



Biorrefinería del Rocoto

Valorización Integral de *Capsicum pubescens* — Una perspectiva de ingeniería de procesos para maximizar el valor económico y minimizar residuos.

INGENIERÍA DE PROCESOS

BIORREFINERÍA

CAPSICUM PUBESCENS

El Rocoto como Materia Prima Estratégica

Composición Bioactiva

Rico en capsaicinoides, carotenoides, vitamina C y compuestos fenólicos de alto valor industrial.

Potencial Biotecnológico

Sus componentes tienen aplicación en industrias alimentaria, farmacéutica, cosmética y energética.

Objetivo

Maximizar el aprovechamiento integral, generando productos de alto valor y minimizando residuos al mínimo.

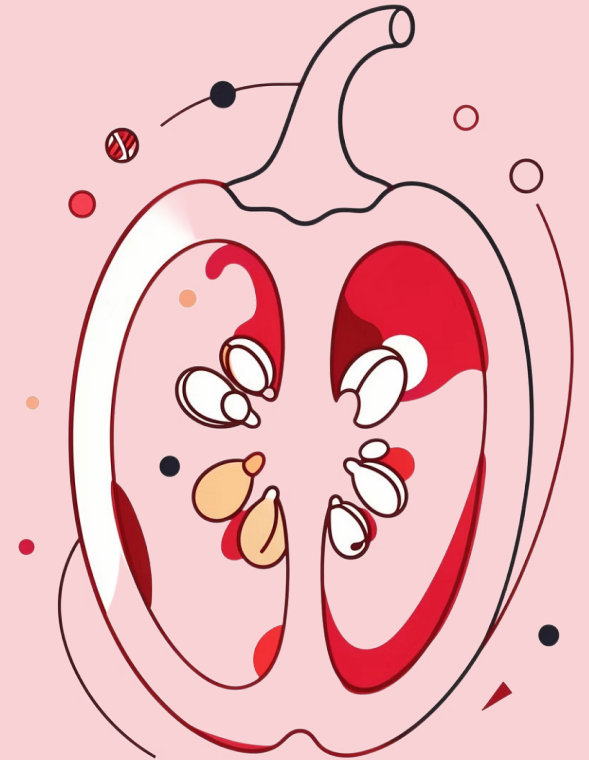


Diagrama de Flujo de la Biorrefinería



El proceso integrado captura valor en cada etapa, desde la materia prima fresca hasta los extractos purificados y la energía recuperada de los residuos acuosos.

Productos y Subproductos de Alto Valor



Capsaicinoides

Industria alimentaria, farmacéutica (analgésicos tópicos) y cosmética (anticelulíticos).



Carotenoides

Colorante natural E-160 y fuente de provitamina A para alimentos funcionales y nutraceuticos.



Vitamina C

Antioxidante y fortificante para la industria alimentaria y de suplementos dietéticos.



Biogás + Fibra

Energía renovable por digestión anaeróbica de efluentes y pectinas/fibra dietética de pulpa y semillas.

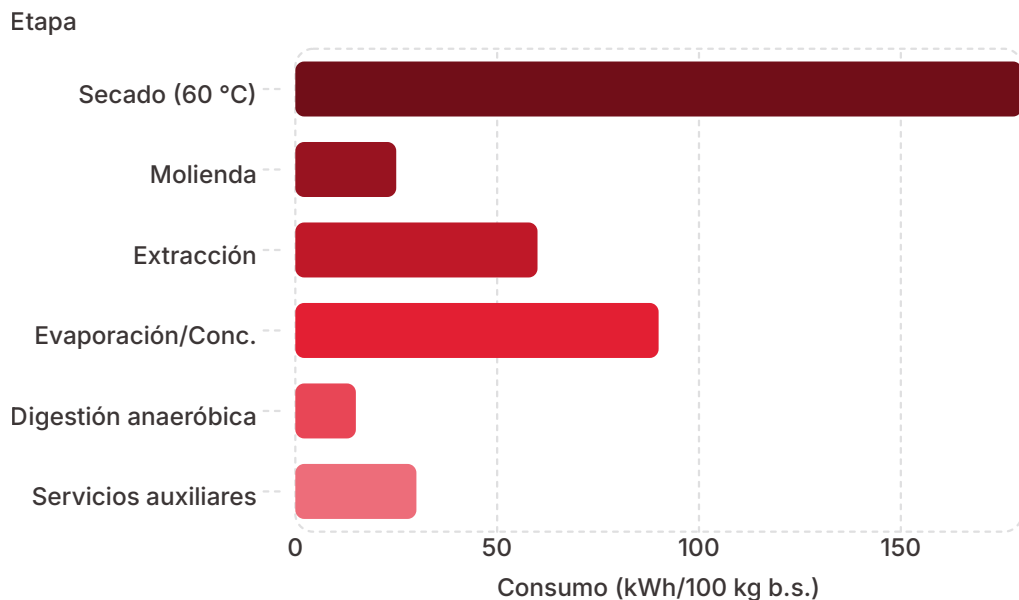
Balance de Masa: Ejemplo de Cálculo

Base de cálculo: **1,000 kg de rocoto fresco** (~85% humedad). Los rendimientos se expresan sobre base seca.

