



SABEMOS
LO QUE HACEMOS



Biotecnología microbiana y bioeconomía circular en la cadena de valor del café

Cristian Camilo Arboleda
Disciplina de Ingeniería

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café



EL desafío ambiental de la caficultura

La caficultura genera una gran cantidad de biomasa residual



- Alrededor del 92% del fruto es biomasa residual

- El 60% del fruto corresponde únicamente a pulpa de café y mucílago

- Esta biomasa residual puede generar graves impactos ambientales

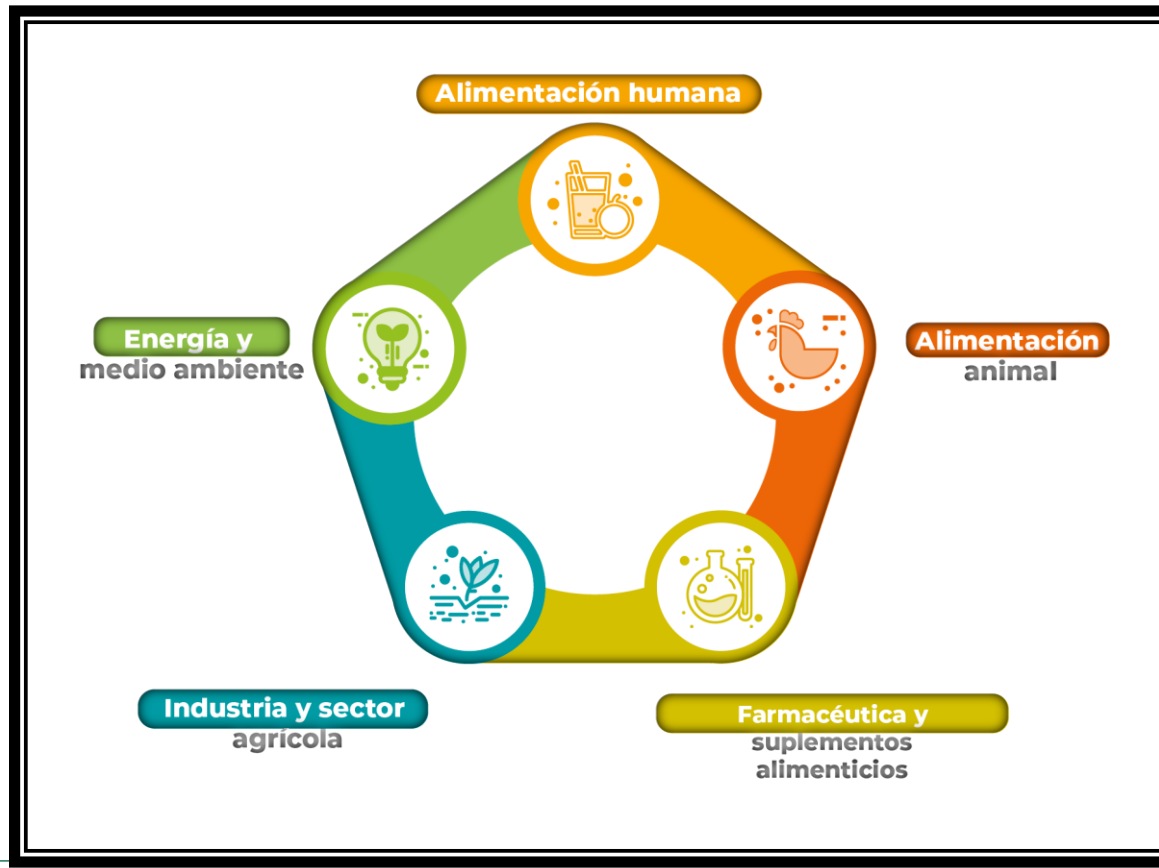
- Tiene alto potencial para generar coproductos de valor agregado

Rodríguez, 2023

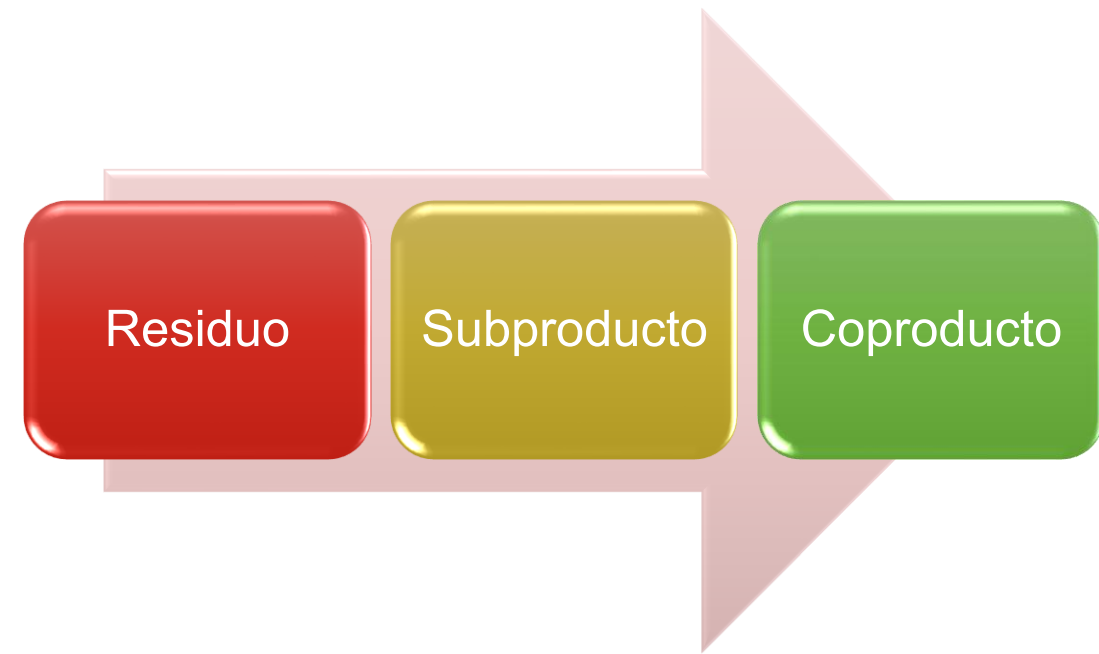


Aprovechamiento de la biomasa residual

Bioeconomía circular



Modelo de producción y consumo responsable





Hacia una bio-refinería cafetera

La transición del modelo lineal al circular requiere transformar la biomasa residual en coproductos y aprovechar todos sus componentes de interés



