



Biorrefinería de Maíz Morado: Del Grano a Productos de Alto Valor

Análisis técnico-económico integral para ingenieros de procesos: productos, balances de masa y energía, CAPEX/OPEX y casos de estudio.



INGENIERÍA DE PROCESOS

BIORREFINERÍA

MAÍZ MORADO

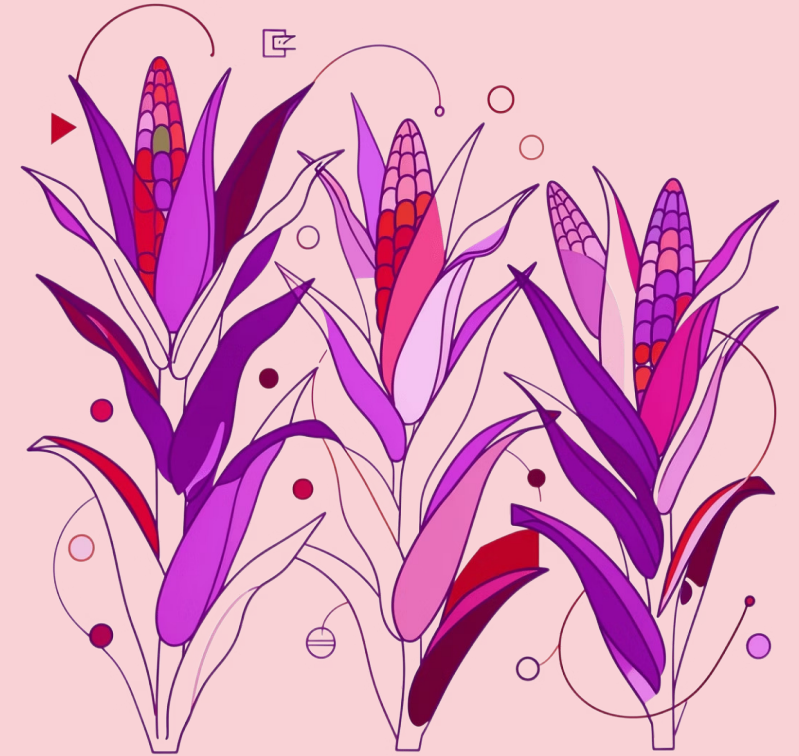
El Potencial del Maíz Morado: Más Allá del Consumo Tradicional

¿Por qué maíz morado?

Zea mays L. concentra antocianinas en pericarpio, olote y granos — pigmentos bioactivos con alto poder antioxidante y creciente demanda global.

Oportunidades de mercado

- Mercado de colorantes naturales con crecimiento del **4.7% anual hasta 2028**
- Sustitución de colorantes artificiales nocivos (Rojo 40, Amarillo 5)
- Biomasa residual (olote): recurso lignocelulósico para bioetanol y xilosa



Productos y Subproductos Clave de la Biorrefinería



Antocianinas

Producto principal. Colorantes naturales antioxidantes para industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Precio de mercado: **US\$ 110/kg** puesto en fábrica.



Xilosa

Derivada de hemicelulosa del olote. Precursor para xilitol y furfural. **Mayor valor agregado que el bioetanol** en mercados especializados.



DDGS

Dried Distillers Grains with Solubles. Alimento de alta proteína para ganado. Producción estimada: **294,421 tn/año**.



Bioetanol

Combustible renovable obtenido por fermentación del almidón. Producción: hasta **200,000 m³/año** en plantas de escala industrial.