Corriente / Producto	Entrada (kg)	Salida (kg)	Rendimiento	Observación
Rocoto fresco	1,000	—	—	85% humedad
Rocoto seco	—	150	15% b.f.	Secado a 60 °C
Extracto capsaicinoides	—	0.75	0.5% b.s.	Extracción EtOH
Extracto carotenoides	—	1.50	1.0% b.s.	Extracción hexano
Vitamina C (bruta)	—	7.50	5.0% b.s.	Extracción acuosa
Pulpa y semillas	—	~140	—	Fibra, pectinas
Aguas residuales	—	~850	—	Proceso + secado

 b.f. = base fresca | b.s. = base seca | EtOH = etanol grado industrial

Balance de Energía por Etapa



Análisis Energético

El secado es la etapa de mayor consumo (~45% del total). La digestión anaeróbica de los ~850 kg de efluentes puede generar **~35 m³ de biogás**, equivalente a ~210 kWh, cubriendo parcialmente la demanda interna.

✓ Potencial de autosuficiencia energética parcial: hasta un 30% del consumo total mediante cogeneración.

- Consumo total estimado: ~400 kWh/100 kg b.s.
- Recuperación por biogás: ~210 kWh
- Balance neto: ~190 kWh/100 kg b.s.

CAPEX y OPEX: Planta Piloto (1 t/día)

CAPEX — Inversión de Capital

Ítem	Costo (US \$)
Secadores (bandeja/spray)	80,000 – 150,000
Molinos + tamices	30,000 – 60,000
Extractores (Soxhlet/CO ₂ SC)	120,000 – 350,000
Evaporadores / centrífugas	50,000 – 100,000
Reactor digestión anaeróbica	20,000 – 40,000
Infraestructura civil y servicios	150,000 – 300,000
Total CAPEX estimado	US \$ 450K – 1,000K

OPEX — Costos Operativos Anuales

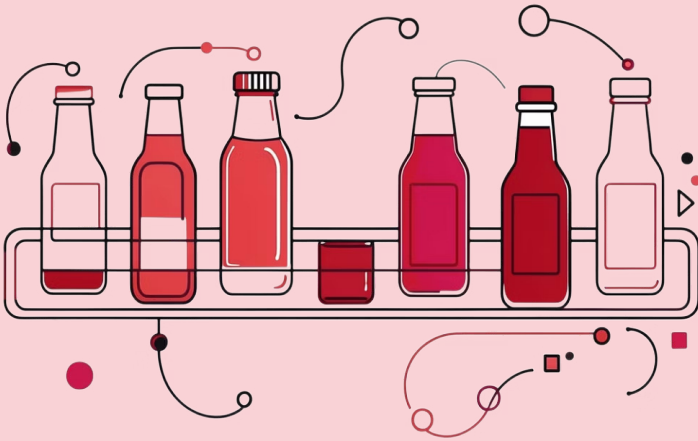
Ítem	Costo anual (US \$)
Materias primas (rocoto)	50,000 – 100,000
Energía (electricidad + vapor)	30,000 – 60,000
Mano de obra	80,000 – 150,000
Solventes y consumibles	20,000 – 40,000
Mantenimiento	20,000 – 40,000
Total OPEX estimado	US \$ 200K – 390K/año

❏ Costos referenciales para planta piloto en Latinoamérica. El uso de extracción supercrítica (CO₂) incrementa el CAPEX ~40% pero elimina costos de solvente orgánico.

Caso de Estudio 1: Capsaicinoides y Colorantes

TARIJA, BOLIVIA

VILLARROEL CRUZ, 2025



Proceso y Resultados

Biorrefinería a pequeña escala con extracción etanólica y purificación cromatográfica.

- **0.5 kg** de extracto de capsaicinoides / 100 kg de rocoto seco
- **1.0 kg** de extracto de carotenoides / 100 kg de rocoto seco
- Precio de mercado capsaicinoides:
US \$ 500–2,000/kg
- Precio de mercado carotenoides:
US \$ 300–800/kg

Viabilidad Económica

Ingresos potenciales

~US \$ 15,000–30,000 por tonelada de rocoto seco procesado.

