

CA11B21



SuperZana: La Biorrefinería de Zanahoria

Innovación Sostenible para Ingenieros de Procesos

BIORREFINERÍA · VALOR AÑADIDO · SOSTENIBILIDAD



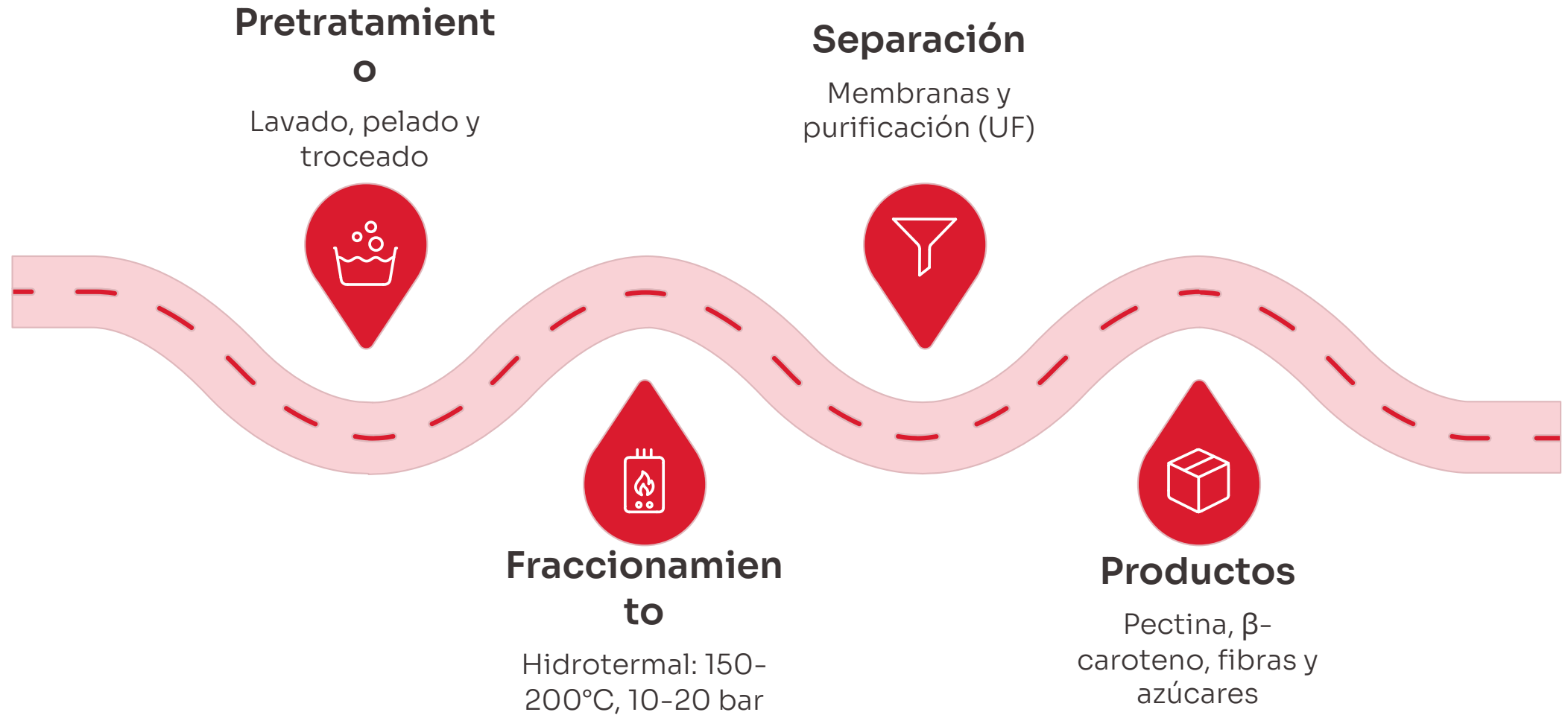
CONTEXTO

El Potencial Oculto de la Zanahoria

Daucus carota L. es mucho más que un alimento: es una **plataforma industrial de alto valor**. El concepto de biorrefinería permite extraer múltiples compuestos de forma integrada, maximizando la eficiencia y eliminando residuos.

i Objetivo: Modelar la biorrefinería de zanahoria, analizar sus productos, balances y viabilidad técnico-económica para ingenieros de procesos.

Del Campo a la Industria: Etapas del Proceso



El fraccionamiento hidrotermal es el núcleo del proceso: utiliza agua subcrítica como solvente verde, eliminando la necesidad de químicos agresivos y reduciendo la generación de residuos peligrosos.

