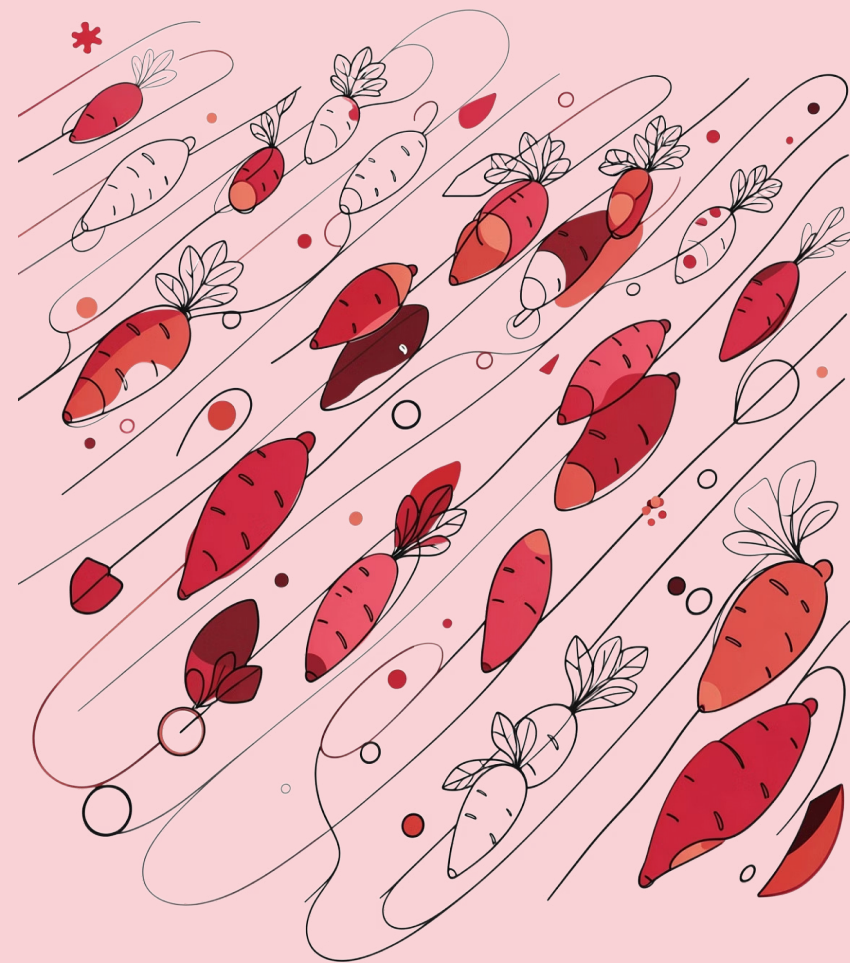




Biorrefinería de Camote

Transformando un cultivo versátil en productos de alto valor agregado — una perspectiva de ingeniería de procesos.

INGENIERÍA DE PROCESOS

BIORREFINERÍA

IPOMOEA BATATAS L.

El Potencial Oculto del Camote

Cultivo Global

Origen en Perú, adaptación mundial. Producción global de **150 millones de ton/año**, con variedades blanca, amarilla y morada.

Ventajas Agronómicas

Alta productividad, bajos costos, resistencia a condiciones adversas. Rendimiento típico: **15-40 ton/ha**.

Potencial Subutilizado

Uso tradicional: alimento fresco, forraje y propagación. La biorrefinería permite extraer todo su valor químico.