CO₂ Purificado

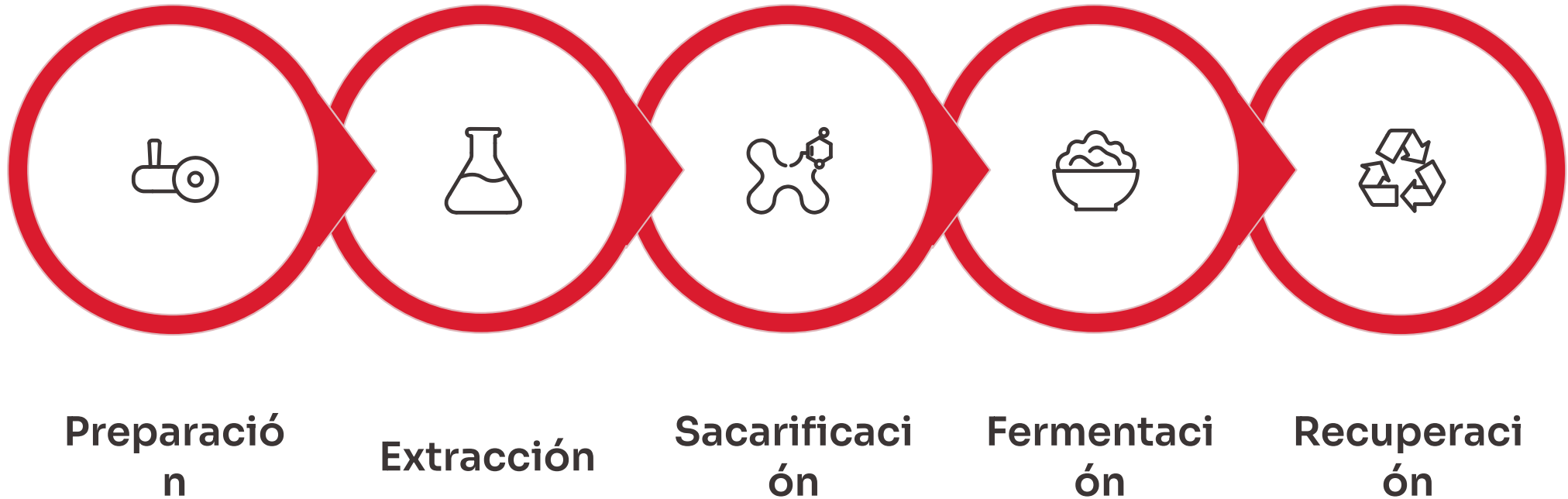
Subproducto de la fermentación. Pureza **99.99%**, con aplicaciones en industria alimentaria, soldadura y carbonatación.



Lignosulfonatos

Obtenidos de la lignina residual. Usados como aditivos para concreto y dispersantes en formulaciones industriales.

Diagrama de Flujo de la Biorrefinería



El esquema integra dos líneas principales: **línea de antocianinas** (extracción húmeda → secado spray) y **línea de almidón** (hidrólisis → fermentación → destilación). Los residuos sólidos alimentan una tercera línea para xilosa y lignosulfonatos desde el olote.

Balances de Masa y Energía

Balance de Masa — Valores de Referencia

Corriente	Valor	Base
Maíz morado → Antocianinas	78.02 kg mazorca / kg producto	1 kg antocianinas
Maíz → Bioetanol	767,541.5 tn/año	200,000 m³/año EtOH
Producción CO ₂	187,378 tn/año	Fermentación
Producción DDGS	294,421 tn/año	Post-destilación

Balance de Energía

 Calor de reacción en hidrólisis enzimática: **$\Delta H = -30$ kJ/mol EtOH** (reacción exotérmica).

- Optimización energética mediante integración calórica (intercambiadores de calor)
- Biomasa residual (lignina) puede generar vapor de proceso, reduciendo consumo externo
- Secado por aspersión es el mayor consumidor energético en línea de antocianinas (~35% del OPEX energético)

Análisis Económico: CAPEX y OPEX

\$2.3M

CAPEX — Antocianinas

Inversión fija total para planta de **20,160 kg/año**. Incluye equipos de extracción, secado spray y utilidades.

\$145M

CAPEX — Bioetanol

Inversión total para planta de **200,000 m³/año**. Reactores, columnas de destilación y sistemas de recuperación de subproductos.

\$69.17

OPEX — Antocianinas

Costo de producción por kg. Precio de venta puesto en fábrica: **US\$ 110/kg**. Margen bruto estimado: 37%.

\$190M

OPEX — Bioetanol / año

Desglose: **68%** materia prima · **20%** servicios · **5%** depreciación · **7%** otros costos operativos.