Ciclaje de nutrientes

Retorno de nutrientes al suelo



Autosuficiencia

Energía eléctrica y calórica para satisfacer necesidades



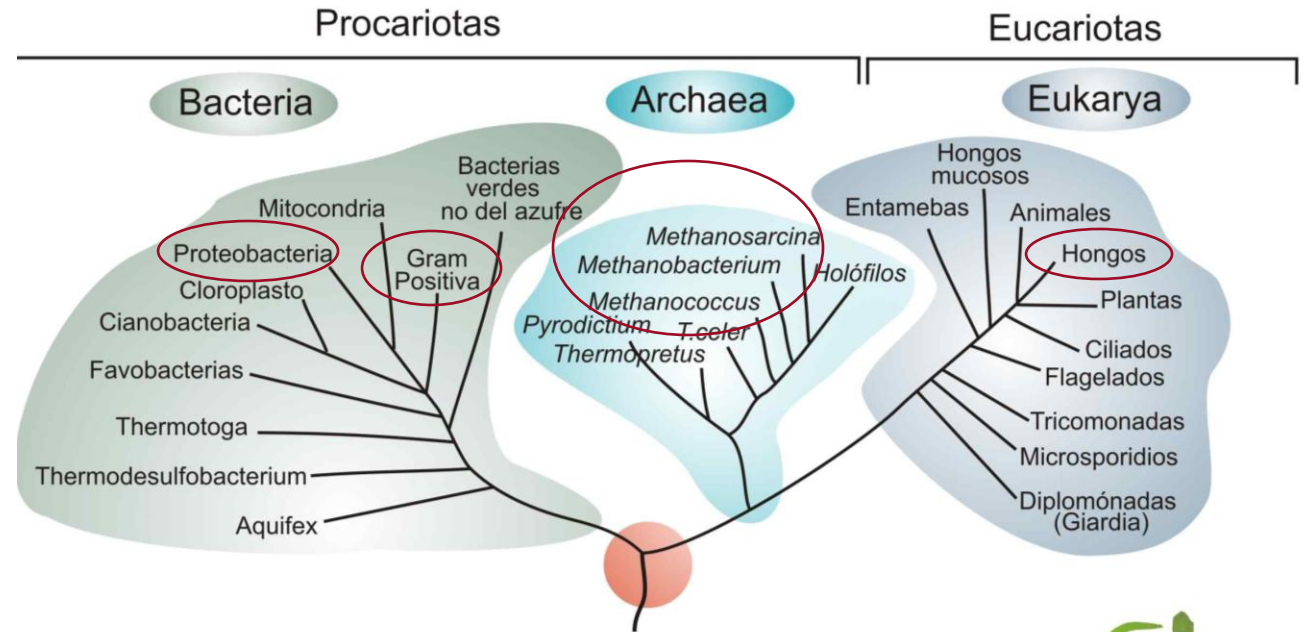
Valor agregado

Diversificar los ingresos económicos para mayor sostenibilidad

Biotecnología microbiana



Uso de organismos vivos, células o sistemas biológicos para crear y modificar productos o procesos con fines específicos.

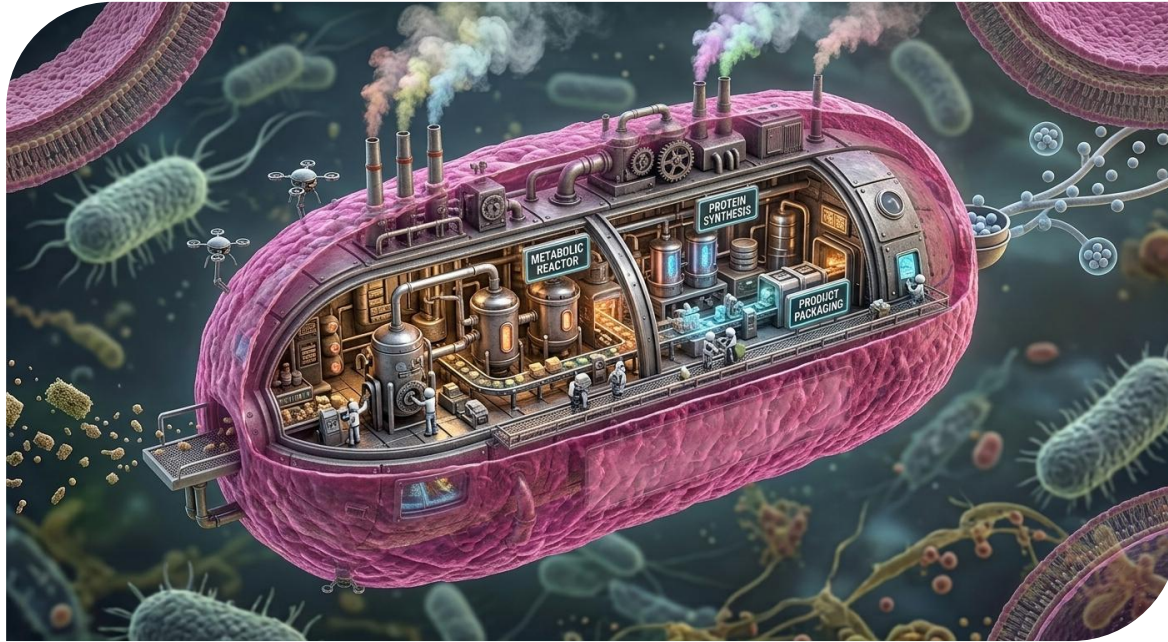


ARBOL FILOGENÉTICO DE LA VIDA





Biotransformación y bioprospección



Transformar la materia orgánica a través del metabolismo microbiano para generar productos de interés.

Bioprospección

Explorar la diversidad para descubrir organismos con potencial para aplicaciones biotecnológicas.