Productos y Subproductos de Alto Valor

Pectina

Agente gelificante para industria alimentaria y farmacéutica.
Rendimiento estimado: **44.4 ton/año** en escala similar a biorrefinería de naranja.

β -Caroteno

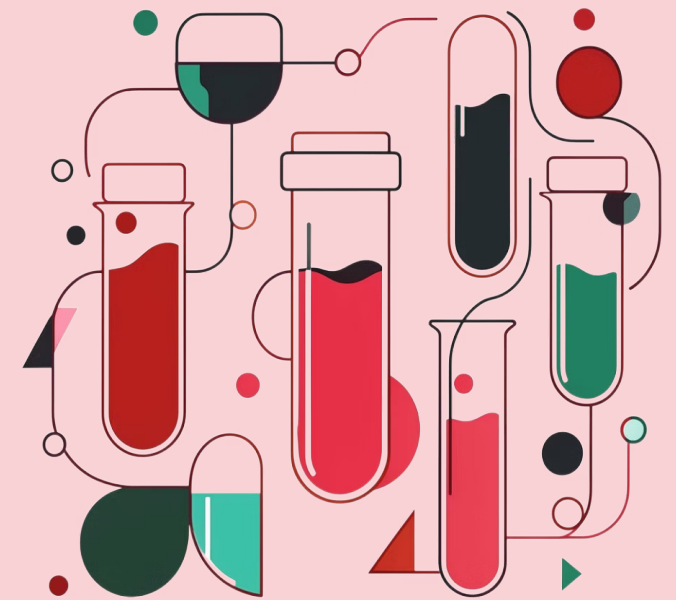
Precursor de Vitamina A, antioxidante y pigmento natural. Extracción de residuos de zanahoria con rendimiento de **0.1–0.5% peso seco**.

Fibras Dietéticas

Aditivos alimentarios o materia prima para producción de **biogás y bioetanol**.

Azúcares

Sacarosa, glucosa y fructosa recuperadas: base para **fermentación o edulcorantes**.



Balance de Masa por Etapa de Proceso

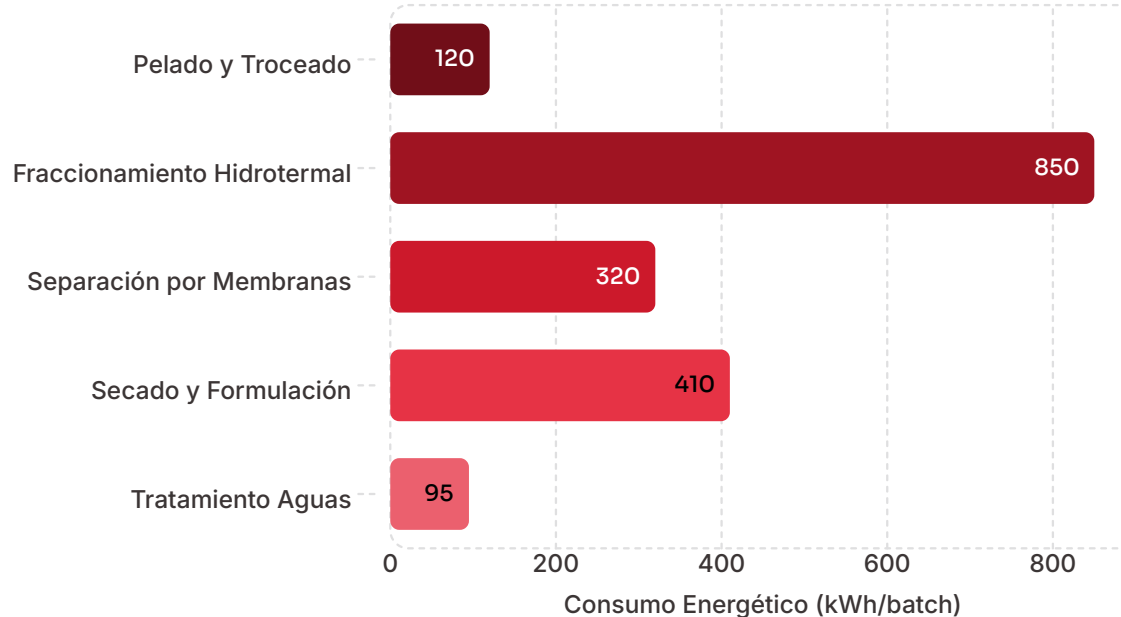
Etapa	Entrada (kg)	Salida (kg)	Pérdidas / Subproductos (kg)
Pelado / Troceado	10,000	8,500	1,500 (pieles, puntas)
Fraccionamiento	8,500	7,000	1,500 (aguas residuales)
Extracción Pectina	7,000	6,500	500 (residuos sólidos)
Extracción β -Caroteno	6,500	6,450	50 (concentrado valioso)

Parámetros Clave

- **Materia prima:** 10,000 kg/batch, humedad ~88%
- **Pérdida en pretratamiento:** ~15%
- **Rendimiento pectina:** 5–10% (base seca)
- **Rendimiento β -caroteno:** 0.1–0.5% (peso seco)
- **Eficiencia global:** ~64.5% de masa útil recuperada

Consumo y Recuperación de Energía

Etapa del Proceso



Condiciones de Operación

El fraccionamiento hidrotermal opera a **150–200 °C** y **10–20 bar**, representando el mayor consumo energético (~48% del total).

