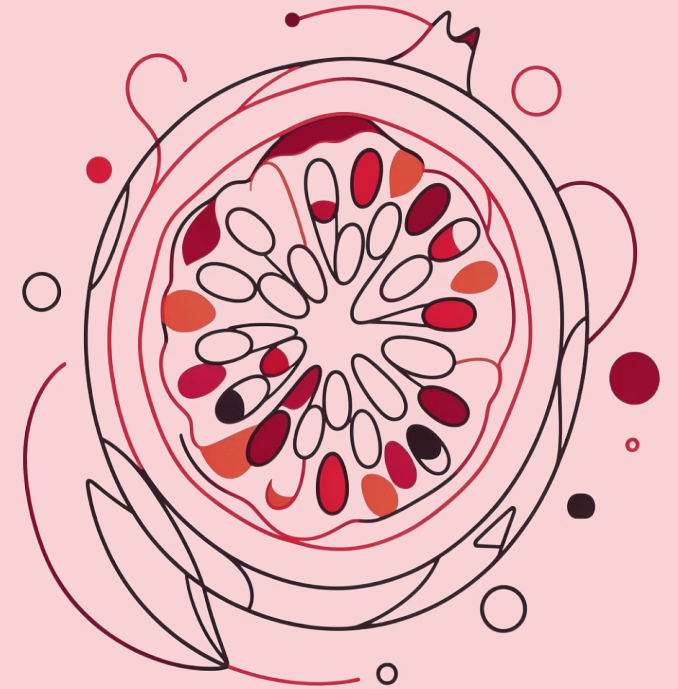


Biorrefinería de Maracuyá: Valorizando el Fruto Tropical

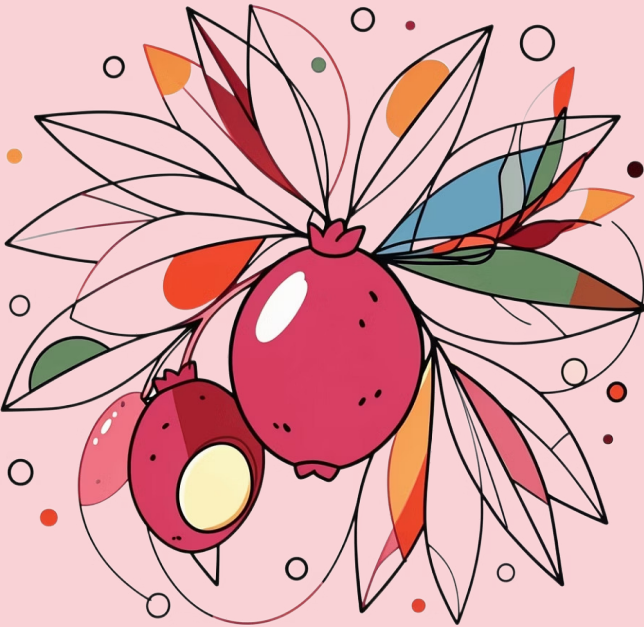
Una visión integral del aprovechamiento de *Passiflora edulis* para ingenieros de procesos — productos, balances, economía y sostenibilidad.



El Desafío y la Oportunidad

El maracuyá como materia prima

Passiflora edulis genera grandes volúmenes de residuos — cáscara, semillas y bagazo — que representan hasta el 60-70% del peso fruto. Sin valorización, constituyen una carga ambiental significativa.



- ✓ La demanda global de jugos, néctares e ingredientes funcionales derivados del maracuyá crece a tasas superiores al 5% anual, impulsando la rentabilidad de la biorrefinería.

~60-70%

del fruto es cáscara y semillas

Residuos

Problema ambiental →
oportunidad de valorización

Mercado

Ingredientes funcionales,
cosmética, energía renovable

Productos y Subproductos de Alto Valor



Pectina

Extraída de la cáscara.
Gelificante y espesante clave en la industria alimentaria.
Rendimiento: 8–12% sobre cáscara fresca.



