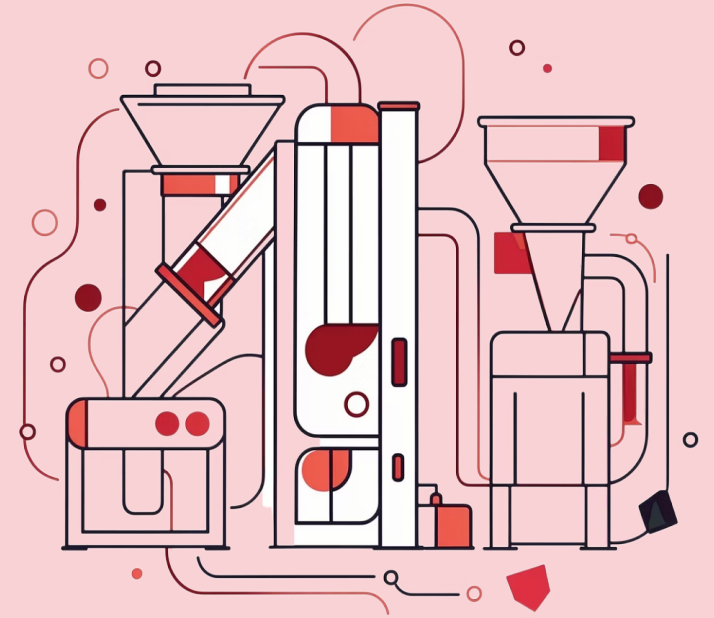


Biorrefinería del Tomate

Transformando Subproductos en Valor — Una visión integral para ingenieros de procesos sobre la valorización sostenible de residuos de la industria tomatera.