Las Micorrizas Arbusculares en el cultivo del café

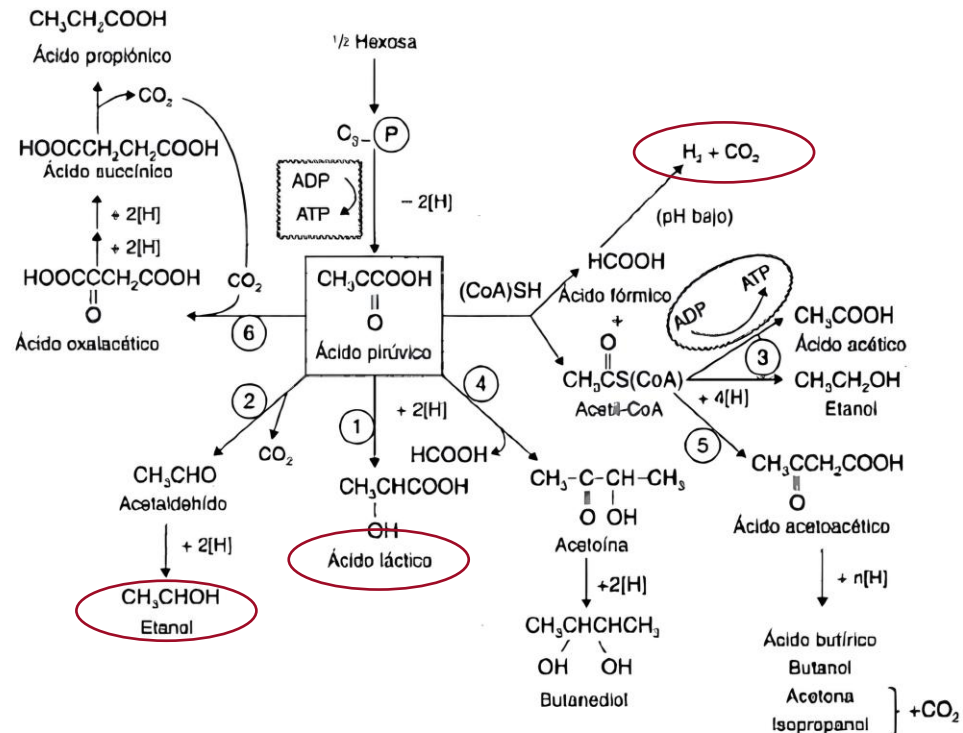
Carlos Alberto Rivillas Osorio



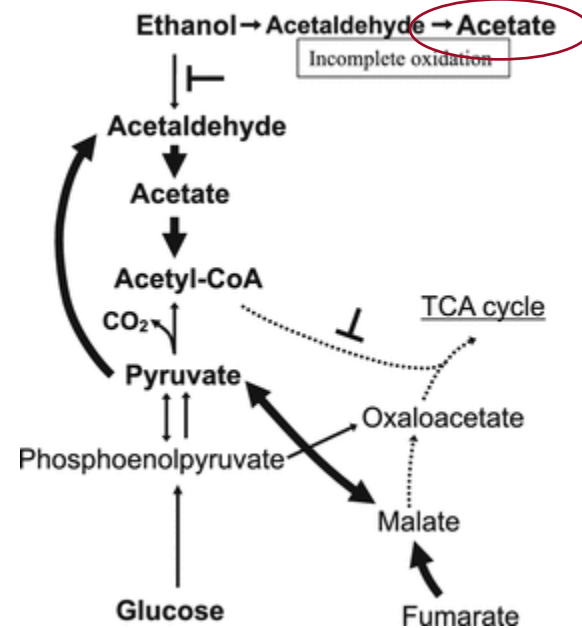
Número 182
Octubre 1992

**PRODUCCION EN FINCA DEL HONGO *Beauveria bassiana*
PARA EL CONTROL DE LA BROCA DEL CAFE**

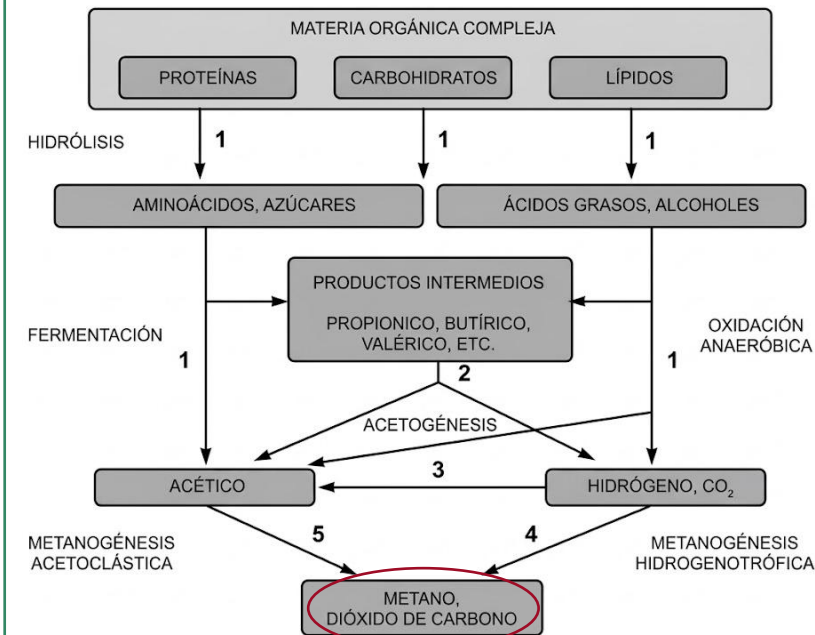
Olga Patricia Antia-Londoño*
Francisco Javier Posada-Florez*
Alex Enrique Bustillo-Pardey*
María Teresa González-García*



Fermentaciones



Oxidaciones



Digestión anaerobia

Forbes, 2009



Agricultura 4.0 y Agricultura regenerativa



Agricultura inteligente que integra tecnología, sistemas de gestión basados en datos y sistemas biológicos para aumentar la eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad ambiental.

Prácticas agrícolas centradas en la rehabilitación y conservación del suelo, la biodiversidad y ciclos biológicos del ecosistema.



Rezaee, 2025



Compostaje

proceso de degradación y mineralización controlado de la materia orgánica por medio de microorganismos y agentes físicos, con el fin de producir biofertilizante.

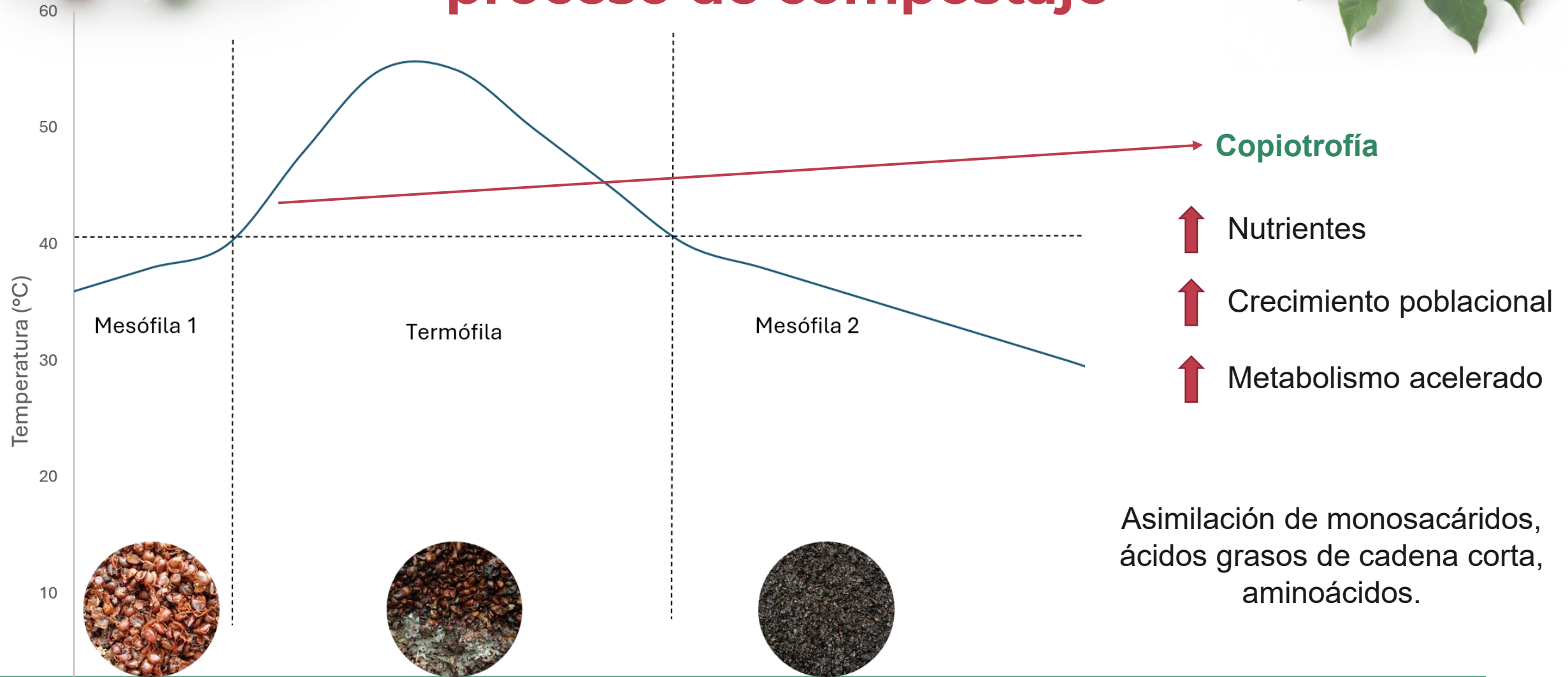


Interacción ecológica entre diferentes grupos funcionales de microbios que se alimentan de diferentes compuestos orgánicos