Aceite Esencial

Obtenido de cáscara y semillas. Aplicaciones en perfumería, cosmética y aromaterapia.



Biogás / Bioetanol

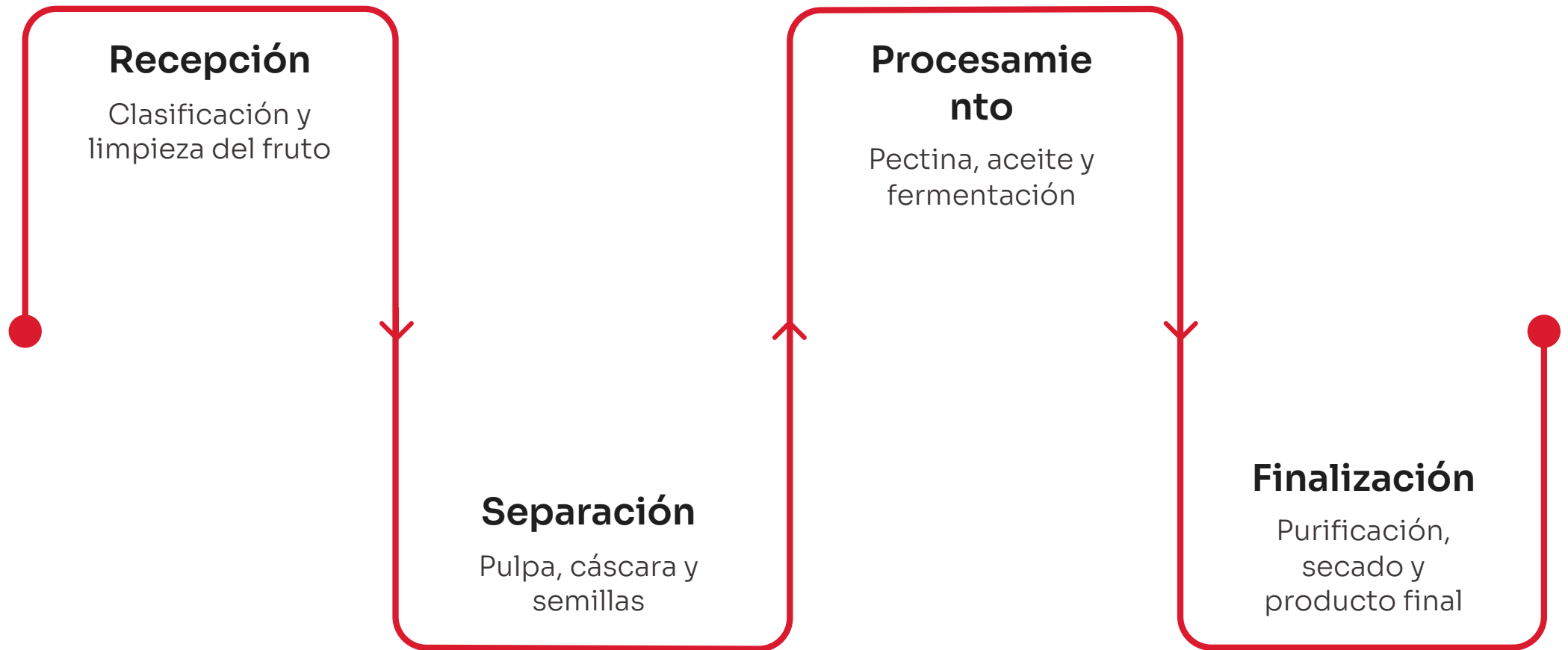
Fermentación de azúcares residuales. Rendimientos de biometano: 186–533 mL/gTVS (Poveda-Giraldo et al., 2024).



Pigmentos y Bioactivos

Carotenoides (colorantes alimentarios) y polifenoles antioxidantes con aplicaciones nutracéuticas.