- ✓ Recuperación de calor: Las corrientes calientes de salida permiten precalentar la alimentación, ahorrando hasta un **25–30%** del consumo en el reactor.

CAPEX y OPEX: Análisis Económico

CAPEX — Inversión de Capital

- **Equipamiento** (reactor, membranas, secadores, bombas): **US \$1.5 – 3.0 M**
- **Instalaciones** (edificio, servicios): US \$0.3 – 0.6 M
- **Ingeniería y montaje:** US \$0.5 – 1.0 M
- **Total CAPEX estimado:** **US \$2.3 – 4.6 M**

OPEX — Cálculo Anual Ejemplo

Concepto	US \$/año
Materia prima (200 batches × US \$0.30/kg)	600,000
Energía (electricidad + vapor)	150,000
Mano de obra (5 personas)	200,000
Mantenimiento y químicos	80,000
Gestión de residuos	75,000
TOTAL OPEX	> US \$1,105,000

Benchmarking: Pectina y β -Caroteno

Caso 1 — Pectina (ref. desechos de manzana)

Método	Extracción ácida/enzimática
Rendimiento	5–15% (base seca)
Costo producción	US \$5–15/kg
Precio mercado	US \$15–30/kg
Margen estimado	US \$10–15/kg

Caso 2 — β -Caroteno (ref. zanahoria)

Método	CO ₂ supercrítico / hexano
Rendimiento	0.1–0.5% peso fresco
Costo producción	US \$50–150/kg
Precio mercado	US \$100–300/kg
Margen estimado	US \$50–150/kg

 Cálculo de ROI Simplificado (año 1, CAPEX US \$3 M)

\$888K

Ingresos Pectina

44.4 ton/año × US \$20/kg

\$1.5M

Ingresos β -Caroteno

10 ton/año × US \$150/kg

\$2.39M

Beneficio Bruto Anual

Suma de ingresos principales

~80%

ROI Año 1

Sin descontar OPEX (referencial)

El Rol de SuperZana en la Economía Circular

La biorrefinería de zanahoria no solo genera valor económico; es un modelo de **economía circular** aplicada a la agroindustria, con impacto en tres dimensiones.



Ambiental

Valorización de residuos, menor huella hídrica

Económico

Diversificación de la cadena e ingresos por subproductos

Social

Empleo rural, seguridad alimentaria y Vitamina A

Indicadores Clave de Sostenibilidad

- ↓ Residuos a vertedero: **hasta 85%** de la materia prima valorizada
- ↓ Emisiones CO₂ vs. proceso convencional: **~30%**
- ↑ Empleo directo e indirecto en zonas rurales
- Agua residual tratada: potencial de **reutilización >70%**

✓ El uso de agua subcrítica como solvente elimina residuos de disolventes orgánicos peligrosos, cumpliendo los principios de Química Verde.

Bibliografía y Próximos Pasos

Referencias Clave

Hernández-Conde et al. (2024). SuperZana, una biorrefinería de zanahorias como superheroína de la sostenibilidad. *Universidad de Valladolid*.

Otálora Orrego, D. (2019). Factibilidad técnico-financiera para extracción de β -caroteno de desechos de zanahoria. *Fund. Universidad de América*.

García-Serna et al. (2023). SuperZana, una biorrefinería de zanahorias. *Dialnet / UVaDOC*.

Alvarez-Barreto, J.F. (2021). Pre-factibilidad de biorrefinería de cáscara de naranja. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 13(2).

Próximos Pasos para Ingenieros de Procesos

01

Diseño de Detalle

Selección y dimensionamiento de equipos principales.

02

Optimización de Parámetros

Temperatura, presión y solventes para maximizar rendimiento.

03

Análisis de Ciclo de Vida

ACV completo para certificar sostenibilidad ambiental.

04

Modelo Financiero Robusto

Flujo de caja, VAN, TIR y análisis de sensibilidad.

 **¿Preguntas?** La biorrefinería de zanahoria está lista para escalar — el siguiente paso es suyo.