El Desafío: Residuos de la Industria Tomatera



130M t

Tomate procesado

Producción mundial anual

~8M t

Subproductos generados

Pieles, semillas y pulpa residual

80-90%

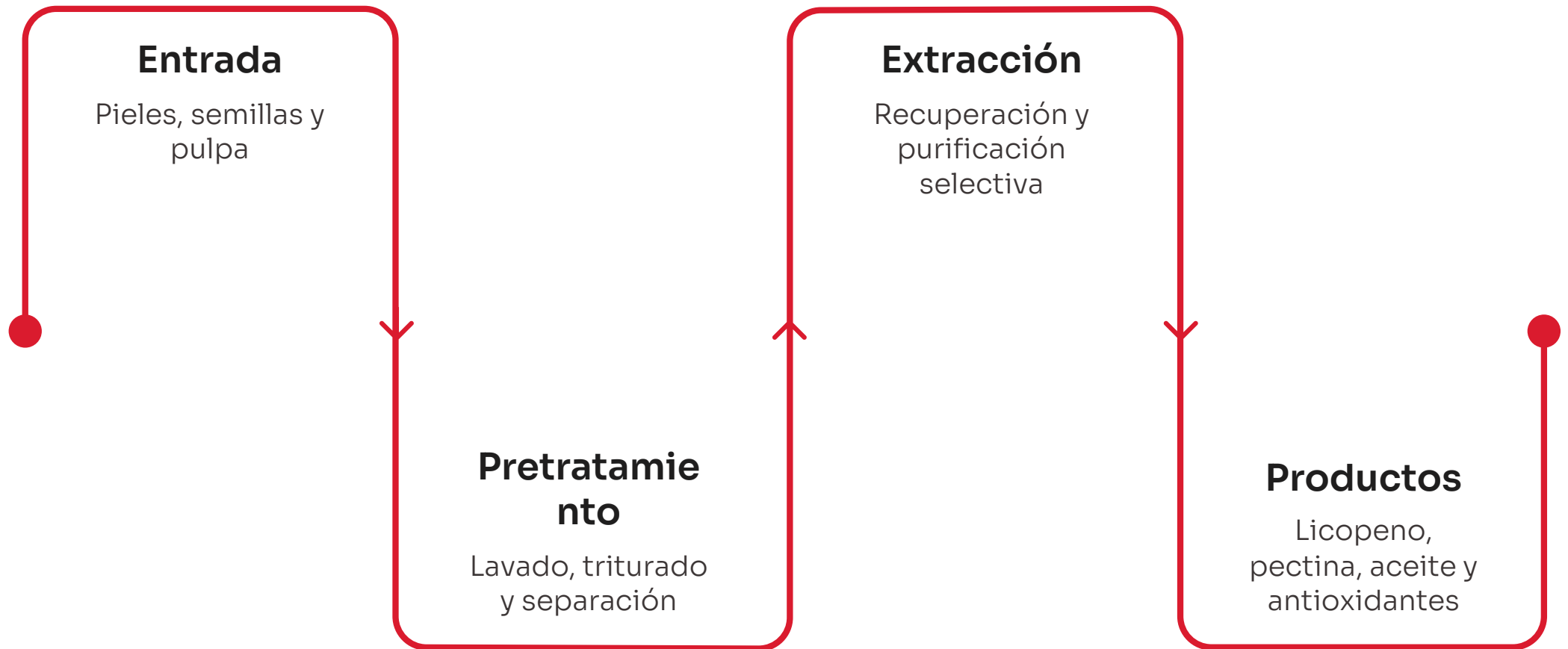
Pigmentos recuperables

Carotenoides en tomates maduros

Estos residuos contienen compuestos bioactivos de alto valor — carotenoides, polifenoles y vitaminas — que representan una oportunidad estratégica para la valorización sostenible y la generación de ingresos adicionales.

La Solución: Biorrefinería Integral del Tomate

Un proceso integrado que convierte los subproductos del tomate en múltiples productos de alto valor mediante extracción selectiva y transformación de compuestos bioactivos.



La integración de múltiples corrientes de productos maximiza el retorno económico y minimiza la generación de residuos finales, alineándose con los principios de la economía circular.

Productos Clave y sus Aplicaciones



Licopeno

Potente antioxidante.

Rendimiento: hasta **2,586 mg/kg** de subproducto.

Aplicaciones en suplementos, cosméticos y colorante natural.



Pectina

Polisacárido gelificante y espesante. Aplicaciones en la industria alimentaria (mermeladas, postres) y farmacéutica.



Aceite de Semilla

Rico en ácidos grasos insaturados y vitamina E. Usos en alimentación y cosmética de alta gama.



Otros Bioactivos

Polifenoles, β -caroteno, luteína y zeaxantina para nutraceuticos e ingredientes funcionales.

Balances de Masa y Energía

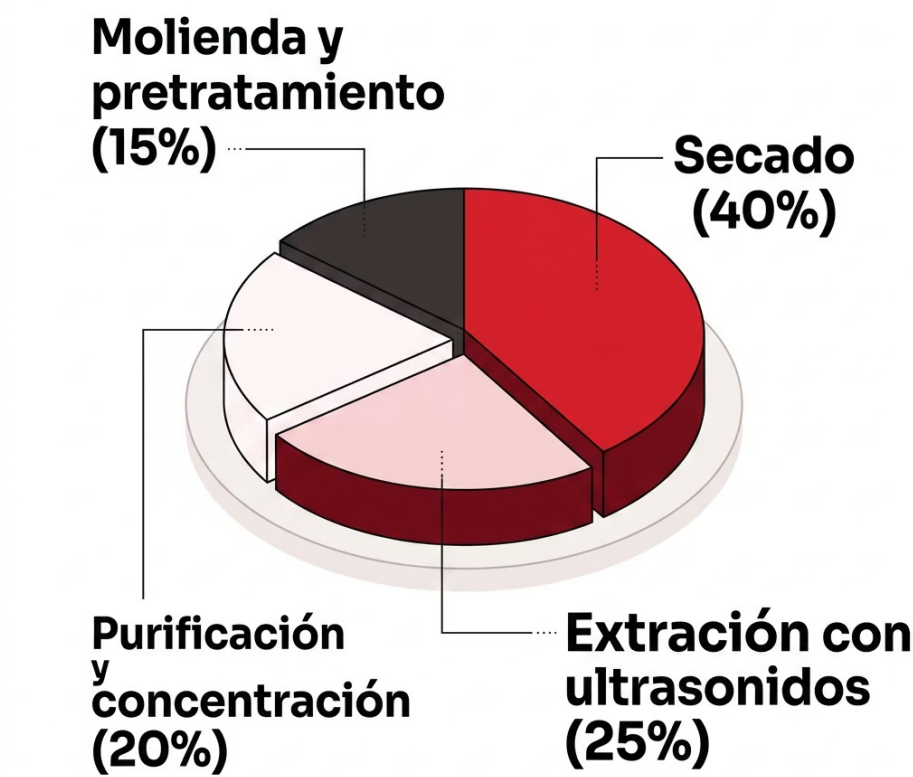
Balance de Masa — Base: 1,000 kg de subproductos

Corriente de Salida	Cantidad (kg)	% Masa entrada
Licopeno	~2.5	0.25%
Pectina	50 – 100	5 – 10%
Aceite de Semilla	50 – 80	5 – 8%
Biomasa residual	700 – 800	70 – 80%

Comparativa de Procesos de Extracción de Licopeno

Proceso	Rendimiento (mg/kg)	Costo Est. (US\$/kg)
Solvente convencional	218	Bajo
Ultrasonidos	775	Medio
Extracción asistida optimizada	2,586	Alto

Balance Energético — Etapas principales



Ejemplo de Cálculo: Extracción de Licopeno por Ultrasonidos

 Base de cálculo: 1,000 kg/día de subproductos de tomate (pieles húmedas, 85% humedad). Planta operando 300 días/año.