Diagrama de Flujo: Biorrefinería de Maracuyá



El esquema conceptual ilustra las rutas de procesamiento simultáneas que maximizan el aprovechamiento integral de cada fracción del fruto, minimizando residuos finales.

Balance de Masa: Extracción de Pectina

Base de cálculo: 1,000 kg de cáscara fresca

Fracción	Masa (kg)	% sobre entrada
Agua evaporada (secado)	100	10%
Pectina cruda obtenida	80 – 120	8 – 12%
Residuo sólido (fibra)	680 – 720	68 – 72%
Pérdidas de proceso	~80	~8%

 Proceso: extracción ácida (pH 1.5–2.5, 80–90°C, 60 min) seguida de precipitación con etanol al 70% v/v.

Supuestos del balance

- Humedad inicial de cáscara: ~80% base húmeda
- Relación sólido:solvente = 1:15 (m/v)
- Eficiencia de extracción: 75–85%
- Temperatura de secado: 60°C (bandeja o spray)

Los rendimientos varían con la madurez del fruto, variedad y método de extracción.

Balance de Energía: Consideraciones Clave

Requerimiento térmico — Ejemplo de cálculo

Para 100 kg/h de cáscara procesada en extractor a 85°C:

Etapa		Demanda (kW)	
Calentamiento del solvente		45 – 60	
Secado por bandeja (60°C)		80 – 120	
Bombeo y agitación		10 – 20	
Destilación de etanol		30 – 50	
Total estimado		165 – 250 kW	

Generación y recuperación energética

Cogeneración

Combustión de fibra residual (680–720 kg/t) con poder calorífico ~15 MJ/kg (base seca).

Biogás

Digestión anaerobia de licores de prensa. Integración energética reduce hasta 40% el OPEX de energía.

Integración

Modelo Albarelli et al. (caña-annatto): CO₂, etanol, calor y electricidad compartidos entre plantas.

Análisis Económico: CAPEX y OPEX

CAPEX — Inversión de Capital

Componente	Rango (US \$)
Equipos (reactores, extractores, secadores, centrífugas)	500,000 – 1,500,000
Infraestructura (planta, servicios)	300,000 – 800,000
Control y automatización	100,000 – 300,000
CAPEX Total Estimado	900,000 – 2,600,000

OPEX — Gastos Operativos Anuales

Componente	Rango (US \$/año)
Materia prima (US \$/t fruto)	50 – 150 por t
Energía (eléctrica y térmica)	100,000 – 300,000
Mano de obra	150,000 – 400,000
Mantenimiento y consumibles	50,000 – 150,000
OPEX Total Estimado	350,000 – 1,000,000

⚠ Los rangos reflejan variabilidad según escala de planta, ubicación geográfica, grado de automatización y precios de mercado locales. Se recomienda análisis de sensibilidad.

Caso de Estudio: Planta de Pectina de Maracuyá

Adaptado de Cayhualla et al. (2015) — Plan de negocio para producción y comercialización de pectina a escala industrial en Perú.