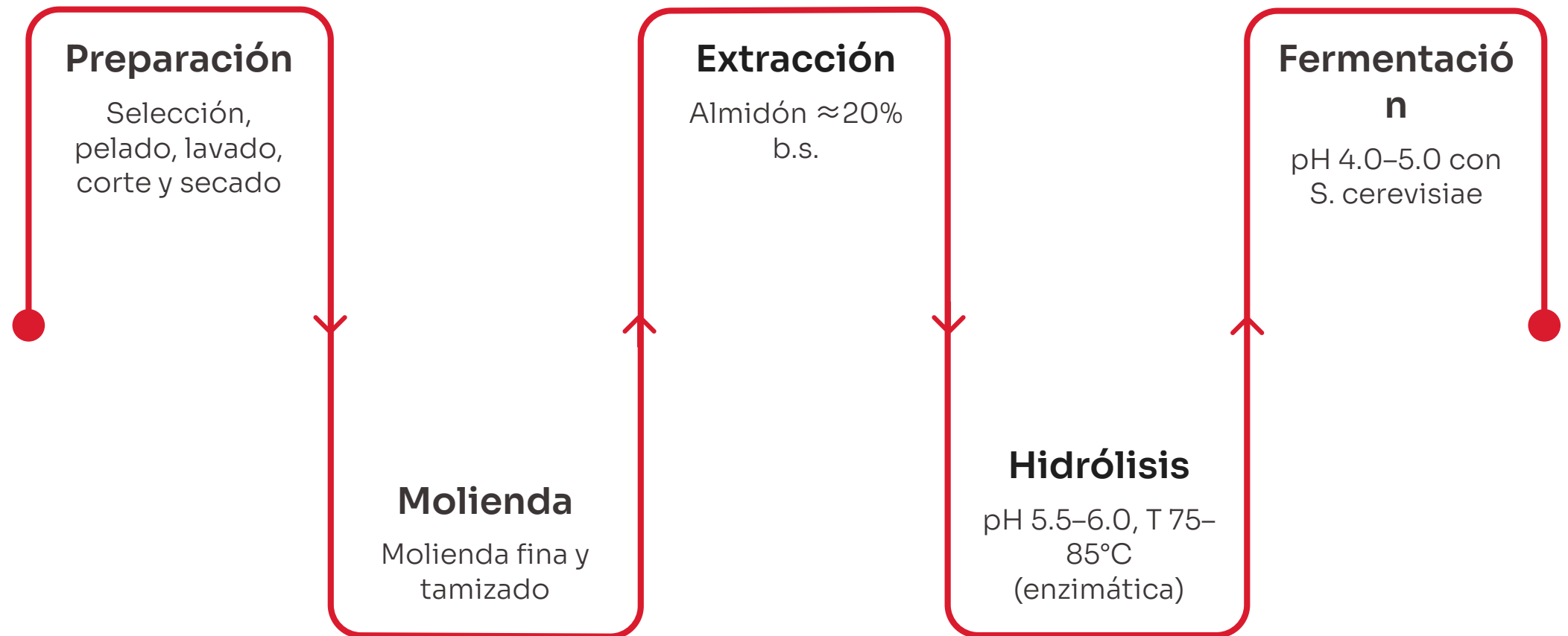
Composición del Camote: Base para la Biorrefinería

Componente	% Base Húmeda
Humedad	71.27%
Hidratos de carbono	24.39%
Proteínas totales	2.00%
Grasa	0.18%
Fibra	0.46%
Cenizas	1.70%
Azúcares reductores	1.17%

 **Componente clave:** El almidón representa la fracción más valiosa (~20% en base seca), siendo el sustrato principal para producción de bioetanol y jarabes de glucosa.

La composición varía según variedad, condiciones de cultivo y estado de madurez. El análisis fisicoquímico detallado es indispensable antes del diseño de proceso.

Proceso de Biorrefinería: Del Tubérculo al Producto



Cada etapa presenta variables de control críticas. La hidrólisis con α -amilasa y la fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* son los eslabones clave que determinan el rendimiento global del proceso.

Productos y Subproductos de la Biorrefinería



Bioetanol (**Producto Principal**)

$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ — Combustible renovable, disolvente, antiséptico. Punto de ebullición: 78 °C. Aplicaciones: mezcla con gasolina (E10–E85), industria química y desinfectantes.