Paso 1 — Masa seca disponible

Masa seca = $1,000 \times (1 - 0.85) = 150 \text{ kg/día}$

Paso 2 — Rendimiento de licopeno

Licopeno = $150 \text{ kg} \times 2,586 \text{ mg/kg} \times 10^{-6} = 0.388 \text{ kg/día} \rightarrow 116.3 \text{ kg/año}$

Paso 3 — Ingreso bruto estimado

Precio mercado licopeno: ~US\$ 500/kg

Ingreso = $116.3 \times 500 = \text{US\$ } 58,150/\text{año}$

Paso 4 — Consumo energético de ultrasonidos

Potencia típica: 1,500 W por 28 min = 0.7 kWh/ciclo

Ciclos/día: ~50 $\rightarrow 35 \text{ kWh/día}$

Paso 5 — Costo energético

$35 \text{ kWh} \times \text{US\$ } 0.10/\text{kWh} = \text{US\$ } 3.50/\text{día} \rightarrow \text{US\$ } 1,050/\text{año}$

Margen bruto estimado (solo energía)

$\text{US\$ } 58,150 - \text{US\$ } 1,050 = \text{US\$ } 57,100/\text{año}$

CAPEX y OPEX: Estructura de Costos

CAPEX — Inversión de Capital

Componente	Costo Estimado (US\$)
Secadores industriales	80,000 – 250,000
Extractores (solvente/US)	150,000 – 500,000
Centrifugadoras y filtros	100,000 – 300,000
Sistemas de purificación	80,000 – 400,000
Infraestructura y obra civil	90,000 – 550,000
TOTAL CAPEX	500,000 – 2,000,000

OPEX — Gastos Operativos Anuales

Concepto	Costo Anual (US\$)
Materia prima y transporte	20,000 – 80,000
Energía (electricidad, vapor)	30,000 – 120,000
Disolventes y reactivos	15,000 – 60,000
Mano de obra calificada	25,000 – 180,000
Mantenimiento (2-3% CAPEX)	10,000 – 60,000
TOTAL OPEX	100,000 – 500,000

⚠️ Estos rangos son estimaciones conceptuales. Un estudio de factibilidad detallado con ingeniería de detalle es obligatorio antes de cualquier decisión de inversión.

Caso de Estudio 1: Extracción Optimizada de Licopeno

Institución

Universidad Politécnica de Cartagena / Universidad de Santiago de Compostela — Tesis Doctoral (Mozarari, 2025).

Condiciones Óptimas de Proceso

Temperatura: **45°C** · Amplitud ultrasonidos: **82%** · Tiempo: **23–28 min** · Rendimiento máximo: **2,586 mg/kg**

Innovación: Microencapsulación

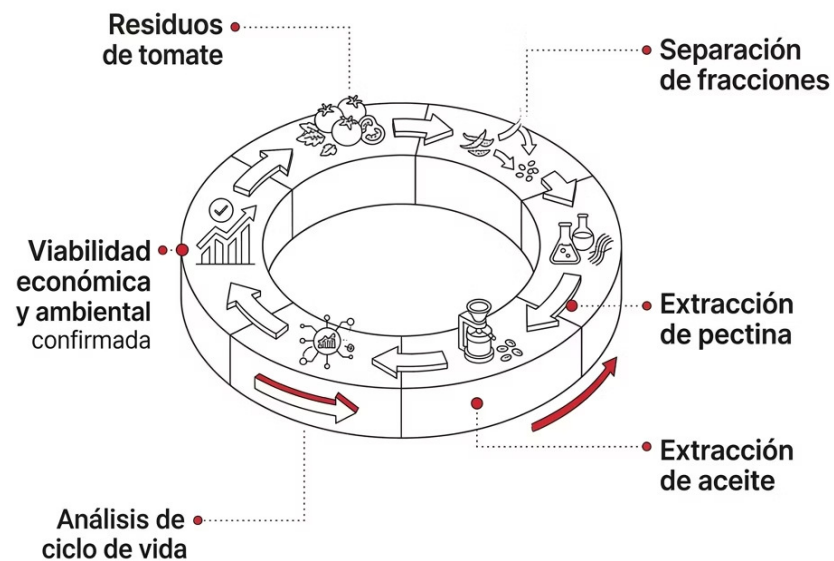
Uso de maltodextrina e inulina como agentes encapsulantes para mejorar estabilidad oxidativa y biodisponibilidad del licopeno extraído.