211 t

Capacidad instalada

Toneladas/año de pectina

~\$870K

Inversión total

Equiv. US \$ al tipo de cambio 2015

~\$490K

VAN del proyecto

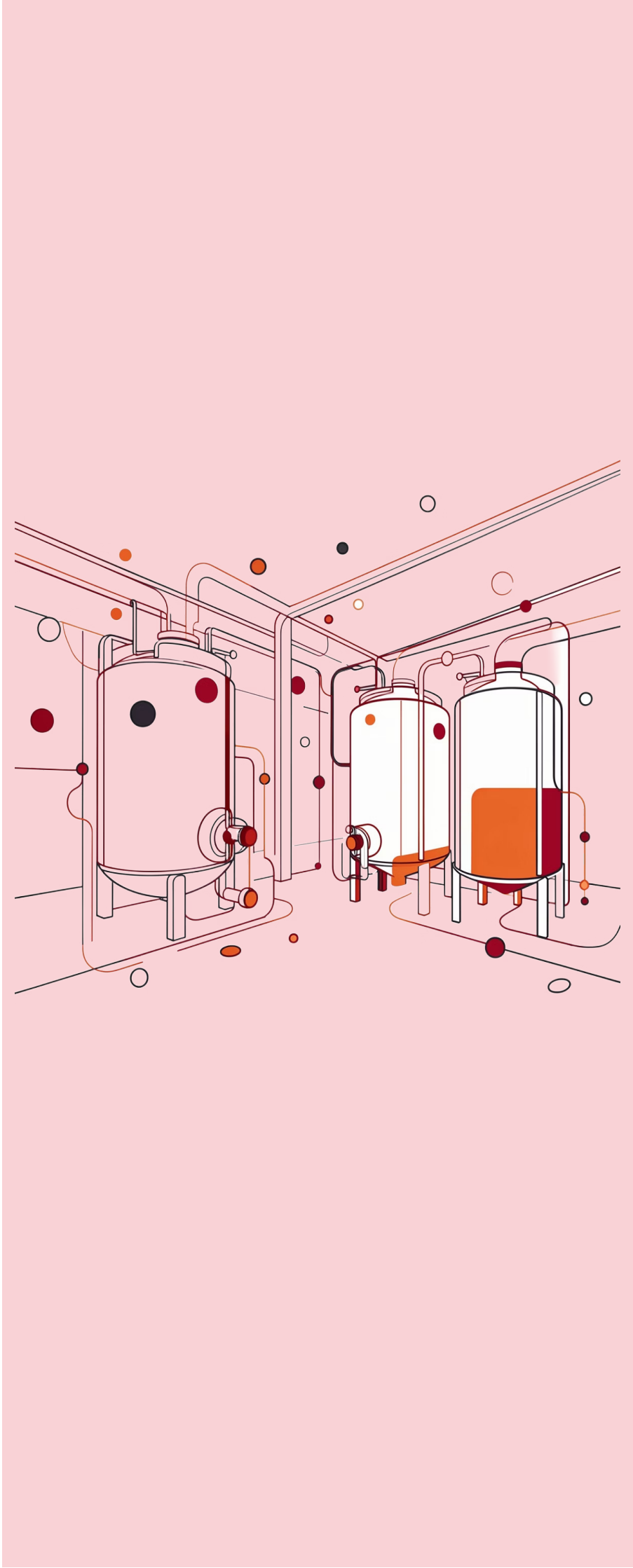
Valor actual neto positivo

24.4%

TIR

Tasa interna de retorno

Financiamiento estructurado: 30% capital propio, 70% deuda (Export Import Bank + BBVA). Proyecto calificado como rentable y replicable en otras regiones productoras de maracuyá.



Ejemplo de Cálculo: Valorización de Residuos para Biogás

Base de cálculo: 1,000 kg de residuos sólidos

Variable	Valor
Fracción TVS (sólidos volátiles)	70% de materia seca
Rendimiento biogás (conservador)	200 mL/gTVS
TVS totales disponibles	700 kg = 700,000 g
Producción total de biogás	140,000 L
Contenido de CH ₄ (60% v/v)	84,000 L biometano
Energía equiv. (PCI CH ₄ ~35.8 MJ/m ³)	~3,007 MJ ≈ 835 kWh

 Rendimientos reportados por Poveda-Giraldo et al. (2024): 186–533 mL/gTVS según sustrato. El valor de 200 mL/gTVS es conservador para residuos de maracuyá.