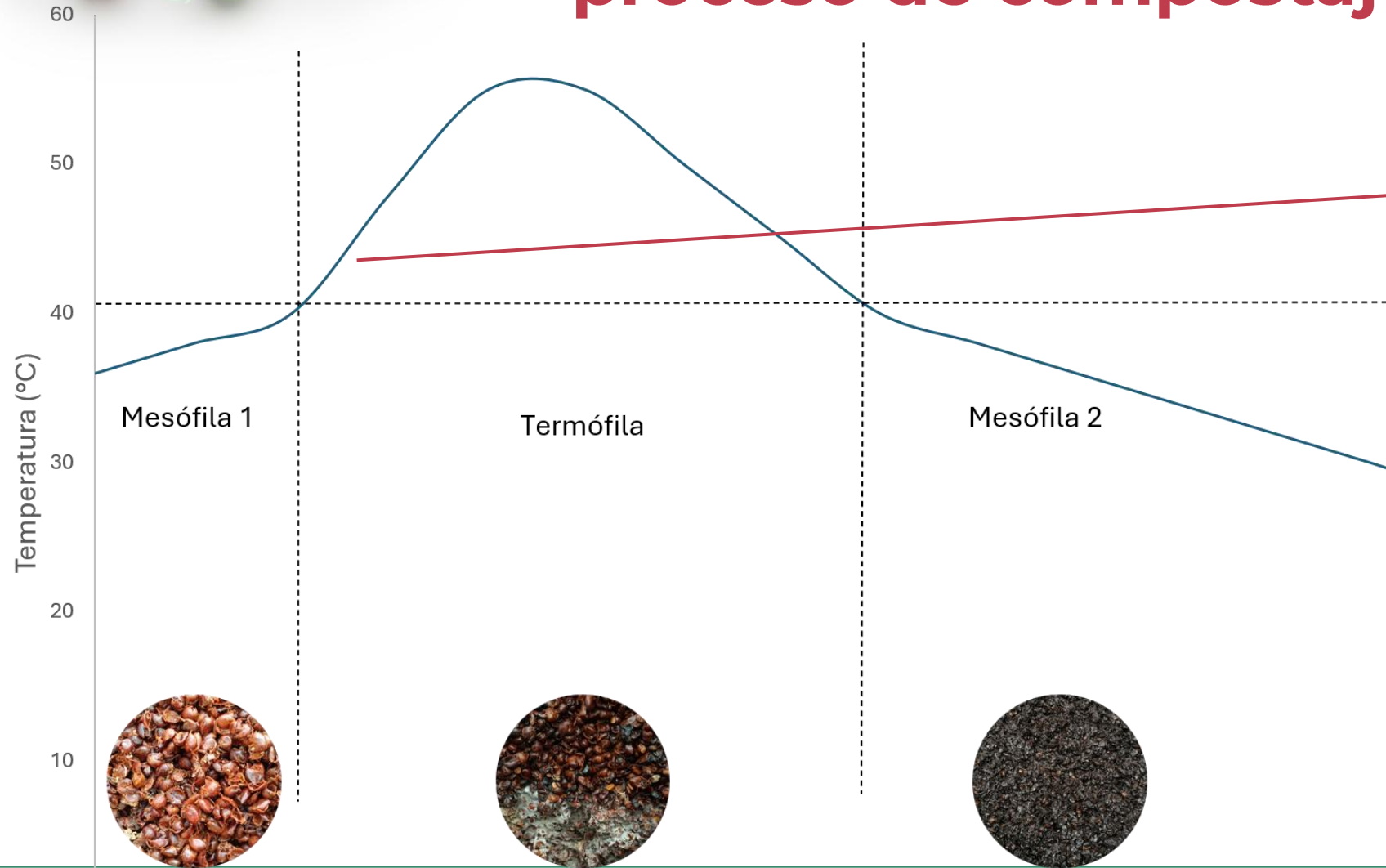


Rodríguez, 2023

Sucesión ecológica en el proceso de compostaje



Sucesión ecológica en el proceso de compostaje



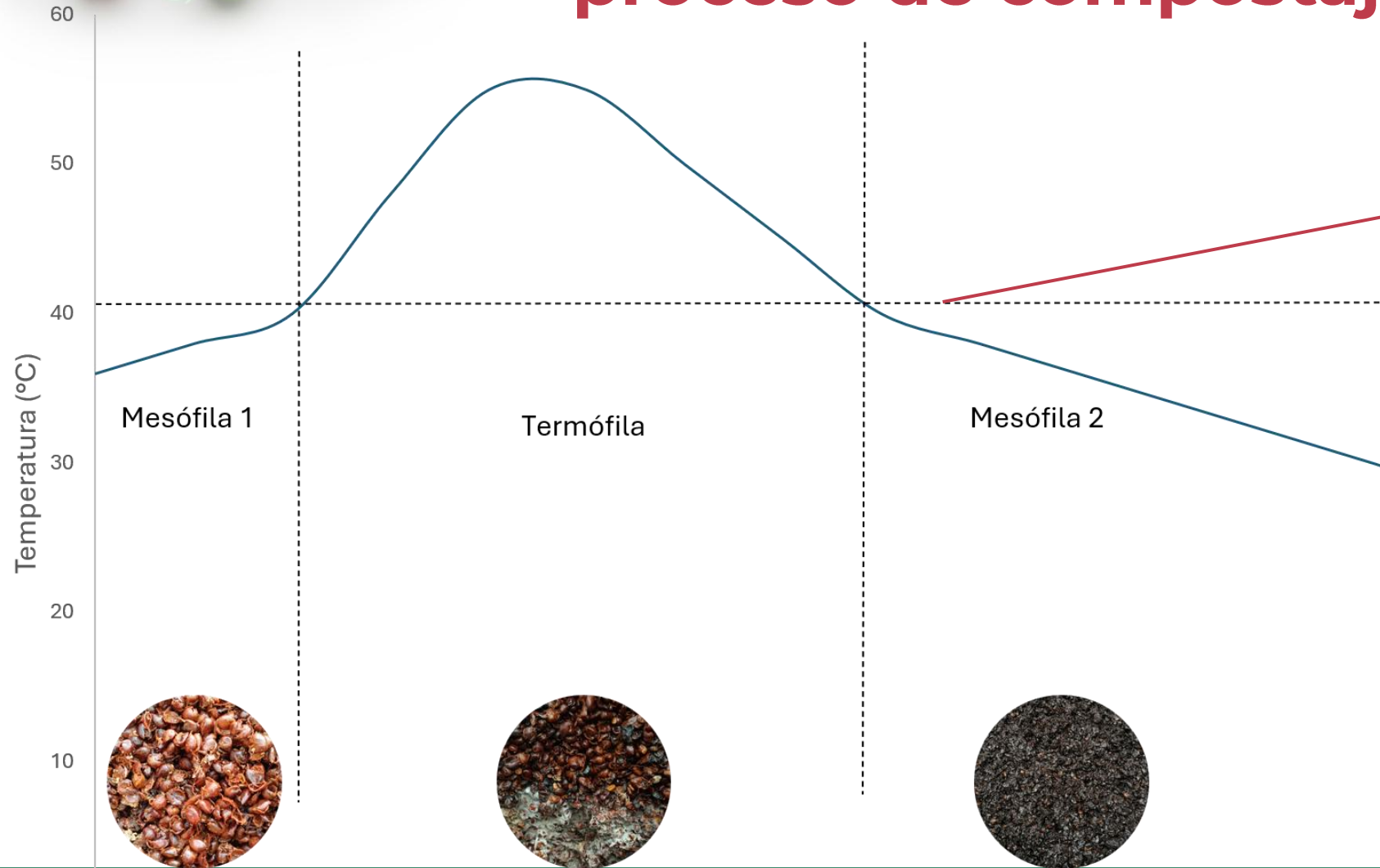
Copiotrofía

- Levaduras
- Enterobacterias
- Bacterias ácido lácticas
- Bacterias ácido acéticas