Aplicación Industrial

Producción de ingredientes funcionales para purés enriquecidos y bebidas vegetales con claims nutricionales verificables.



Caso de Estudio 2: Biorrefinería Integral — Pectina y Aceite



Universidad de Santiago de Compostela

Agraso-Otero et al. (2026) — *Food and Bioproducts Processing*, 155, 167–178.

Metodología

Análisis de Ciclo de Vida (ACV) + evaluación económica integrada

Resultados Clave

Viabilidad ambiental y económica demostrada para obtención simultánea de pectina y aceite de semilla

Impacto

Reducción de huella de carbono del proceso y mejora del índice de sostenibilidad global de la planta procesadora

Viabilidad Económica y Sostenibilidad



Múltiples Flujos de Ingreso

Venta simultánea de licopeno, pectina, aceite y bioactivos diversifica el riesgo financiero.



Reducción de Costos de Disposición

Elimina tasas de vertedero y costos de gestión de residuos orgánicos industriales.



Mercado en Expansión

Demanda creciente de ingredientes naturales y funcionales impulsada por tendencias de salud global.

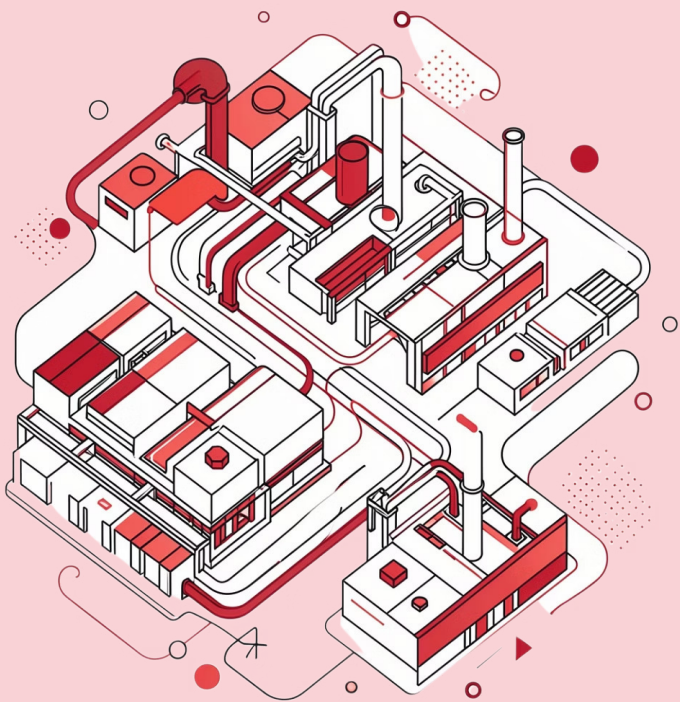


Economía Circular

Alineación con marcos regulatorios europeos y objetivos de sostenibilidad corporativa (ESG).



El ROI dependerá críticamente de la escala de operación, eficiencia de extracción y precios de mercado. Se recomienda análisis de sensibilidad con escenarios de precios $\pm 30\%$.



Conclusiones y Bibliografía

Conclusiones Clave

- La biorrefinería del tomate es una estrategia técnica y económicamente viable para la valorización de subproductos industriales.
- La optimización de condiciones de extracción (US, temperatura, tiempo) es determinante para maximizar rendimientos y rentabilidad.
- El enfoque multiproducto (licopeno + pectina + aceite) es superior al monoproducto en viabilidad económica.
- **Próximos pasos:** Plantas piloto, escalado industrial, investigación en bioproductos emergentes (bioplásticos, biomateriales).

Referencias Bibliográficas

- Agraso-Otero et al. (2026). *Food and Bioproducts Processing*, 155, 167–178.
- Mozarari, L. (2025). Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Cartagena.
- Navajas-Preciado et al. (CICYTEX). Modelos de biorrefinería para la industria del tomate.
- Villegas Benítez, C.M. (2017). TFG Ingeniería Básica — Planta Licopeno. Univ. de Sevilla.
- Bocci, D. et al. (2021). *Rev. de Ingeniería y Ciencias Aplicadas*, 1(1).