Jarabes de Glucosa / Dextrina

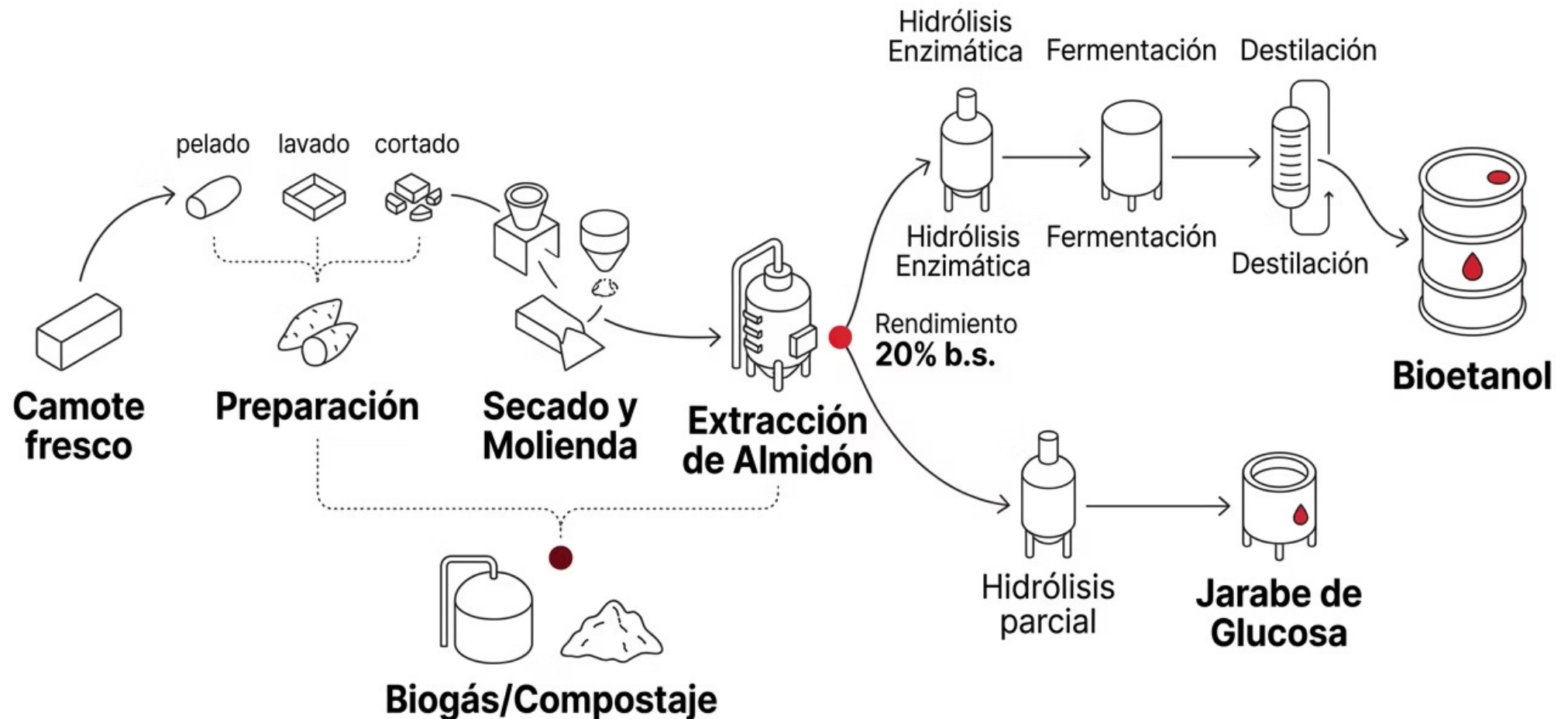
Obtenidos de la hidrólisis parcial del almidón. Aplicaciones en alimentos y farmacéutica. Menor viscosidad vs. jarabe de maíz (Chávez Paz, 2002).



Residuos de Cáscara y Pulpa

Fuente de compuestos fenólicos, fibra dietaria y biomasa. Potencial para biogás, compostaje o extracción de bioactivos. Investigación en curso para aprovechamiento integral.

Diagrama de Flujo del Proceso (PFD Conceptual)



El esquema ilustra la bifurcación de corrientes: la corriente principal de almidón se dirige a bioetanol, mientras que los flujos secundarios generan jarabes y los residuos sólidos se valorizan energéticamente.

Balances de Masa y Energía

Balance de Masa — Ejemplo de Cálculo

Etapas	Entrada	Salida
Materia prima	1,000 kg	—
Secado (71.3% hum.)	1,000 kg	287 kg b.s.
Extracción almidón	287 kg	57.4 kg
Hidrólisis enzimática	57.4 kg	~55 kg glucosa
Fermentación (58.81%)	55 kg	~32.3 kg EtOH
Destilación	32.3 kg	~30 kg EtOH puro

❑ Rendimiento global: ~30 kg bioetanol por tonelada de camote fresco (base húmeda).

Balance de Energía — Estimaciones

Gelatinización / Licuefacción

T = 75–85 °C. Consumo ~2.5 MJ/kg almidón. Uso de vapor saturado.

