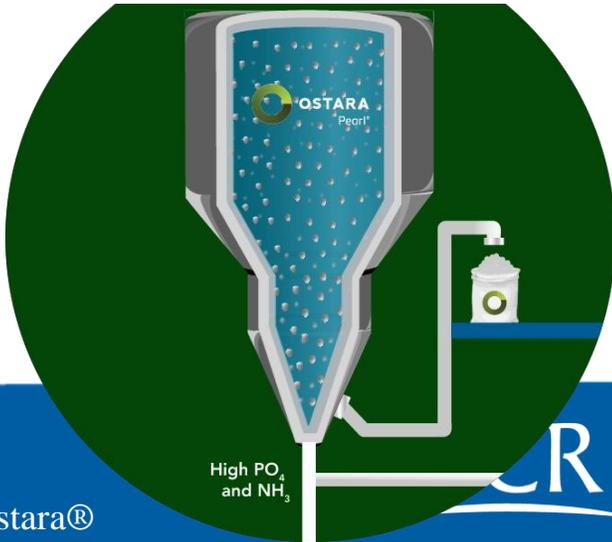
## Potenciales impactos anuales de la IBP (suponiendo un 50% de manejo mejorado del rastrojo al 2030)

- 3 + millones de toneladas de residuos bajo mejores prácticas de manejo
- 616 millones de metros cúbicos de biometano disponibles como combustible verde en la matriz energética
- 77 millones de litros equivalentes de diésel desplazados
- 103.455 toneladas de CO<sub>2</sub>eq por año desplazadas por el cambio de práctica de manejo de los residuos (3% de las emisiones del sector agrícola)
- 794 nuevos empleos (+STEM) en el área rural del país
- 450 millones US\$ en movilización de capital de inversión