Sucesión ecológica en el proceso de compostaje



Oligotrofía



Nutrientes

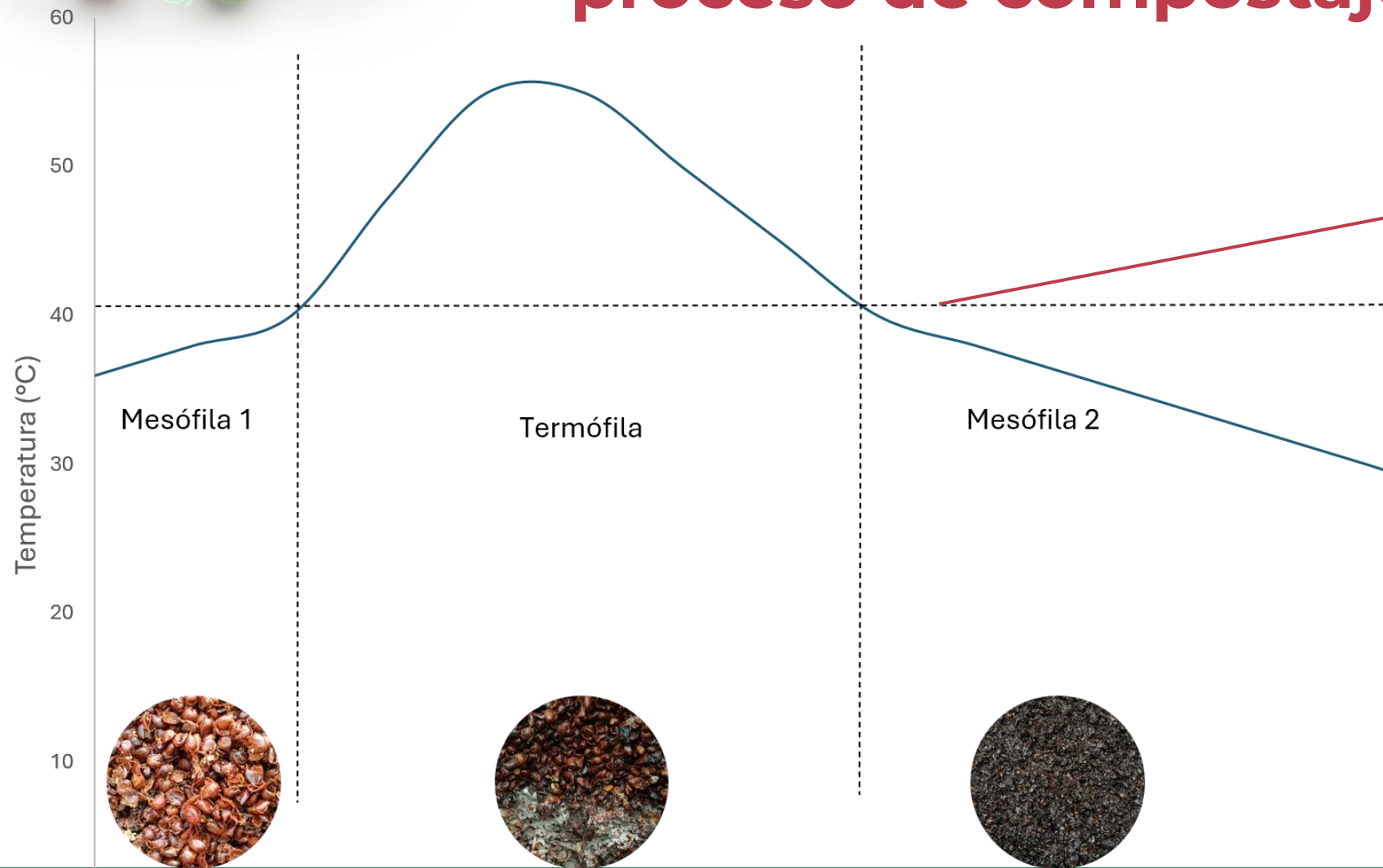
Secreción de enzimas para la solubilización de nutrientes de difícil asimilación

Estabilización del material y generación de compuestos fertilizantes.

Asimilación de polisacáridos, lignina, celulosa, hemicelulosa o fibras.



Sucesión ecológica en el proceso de compostaje



Oligotrofía

- Mohos
- Actinomicetos
- Pseudomonadales





Microorganismos acelerantes

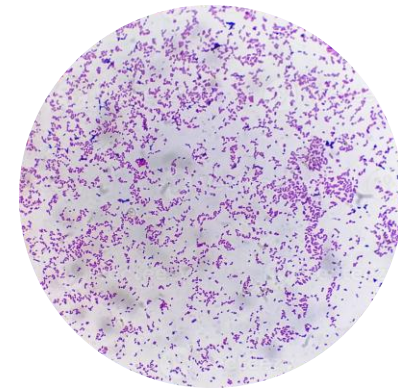


Actualmente, existen diferentes productos comerciales que ayudan a acelerar el proceso de degradación de los compostados, llamados acelerantes de descomposición.



Contienen diversos aditivos como bioaumentadores, bioestimulantes y enzimas.

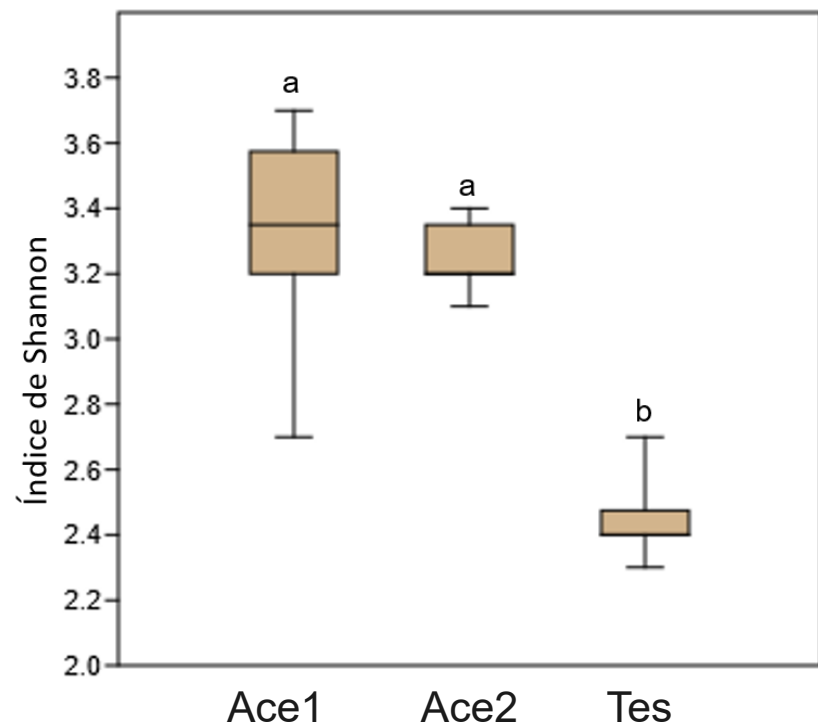
Aceleran el proceso de degradación de la materia orgánica.





Antecedentes

Diversidad



La adición de acelerantes de descomposición aumenta la diversidad de microorganismos en el compost.