Destilación

Etapas más intensivas en energía. Consumo ~10–15 MJ/L EtOH. Candidata a integración energética.

Integración Energética

Recuperación de calor residual entre corrientes reduce OPEX hasta un 30% (González Cortés et al., 2014).

Análisis Técnico-Económico: CAPEX y OPEX

CAPEX — Inversión de Capital (US \$)

Equipo / Ítem	Costo Estimado (US \$)
Reactores de hidrólisis/fermentación	80,000–150,000
Torre de destilación	50,000–120,000
Molinos y tamizadores	20,000–40,000
Secadores rotativos	30,000–60,000
Infraestructura y servicios	40,000–80,000
Total estimado	220,000–450,000

OPEX — Costos Operativos Anuales (US \$)

Ítem	% del OPEX Total
Materia prima (camote)	30–35%
Enzimas (α-amilasa)	15–20%
Energía (vapor + elect.)	20–25%
Mano de obra	10–15%
Mantenimiento y CQ	8–12%

 Referencia de estructura de costos: Costo unitario de plántula de camote = **US \$ 3.09/unidad**; costos indirectos representan ~71% (Pineda Santos, 2017).

Casos de Estudio y Ejemplos de Cálculo

1

Producción de Bioetanol — Escala Laboratorio

Base: 1 kg camote fresco → 0.2 kg almidón (20% b.s.) → Hidrólisis: ~0.19 kg glucosa → Fermentación (58.81%): **~0.112 kg EtOH** → Destilación: 12.3 °GL (Exp. R4: 1.2 g levadura, pH 5.0). Rendimiento volumétrico $\approx$ 141 mL EtOH/kg camote.

2

Valorización de Residuos — Analogía con Papa

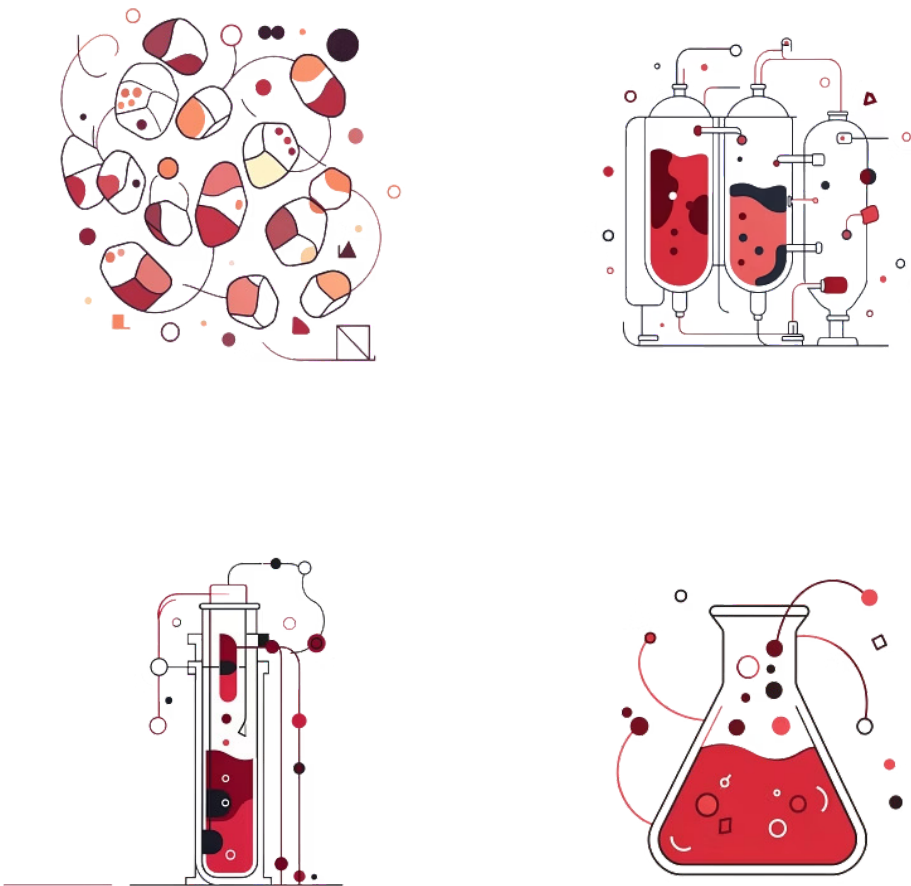
Marulanda-Toro et al. (2025) reportan para cáscara de papa: **179.8 L EtOH/ton** y **256 mL biogás/g SV**. Extrapolando a residuos de camote (~similar composición), los subproductos sólidos podrían generar ingresos adicionales de US \$ 15,000–40,000/año en planta mediana.