# Recuperación de nutrientes del digestado de las plantas de biometano

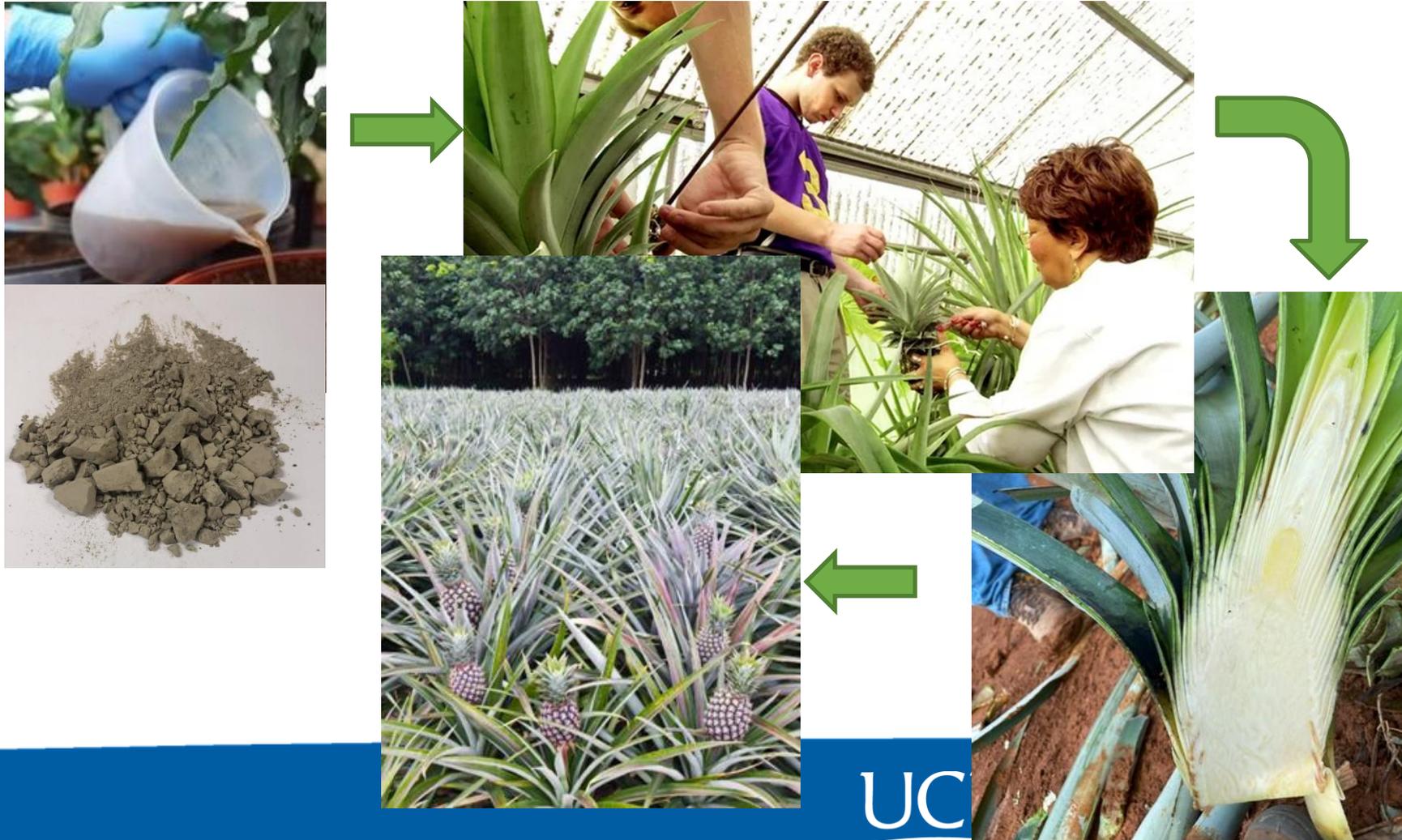


SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ESTRUVITA ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) Y BIOSOLIDOS



Fuente: Ostar®

# Evaluación química y microbiológica de los nutrientes recuperados de los efluentes del biodigestor luego de la digestión de los residuos del rastrojo de la piña



- En condiciones de **invernadero**
- Determinar el **crecimiento vegetal** bajo un **plan de fertilización**
- **Rendimiento** productivo
- Mejoramiento de comunidades de **microorganismos fijadores de N y P**
- Es necesario realizar una evaluación del **ciclo completo del cultivo**



# Resultados esperados

Impacto ambientales sobre el análisis de ciclo de vida

- Cambio climático
- Acidificación
- Eutrofización
- Smog fotoquímico

**Escenario 1**  
Manejo convencional  
del rastrojo

**Escenario 2**  
Producción de  
biometano a partir  
de rastrojo

**Escenario 3**  
Producción de biometano a partir de rastrojo  
+ Recuperación de nutrientes y mejoradores  
de suelo

**Unidad funcional:** 1 tonelada de rastrojo

# Objetivos de desarrollo sostenible



- **7.1** Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos
- **7.2** Aumentar la proporción de energía renovable.
- **12.4** De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida
- **13.4** Promover prácticas de adquisición pública que sean sostenibles, de conformidad con las políticas y prioridades nacionales



# Objetivos de desarrollo sostenible



- **2.3** Aumentar la productividad agrícola y la sostenibilidad.
- **6.3** Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación.
- **6.4** Incrementar la eficiencia en el uso del agua.
- **14.1** Prevenir la contaminación marina.
- **15.3** Combatir la desertificación y restaurar tierras degradadas.



고마움

# Agradecimientos Acknowledgments

# KOICA

Agencia de Cooperación  
Internacional de Corea (KOICA)



Banco Centroamericano de  
Integración Económica



Departamento de Estado de  
los Estados Unidos  
(Embajada en San José)



Programa Hélice UCR

## Diprovid

Dirección de  
Promoción de la Innovación  
y Vínculo para el Desarrollo

Dirección de Promoción de la  
Innovación y Vínculo para el  
Desarrollo

# UCR

# Muchas gracias!

**Ing. Juan Pablo Rojas Sossa, M.Sc.**

Correo: [juan.rojas\\_s@ucr.ac.cr](mailto:juan.rojas_s@ucr.ac.cr)

Teléfono: +506 2511-4146

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1963-3102>

**EIB** Escuela de  
Ingeniería de Biosistemas



**Juan Pablo Rojas Sossa**  
Profesor e Investigador