Mayor diversidad

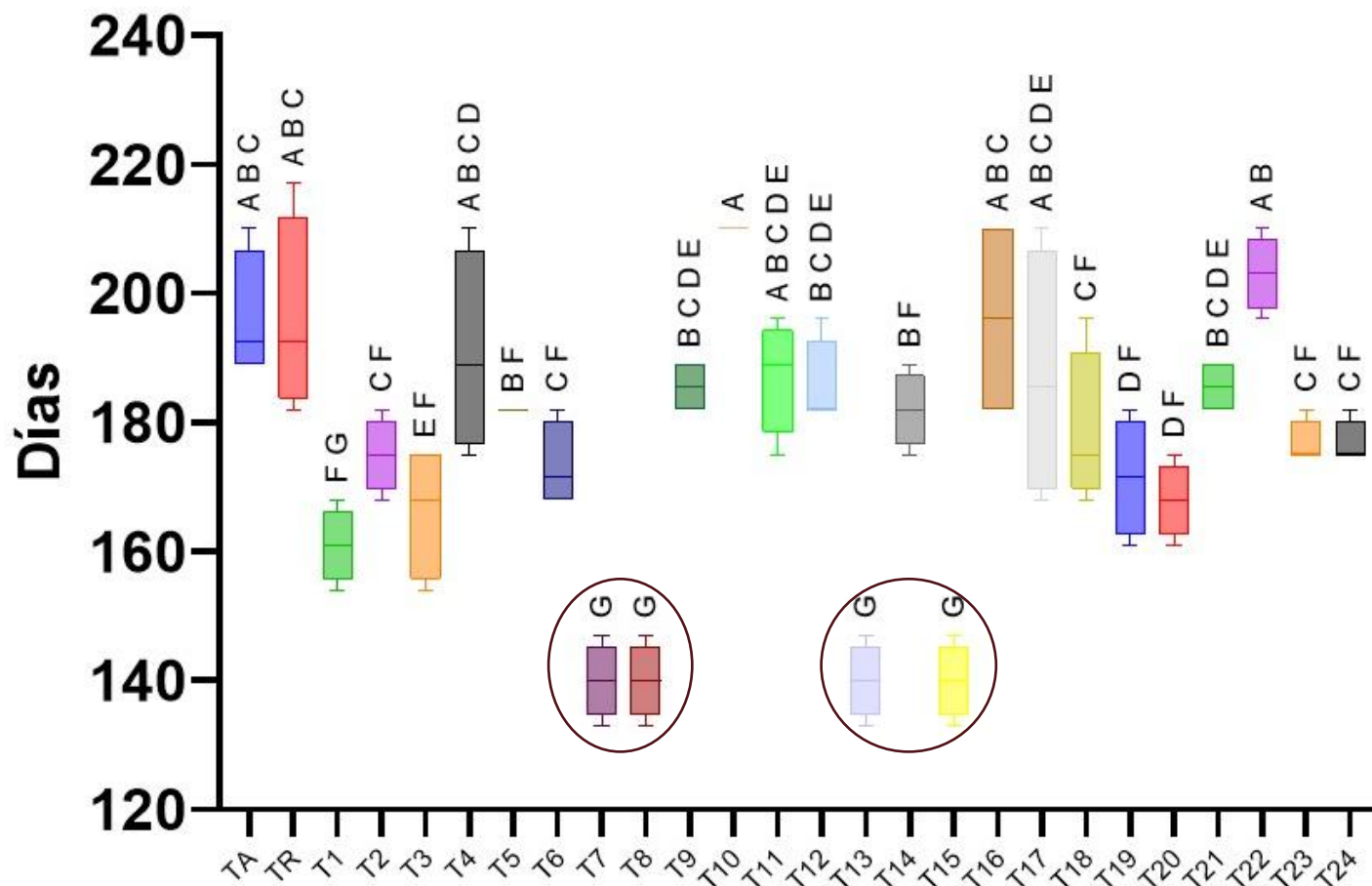


Mayor eficiencia





Antecedentes



Algunos acelerantes muestran diferencias significativas en tiempos de proceso.

Los microorganismos y el método de conservación son importantes en la efectividad del producto.



Microorganismos PGPR



Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal

- Producen giberelinas, auxinas o citoquininas, que estimulan el crecimiento radicular y foliar de las plantas.
- Ayudan a fijar nitrógeno y solubilizar fósforo, facilitando la absorción de nutrientes a la planta.

Alcaligenes, Pseudomonas, Azospirillum, Bacillus, Klebsiella, Azotobacter, Enterobacter, Gluconacetobacter, Burkholderia, Arthrobacter, Rhizobium, Bradyrhizobioum, Serratia, Streptomyces, Actinomyces, Xanthomonas.

MDPI, 2024



Antecedentes



Review

Plant Growth-Promoting Microorganisms in Coffee Production: From Isolation to Field Application

Narcisa Urgiles-Gómez ^{1,*}, María Eugenia Avila-Salem ², Paúl Loján ³, Max Encalada ⁴, Leslye Hurtado ¹, Salomé Araujo ⁵, Yadir Collahuazo ⁵, José Guachanamá ⁶, Nohemy Poma ⁶, Klever Granda ⁶, Angel Robles ⁶, Carolina Senés ⁷ and Pablo Cornejo ^{8,*}



Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology
Volume 07, Issue 02 (2022): jtbb69274
DOI: 10.22146/jtbb.69274

Research Article

Utilization of Coffee Pulp Waste Composted with Cellulolytic Actinomycetes to Enhance Chili Plant Growth

Umi Fatmawati^{1*}, Dewi Puspita Sari¹, Meti Indrowati¹, Slamet Santosa¹, Sri Martina Wiraswati², Harlita¹

Se han aislado más de 15 morfotipos de actinomicetos y 8 morfotipos de *Pseudomonas* provenientes del compost de pulpa de café con potencial PGPR.

Abonos orgánicos con mayor riqueza de actinomicetos revelan índices de germinación más altos.

Es pertinente aislar, identificar, validar y formular bioinsumos para tener un sistema agrícola más eficiente.



Bioherbicidas



Un bioherbicida es un producto de origen natural basado en microorganismos, extractos botánicos o compuestos orgánicos diseñado para controlar o eliminar malezas y arvenses sin dañar el medio ambiente.

Generalmente el compuesto activo funciona como herbicida de contacto, destruyendo la cutícula y las paredes celulares de las hojas.

Ácidos orgánicos como el ácido acético, se han empleado ampliamente como un herbicida casero de contacto.

Las aguas residuales del café, bajo condiciones controladas, puede generar ácidos orgánicos con potencial bioherbicida.



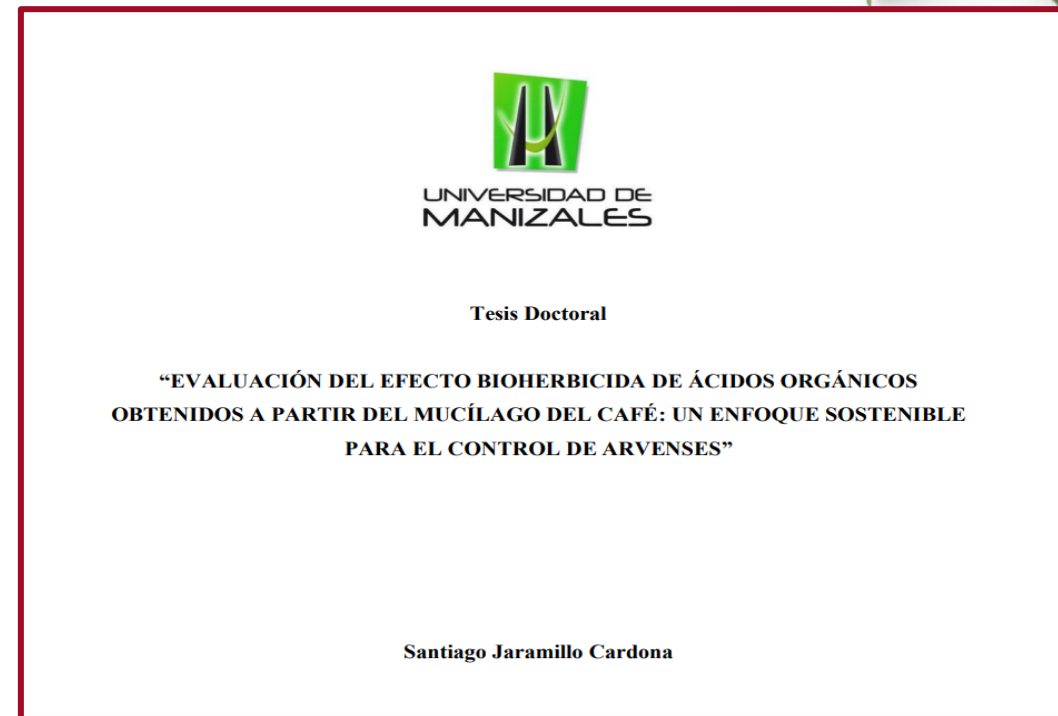
Taqui, 2025

Antecedentes



Bioherbicides: revolutionizing weed management for sustainable agriculture in the era of One-health

Taqi Raza^{a,c,*}, Muhammad Farhan Qadir^b, Shakeel Imran^c, Zobia Khatoon^d, Muhammad Yahya Khan^c, Mouna Mechri^e, Waleed Asghar^f, Muhammad Ishaq Asif Rehmani^g, Sergio de los Santos Villalobos^{h,**}, Tooba Mumtazⁱ, Rashid Iqbal^{j,k}



Escalar, validar y diseñar un modelo de producción de bioherbicidas eficiente y rentable