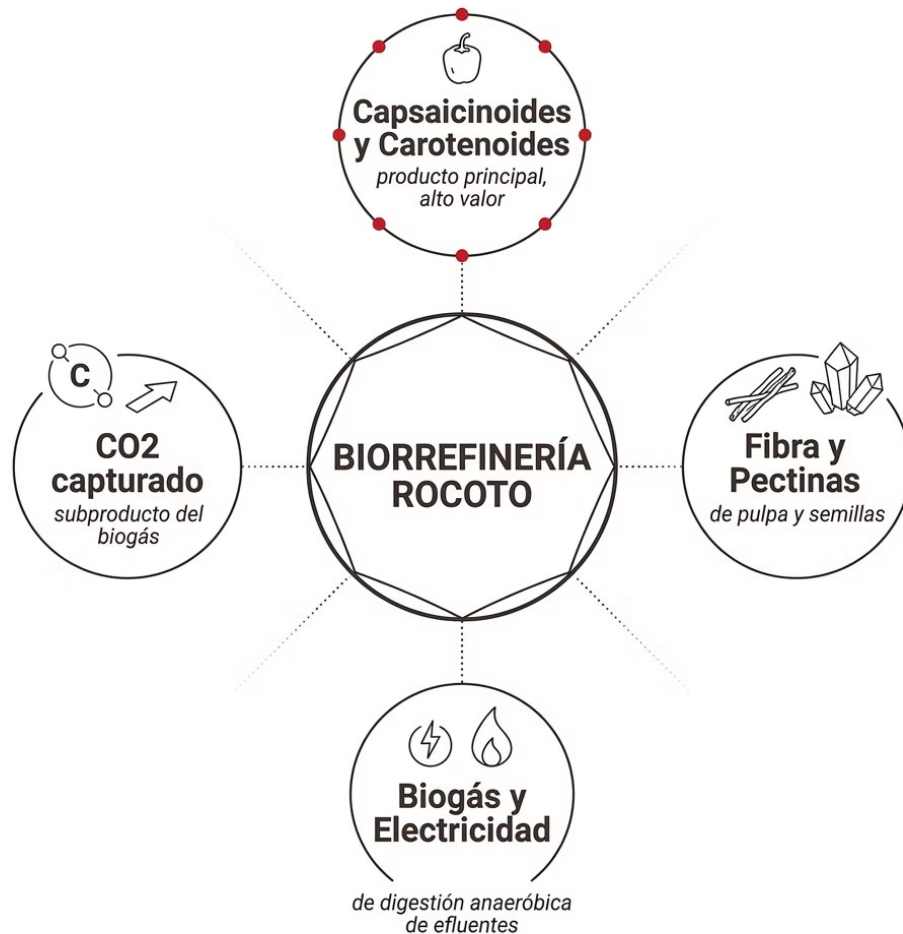
Mercado objetivo

Alta demanda global de extractos naturales certificados.

Caso de Estudio 2: Biorrefinería Integrada

U. NACIONAL DE COLOMBIA — FORERO ET AL., 2015

U. DE CHILE — LIENQUEO, 2016



Concepto de Integración

Tomando como analogía biorrefinerías de bagazo de caña y residuos de maíz, se propone un esquema donde **ningún flujo es residuo**:

- Producto principal: extractos de alto valor (capsaicinoides, carotenoides)
- Energía: biogás de digestión anaeróbica de efluentes
- Coproductos sólidos: fibra dietética y pectinas purificadas

✓ La integración puede mejorar la TIR en 8–15 puntos porcentuales respecto a un proceso monoproducto.

Desafíos Técnicos y Consideraciones Clave



Optimización de Extracción

Selección de solventes, temperatura, presión y tiempo. La extracción supercrítica con CO₂ maximiza pureza pero eleva CAPEX.



Escalado Industrial

Transición de laboratorio → planta piloto → escala comercial requiere validación de modelos CFD y pruebas de larga duración.



Calidad y Normativa

Cumplimiento de FDA, EFSA y CODEX para extractos alimentarios y farmacéuticos. Certificación orgánica incrementa valor.



Gestión de Residuos

Tratamiento de efluentes con alta DQO. Digestión anaeróbica reduce carga contaminante y genera energía recuperable.

Bibliografía y Referencias

Villarroel Cruz, H. G. (2025). *Obtención experimental de locoto en polvo (Capsicum pubescens)*. Proyecto de Grado, Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho".

Lienqueo Contreras, M. E. (2016). *Estudio de factibilidad técnico-económica de una biorrefinería a partir de residuos de maíz*. Tesis, Universidad de Chile.

Lopes, T. F. et al. (2019). Techno-economic and life-cycle assessments of small-scale biorefineries. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(6), 1321–1332.

Forero, H., García, C., & Cardona, C. (2015). Aplicación de la termodinámica en la síntesis óptima de procesos químicos y biotecnológicos. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 13, 1–10.

Alcala Galiano et al. (2022). Evaluación económica de la producción de biodiésel con enfoque de biorrefinería. *Universidad y Sociedad*, 14(S5), 352–361.

Clauser, N. M. (2019). *Estudio técnico-económico de la biorrefinería de residuos de industrialización primaria de la madera*. Tesis Doctoral, CONICET.