Rentabilidad y Viabilidad del Proyecto

Planta de Antocianinas

ROI previo a impuestos

36.38%

ROI post-impuestos

23.38%

Periodo de retorno

2.29 años (post-impuestos)

Planta de Bioetanol

TIR

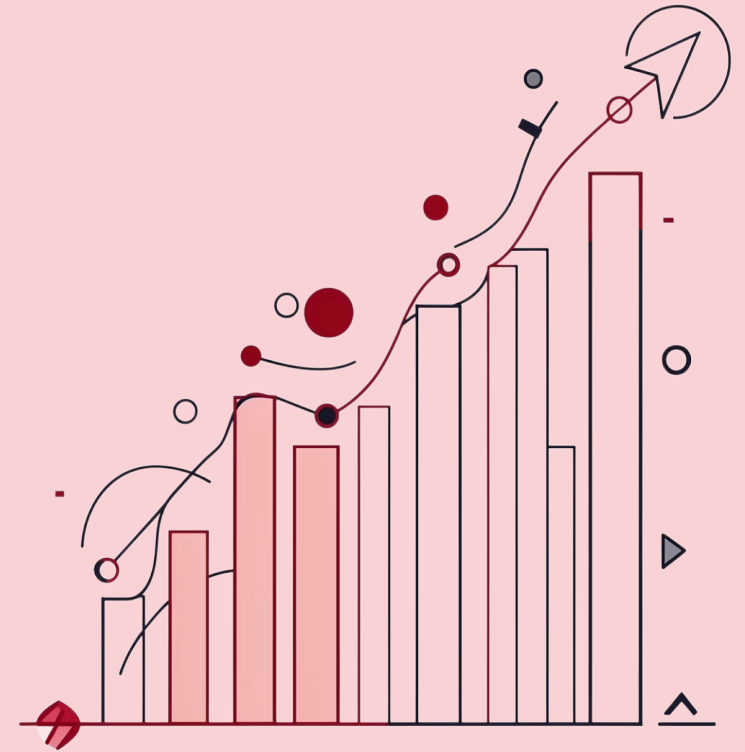
22.72% vs. TMAR 20%

VPN del proyecto

US\$ 20,446,421

Indicador

$TIR > TMAR \rightarrow$ **Proyecto viable**



Casos de Estudio y Ejemplos de Cálculo

Caso 1: Planta de Antocianinas (20,160 kg/año)

📄 Producto comercial "Runakay" — filtro de maíz morado

- Inversión fija total: **US\$ 2,307,144**
- Costo de producción unitario: **US\$ 69.17/kg**
- Precio a distribuidores: **S/. 3.70/unidad** (filtro 2.5 g)
- Precio al consumidor final: **S/. 6.06/unidad**
- Relación insumo/producto: **78.02 kg mazorca por kg de antocianinas**

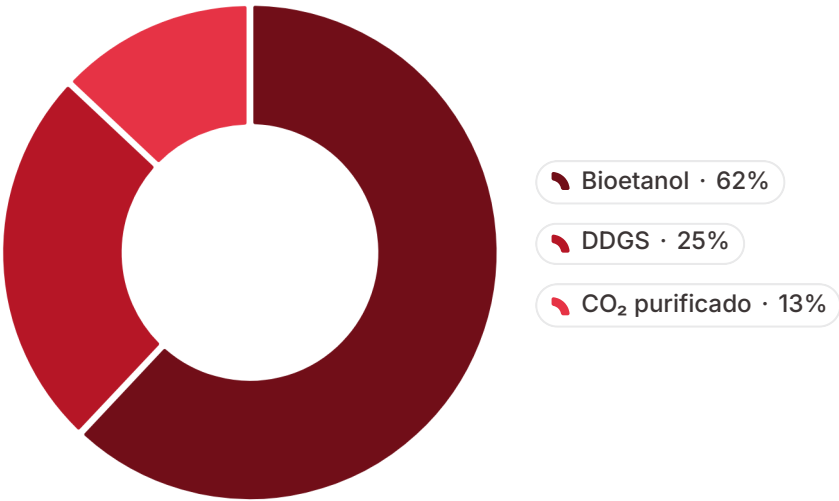
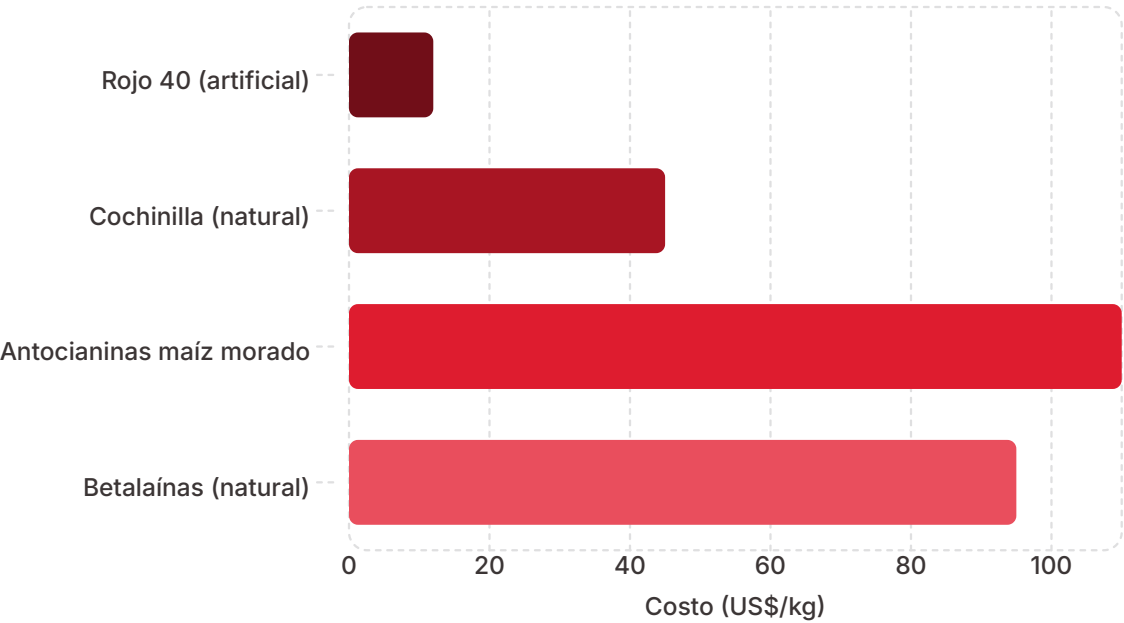
Caso 2: Planta de Bioetanol (200,000 m³/año)