Bioenergía



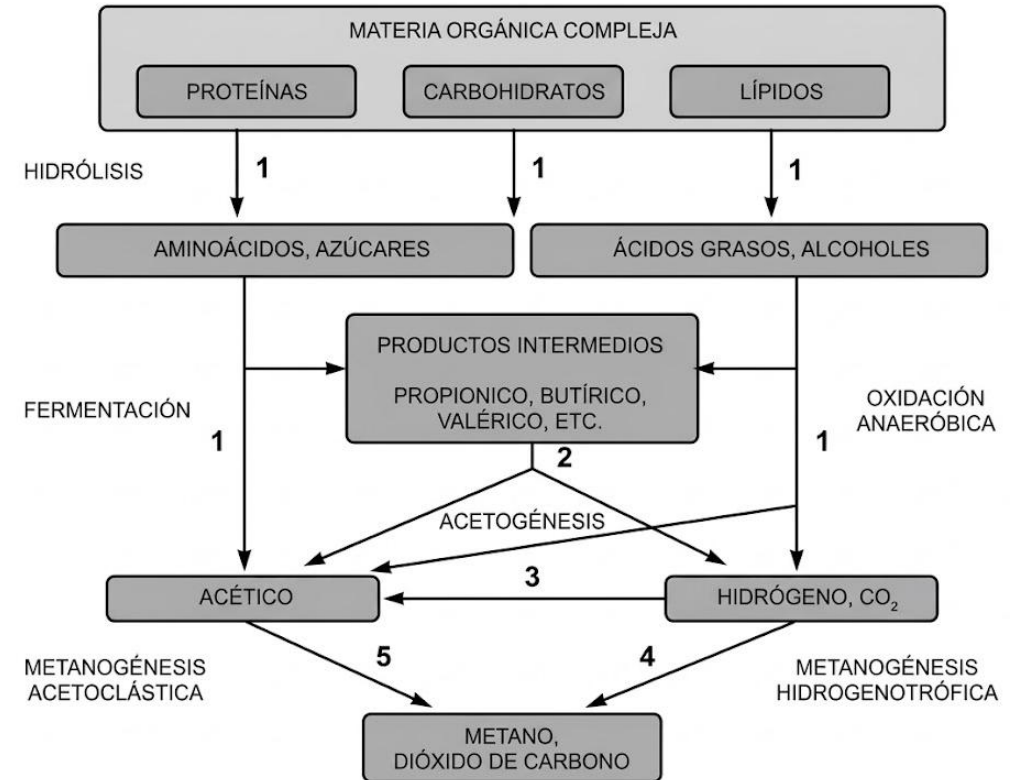
- Tipo de energía renovable que aprovecha la materia orgánica para producir calor, electricidad o combustibles.
- Puede usarse biomasa vegetal para generar energía calórica directamente (leña o carbón) o usar sistemas biológicos para generar combustibles o electricidad.
- Finalidad de reducir la dependencia a los combustibles fósiles.
- Alto potencial de generación de bioenergía a partir de la biomasa residual del cultivo del café.



Biogás



- Fuente de energía renovable no convencional producida a partir de la descomposición biológica de materia orgánica.
- Un conjunto de microbios (levaduras, bacterias, arqueas) degradan la materia orgánica y genera como producto final, metano y dióxido de carbono.





Biogás



- Se requiere un inóculo metanogénico para aportar los microorganismos encargados de la génesis del metano.
- Requiere un sustrato orgánico con nutrientes lábiles de los cuales se van a alimentar los microorganismos.



Inóculos

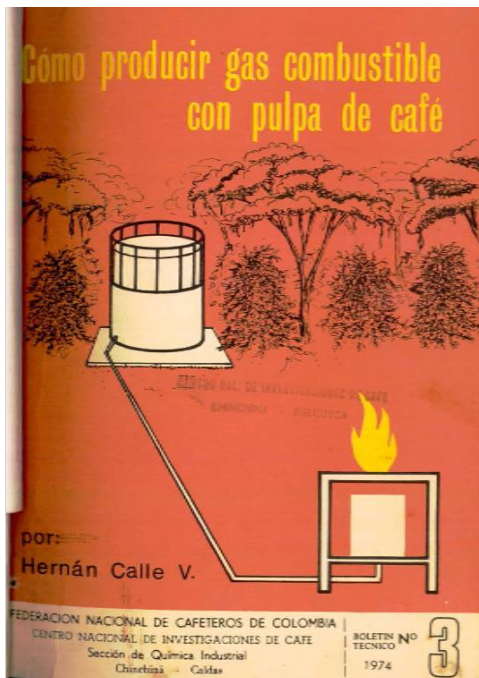


Sustratos



Antecedentes

Calle (1974) propuso un sistema de biodigestión de cúpula rígida flotante (tipo hindú)



Reporta producción de biogás con contenidos de metano mayor al 55%.

Rodríguez & Zambrano (2010) exponen rendimientos importantes de biogás



Explican que puede obtenerse hasta 25 L de biogás por cada kg de pulpa de café fresca.



Antecedentes



Zambrano et al. (2006) desarrollan el sistema SMTA para el tratamiento de las aguas mieles



Reportan depuración de más del 80% de DQO

Rodríguez & Zambrano (2010) exponen rendimientos importantes de biogás



Explican que puede obtenerse hasta 287 L de biogás por cada kg de DQO aplicado al sistema.



Biogás



Según la UPME (2022), en promedio, las viviendas rurales del país consumen aproximadamente 14 kg diarios de leña, lo que representa más de 5 toneladas de leña al año para satisfacer las necesidades energéticas para la elaboración de alimentos.



El biogás es una fuente de energía estable y constante, que puede generarse durante todo el año con el manejo adecuado.

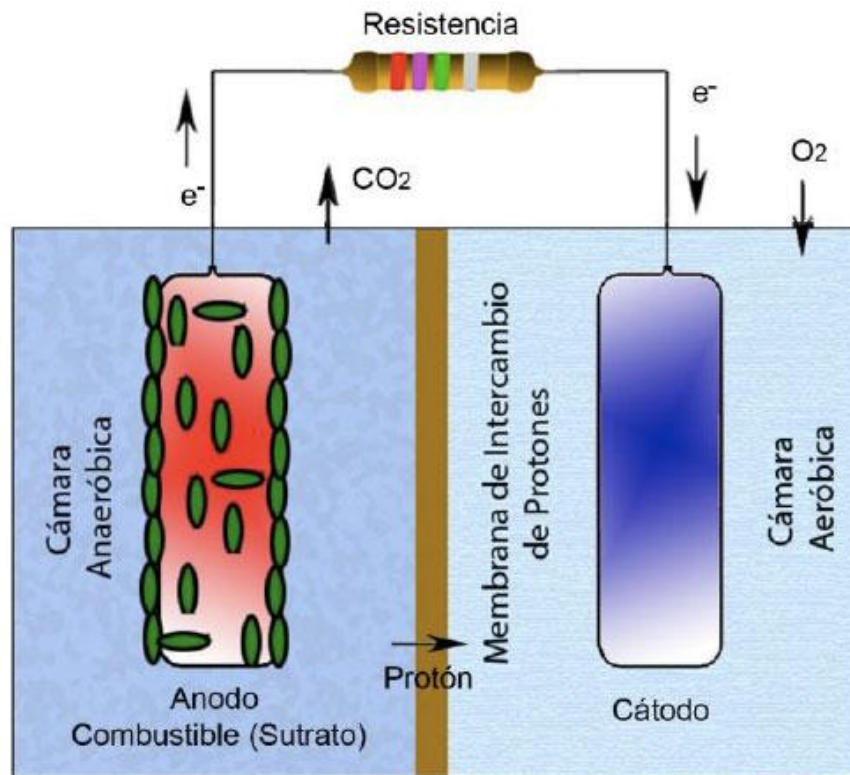
Generar modelos escalables y de fácil adopción para las fincas cafeteras y centrales de beneficio, con el objetivo principal de generar bioenergía.



