

Biorrefinería de Jengibre

Valorización Integral de *Zingiber officinale* — Una perspectiva de ingeniería de procesos para la extracción, separación y aprovechamiento total de la planta

INGENIERÍA DE PROCESOS

BIORREFINERÍA · CERO RESIDUOS



El Jengibre como Materia Prima Estratégica

¿Por qué el jengibre?

La demanda global de extractos de jengibre (*Zingiber officinale*) crece sostenidamente en los sectores alimentario, farmacéutico y de materiales avanzados. Sin embargo, los procesos convencionales generan volúmenes significativos de residuos —rizomas agotados, tallos y hojas— que representan una pérdida de valor.

Residuos post-extracción

85–90% de la biomasa total queda sin aprovechar

Enfoque biorrefinería

Cero residuos: cada fracción se convierte en producto de valor

Rol del ingeniero

Diseño de procesos integrados, escalables y económicamente viables



Productos y Subproductos de la Biorrefinería

Cada fracción del jengibre contiene compuestos con aplicación industrial definida. La tecnología de extracción determina la pureza y el rendimiento de cada corriente.



Aceite Esencial

Compuestos volátiles: β -sesquifelandreno, β -bisaboleno.

Métodos: arrastre de vapor y FSC con CO_2 . Rendimiento FSC: hasta **4.94%** (Varela-Rojas & Soto-Oviedo, 2019).



Oleorresina

Gingeroles y shogaoles (compuestos pungentes). FSC a 45 °C y 200 psi permite fracciones selectivas de alta pureza y sin solventes residuales.



Subproductos Valorizados

Adsorbentes para purificación de glicerol, catalizadores heterogéneos, supercapacitores, materiales antimicrobianos y suplementos alimentarios.

Diagrama de Flujo de la Biorrefinería



El flujo integrado garantiza que cada corriente de salida —aceite esencial, oleorresina y residuo sólido— sea procesada para maximizar el valor económico y minimizar las pérdidas de masa.

Balances de Masa y Energía

Base de cálculo: 1,000 kg de jengibre fresco por lote de procesamiento.

Balance de Masa

Corriente	Fracción	Masa (kg)
Aceite esencial	4%	40
Oleoresina	7%	70
Residuo sólido	89%	890
Total salida	100%	1,000

i El residuo sólido (~890 kg) es la corriente principal para bioenergía, adsorbentes o suplementos.

Balance de Energía (FSC)

Insumo energético	Consumo
CO ₂ recirculado	~2,000 kg
Energía eléctrica	~500 kWh
Energía térmica	~100 kWh
Total energía	~600 kWh

Se requiere análisis detallado de eficiencia en compresores, intercambiadores de calor y sistemas de separación para optimizar el consumo específico por kg de producto.

Estimación de CAPEX y OPEX

CAPEX — Inversión de Capital

Ítem	Rango (US \$)
Equipo FSC (reactor, compresores, separadores)	500,000 – 1,500,000
Pre-tratamiento y post-procesamiento	100,000 – 300,000
Infraestructura y servicios	200,000 – 500,000
Total CAPEX	800,000 – 2,300,000

OPEX — Costos Operativos Anuales

Ítem	Rango (US \$/año)
Materia prima (US \$ 0.50/kg)	182,500
CO ₂ (sin recirculación total)	50,000 – 150,000
Energía eléctrica y térmica	30,000 – 80,000
Mano de obra y mantenimiento	100,000 – 200,000
Total OPEX	362,500 – 612,500

Ejemplo de Cálculo: Costo de Producción de Aceite Esencial

Supuestos del caso base

- Capacidad: 1,000 kg jengibre/día · 365 días/año
- Rendimiento aceite esencial: **4%** → 40 kg/día
- Costo materia prima: **US \$ 0.50/kg**
- OPEX anual (sin MP): **US \$ 400,000**
- No incluye amortización de CAPEX

Desarrollo del cálculo

Costo anual materia prima	$1,000 \times 365 \times \text{US \$ } 0.50 = \text{US \$ } 182,500$
Costo OPEX (sin MP)	US \$ 400,000
Costo total anual	US \$ 582,500
Producción anual aceite esencial	$40 \text{ kg/día} \times 365 = \text{14,600 kg/año}$
Costo unitario	$\text{US \\$ } 582,500 / 14,600 = \text{US \\$ } 39.90/\text{kg}$

⚠ Este cálculo es simplificado. La valorización de subproductos (oleorresina, adsorbentes) puede reducir el costo neto por kg de aceite esencial significativamente.

Casos de Estudio y Aplicaciones Industriales

Industria Alimentaria

Aceite esencial y oleorresina como saborizantes naturales en chocolates, caramelos y aceites enriquecidos. Proyecto CONCYTEC/FONDECYT (Meza Coaquira, 2024) demostró viabilidad de formulaciones funcionales a escala piloto.

Farmacéutica y Medicinal

Gingeroles y shogaoles con actividad antiinflamatoria, antioxidante y antiviral documentada. Caracterización por HPLC y GC-MS como herramienta de control de calidad (Arcos Alcívar, 2024 — PUCP).

Materiales Avanzados

Residuos de jengibre como adsorbentes de alta eficiencia para purificación de glicerol en producción de biodiesel (Silva, 2020 — UFRRJ). Potencial adicional en supercapacitores y catalizadores heterogéneos de bajo costo.

Desafíos y Perspectivas Futuras



Retos técnicos y operativos

→ **Logística de materia prima**

Asegurar suministro constante, calidad homogénea y trazabilidad del rizoma

→ **Optimización energética FSC**

Reducir consumo específico de CO₂ y energía mediante integración de calor

→ **Escalabilidad industrial**

Validar datos de planta piloto para el diseño de unidades a escala comercial

Habilitadores clave

Mercados para subproductos

Desarrollar canales comerciales para adsorbentes, bioenergía y materiales

Marco regulatorio

Cumplimiento de normativas FDA, EFSA y REACH para cada corriente de producto

I+D continuo

Explorar nuevos compuestos bioactivos y aplicaciones emergentes de alto valor

Bibliografía y Referencias

Arcos Alcívar, H. L. (2024). *Análisis y caracterización de los bioproductos a partir de jengibre peruano (Zingiber officinale) obtenidos usando tecnología supercrítica.* Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

Meza Coaquira, J. H. (2024). *Proceso integrado de obtención de bioproductos a partir de jengibre peruano utilizando tecnología supercrítica y su aplicación como aditivo en la industria alimentaria.* Proyecto CONCYTEC/FONDECYT, Perú.

Silva, A. C. da (2020). *Avaliação da adsorção de impurezas do glicerol usando resíduos de gengibre (Zingiber officinale Roscoe) como adsorvente.* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Cevallos Moncayo, K. V. (2012). *Obtención de aceite esencial crudo de jengibre, Zingiber officinale, mediante los métodos Soxhlet y arrastre de vapor.* Tesis de Pregrado, Universidad de las Américas, Ecuador.

RSC Sustainability (2023). Ginger waste as a potential feedstock for a zero-waste ginger biorefinery: a review. *RSC Sustainability*, 1(2), 213–223. DOI: [10.1039/D2SU00099G](https://doi.org/10.1039/D2SU00099G)

Varela-Rojas, I., & Soto-Oviedo, B. (2019). *Aislamiento de extractos de jengibre y cúrcuma orgánicos obtenidos por Fluidos Supercríticos (FSC) y arrastre con vapor para uso medicinal y alimenticio.* Instituto Tecnológico de Costa Rica.