📄 Diseño de columnas de destilación — purificación de etanol anhidro

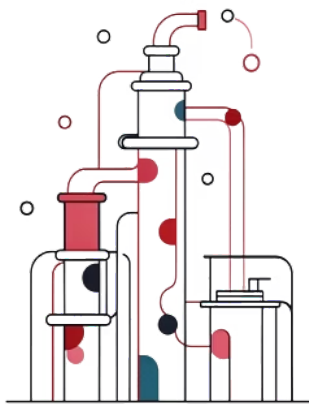
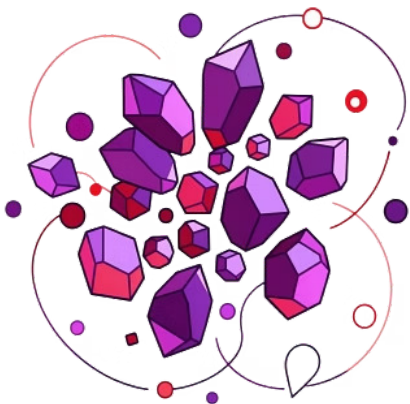
- Materia prima: **767,541.5 tn/año** de maíz (68% del OPEX)
- CO₂ recuperado: **187,378 tn/año** al 99.99% de pureza
- DDGS generado: **294,421 tn/año**
- Columnas de destilación: diseñadas por criterio de McCabe-Thiele con especificaciones de diámetro y altura por número de platos teóricos

Ilustraciones y Figuras Clave

Colorante



Distribución estimada de ingresos en planta de bioetanol de 200,000 m³/año.



Bibliografía y Referencias

FUENTES ACADÉMICAS Y TÉCNICAS

→ **García Cubas & Campos Coronado (2021)**

Estudio de prefactibilidad de planta de antocianinas a partir de maíz morado (*Zea mays L.*). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. **Base para datos de CAPEX/OPEX de antocianinas.**

→ **Gelsumino, López de Armentia & Tous (2020)**

Diseño de planta de bioetanol a partir de maíz. Universidad Nacional de Mar del Plata. **Fuente principal de balances de masa, energía y diseño de columnas.**

→ **De Nigris & Solari (2018)**

Diseño de planta de bioetanol a base de maíz. Universidad Nacional de Mar del Plata. **Datos de TIR, VPN y criterios de diseño de equipos.**

→ **Urbina Rivera (2016)**

Estudio de prefactibilidad para planta productora de filtrantes de maíz morado. Universidad de Lima. **Caso de estudio "Runakay" y análisis de mercado local.**

→ **Ramírez de León (2020)**

Análisis de esquema de biorrefinería mediante criterios de sustentabilidad. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. **Marco conceptual de biorrefinería integrada.**