Celdas Combustibles Microbianas



Son dispositivos bioelectroquímicos que utilizan microorganismos para convertir la energía química de la materia orgánica en energía eléctrica.



- Es un sistema eficiente para la depuración y tratamiento de las aguas residuales, reduciendo la carga orgánica en un tiempo corto.
- Actualmente, en la literatura se encuentran pruebas de laboratorio con bajos rendimientos energéticos, pero con alto potencial para generar energía eléctrica a partir de fuentes renovables.



Antecedentes



International Journal of Advanced Robotic Systems

Volume 2, Issue 4, December 2005

© 2005 SAGE Publications Ltd, unless otherwise noted. Manuscript content on this site is licensed under Creative Commons Licenses., Article

Reuse Guidelines

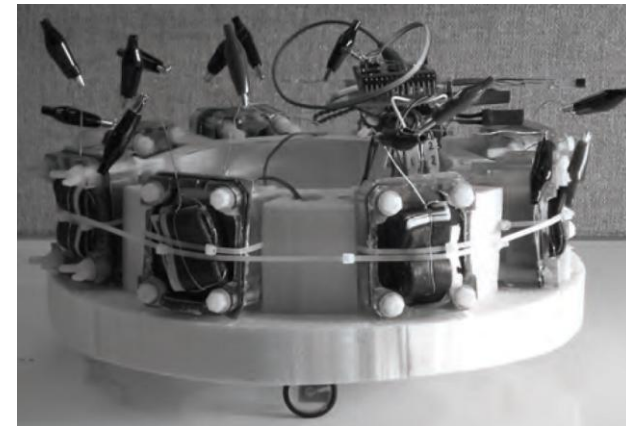
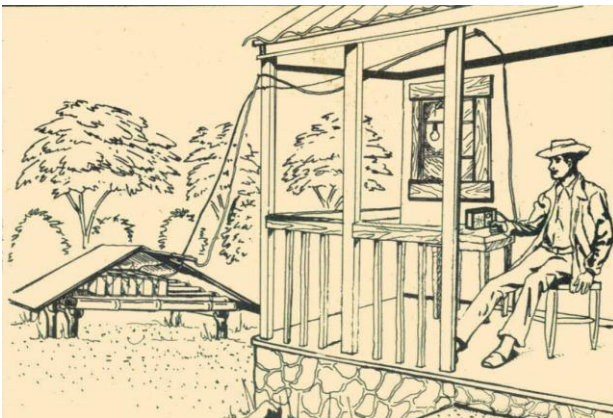
<https://doi.org/10.5772/5777>

Original Article



EcoBot-II: An Artificial Agent with a Natural Metabolism

Ioannis Ieropoulos^{1,2}, Chris Melhuish¹, John Greenman^{1,2}, and Ian Horsfield¹





Celdas Combustibles Microbianas

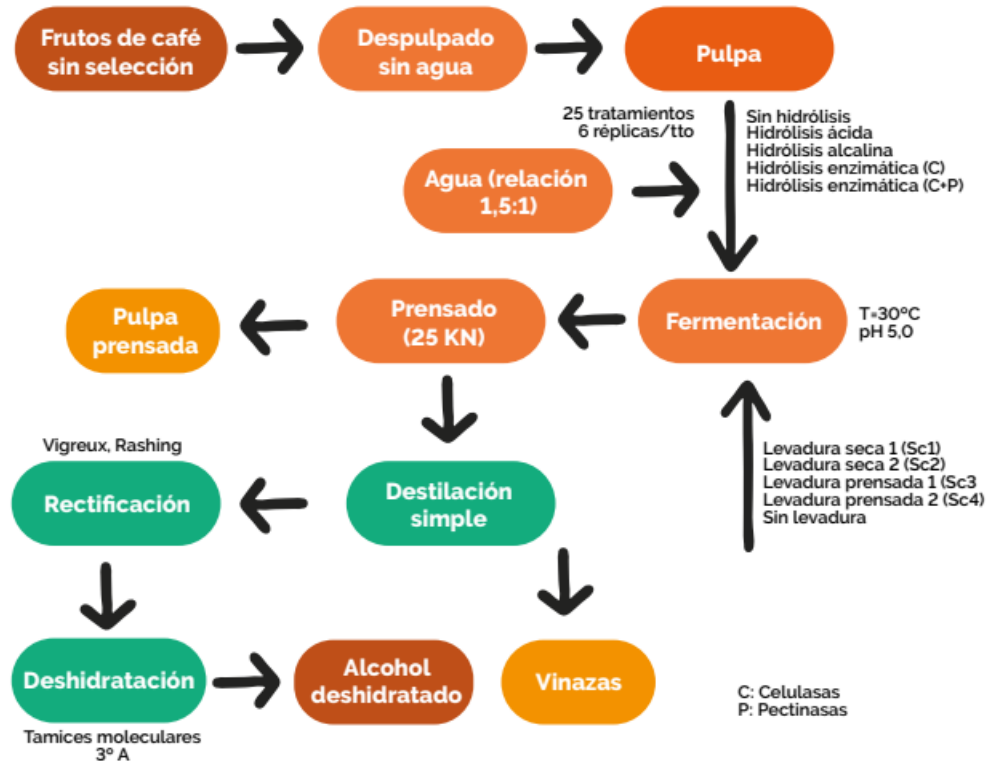


- Evaluar diferentes inóculos electrogénicos para aumentar la eficiencia energética del sistema.
- Evaluar materiales conductores para los electrodos de fácil acceso y rentables.
- Membranas resistentes y económicas que permita la adopción del sistema.
- Escalar, validar y desarrollar prototipos de fácil adopción en las fincas cafeteras.





Bioetanol



- Es un biocombustible renovable.
- Se produce a partir de la fermentación alcohólica con levaduras comerciales de las azúcares presentes en la biomasa residual.
- La pulpa de café y el mucílago fresco son excelentes sustratos para la obtención de bioetanol.



Bioetanol



0,53 MJ/kg de pulpa fresca



Por cada 10 toneladas de pulpa fresca se pueden producir 252 litros de alcohol carburante.



Por cada 10 toneladas de mucilago fresco se pueden producir 584 litros de alcohol carburante.

(Rodríguez y Zambrano, 2010)

Se producen 1.206 L/(27 t de pulpa y 9 t mucílago). \$ 14,5 millones COP de ingresos brutos: el 10% del precio de venta del producto principal.



Conclusiones

- El entendimiento de las interacciones microbianas y el uso de los microorganismos permitirá llevar a la caficultura hacia un modelo más rentable, eficiente y amigable con el medio ambiente.
- El enfoque en una bioprospección del ecosistema cafetero permitirá hallar soluciones biotecnológicas que mejore la vida de los caficultores.
- La subproductos del café son una materia prima con un alto potencial para la generación de bioinsumos y bioenergía, permitiendo una transición hacia una caficultura más sostenible y amigable con el medio ambiente.





Referencias bibliográficas

- Arai, H., Sakurai, K., Ishii, M. (2016). Metabolic Features of *Acetobacter aceti*. In: Matsushita, K., Toyama, H., Tonouchi, N., Okamoto-Kainuma, A. (eds) *Acetic Acid Bacteria*. Springer, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55933-7_12 - ruta acética
- Rezaee Danesh, Y. (2025). Aprovechamiento de microorganismos beneficiosos y tecnologías de sensores para una agricultura inteligente sostenible. *Sensors*, 25 (21), 6631. <https://doi.org/10.3390/s25216631> - definición agricultura regenerativa
- Blandón, G., Dávila, T., & Rodríguez, N. (1999). Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé*, 50(1), 5-23
- Herrero, M., & Stuckey, D. C. (2015). Bioaugmentation and its application in wastewater treatment: A review. *Chemosphere*, 140, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.10.033>
- Rodríguez, N. (2023). Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos: *Cenicafé*. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0032>



Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café



cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC



@cenicafefnc