3

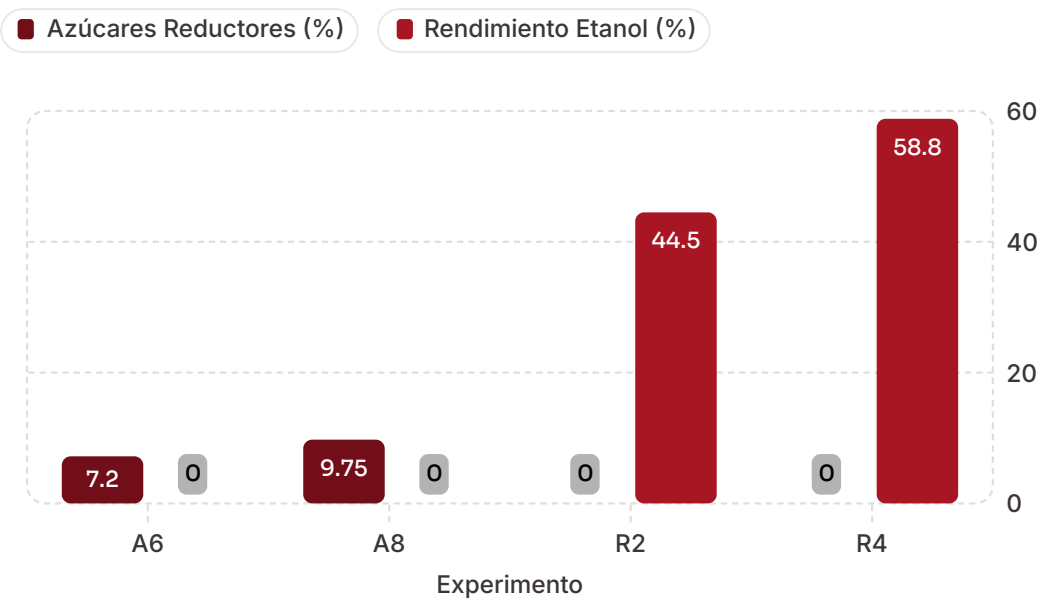
Condiciones Óptimas — Diseño Experimental

Experimento A8 (hidrólisis): **9.75% azúcares reductores** con pH 5.5–6.0 y 0.5 g α -amilasa a 80 °C.
Experimento R4 (fermentación): **58.81% rendimiento EtOH** con 1.2 g levadura a pH 5.0, 72 h.

Figuras e Ilustraciones Clave



Parámetros de Rendimiento Comparativo



Comparación de rendimientos en experimentos clave de hidrólisis (A6, A8) y fermentación (R2, R4) — UAJMS.

Conclusiones, Perspectivas y Bibliografía

Conclusiones y Líneas Futuras

→ Viabilidad Demostrada

La biorrefinería de camote es técnica y económicamente prometedora para bioetanol y jarabes a escala industrial.

→ Optimización de Proceso

Desarrollo de cepas de levadura mejoradas y separación energéticamente eficiente son prioridades de I+D.

→ Economía Circular

Valorización de cáscaras y pulpa (biogás, bioplásticos, compuestos bioactivos) mejora la rentabilidad global.

Bibliografía

- Chávez Paz, D. E. (2002). *Jarabe de glucosa de almidón de camote*.
- González Cortés et al. (2014). Integración de procesos en biorrefinería. *Afinidad*, 71(568).
- Marulanda-Toro et al. (2025). Valorizing Potato Peel Waste Biorefinery. *RIVAR*, 12(35), 16–34.
- Pineda Santos, M. M. (2017). *Costos estándares producción in vitro de camote y yuca*.
- UAJMS. (s.f.). *Bioetanol por hidrólisis enzimática de Ipomoea batatas L.*
- García & García (2010); Siliceo (2014); Vidal, Zaucedo & Ramos (2018). Citados en UAJMS.