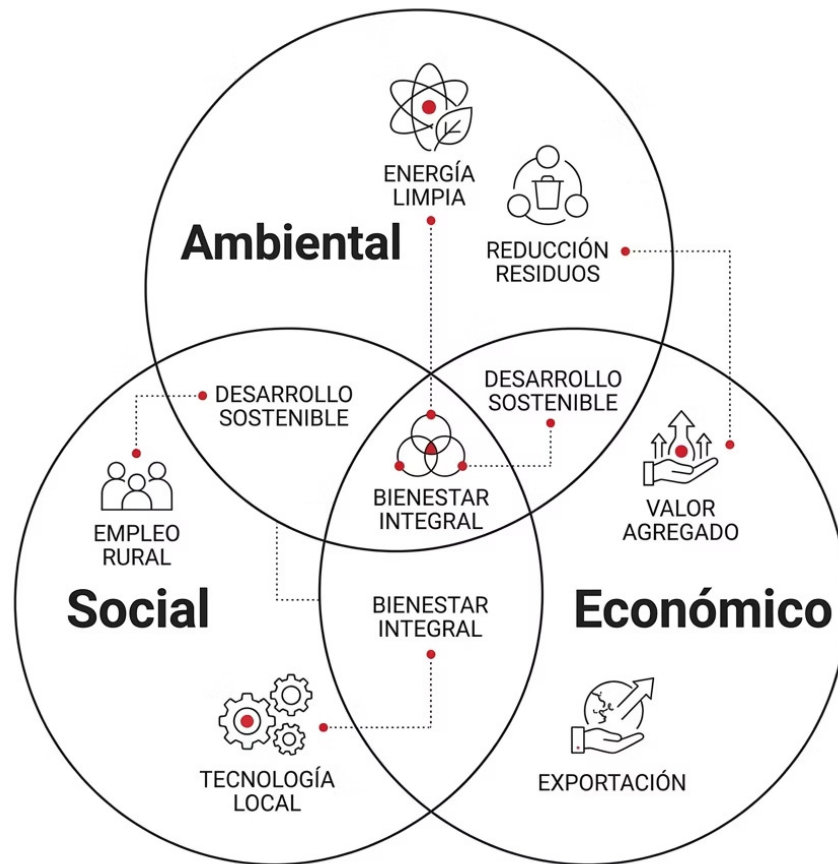
Interpretación energética

Los **835 kWh generados** por tonelada de residuos representan aproximadamente:

- Energía térmica para 8–10 horas de operación del secador
- Suministro eléctrico equivalente para ~2 hogares durante 1 mes
- Reducción del OPEX energético en US \$ 60–100 por tonelada procesada

La cogeneración de biogás mejora el índice de sustentabilidad y reduce la huella de carbono del proceso.

Sostenibilidad e Impacto del Modelo de Biorrefinería



Triple impacto positivo

→ Ambiental

Desvío de residuos orgánicos del vertedero, producción de energía limpia y reducción de emisiones de GEI.

→ Social

Creación de empleos rurales, fortalecimiento de cooperativas y transferencia tecnológica a productores locales.

→ Económico

Valor agregado sobre residuos antes descartados, apertura de mercados de exportación y sustitución de importaciones.

Bibliografía

Albarelli et al. (2016)

Economic Analysis of an Integrated Annatto Seeds-Sugarcane Biorefinery Using Supercritical CO₂ Extraction. *Materials*, 9(6), 494. DOI: 10.3390/ma9060494

Cayhualla et al. (2015)

Plan de negocio de producción y comercialización de pectina de cáscara de maracuyá. Tesis de Maestría, Gestión de Agro Negocios y Alimentos, Perú.

Muñoz-Briones et al. (2021)

Estudio de pre-factibilidad técnica y económica de biorrefinería para residuos de cáscara de naranja. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 13(2).

Poveda-Giraldo et al. (2024)

Prefeasibility analysis of small-scale biorefineries: the annatto and açai case to improve incomes of rural communities. *Biomass Conversion and Biorefinery*. DOI: 10.1007/s13399-024

Presentación elaborada con fines académicos y de consultoría de ingeniería de procesos. Los datos económicos son estimados referenciales sujetos a actualización según condiciones de mercado locales.