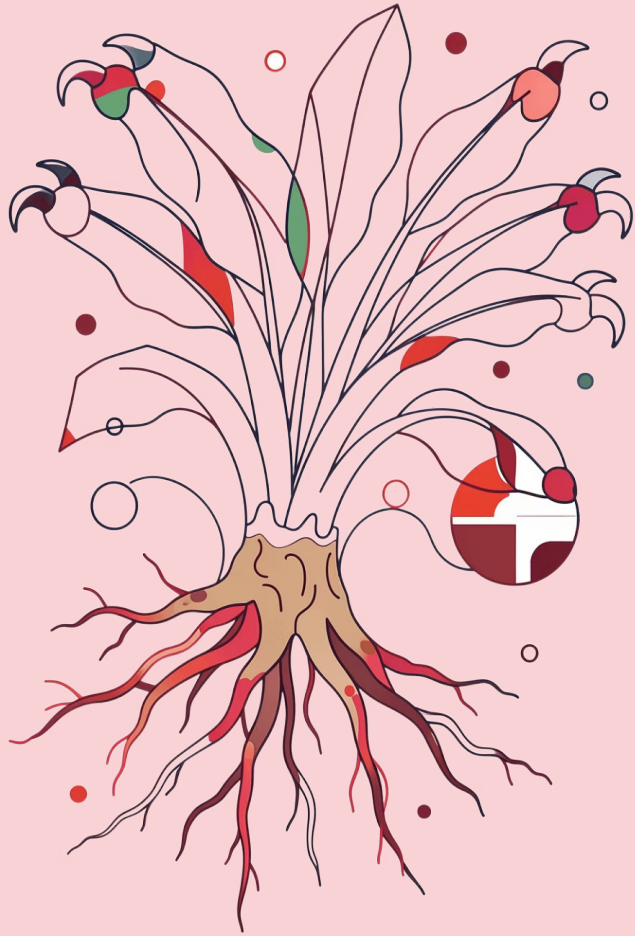




Biorrefinería de Uña de Gato

Producción de Catecol y Valorización de Subproductos — Una Perspectiva para Ingenieros de Procesos

BIOECONOMÍA CIRCULAR

INGENIERÍA DE PROCESOS

El Potencial de la Uña de Gato en la Bioeconomía

Especie de Alto Valor

Uncaria guianensis posee amplio reconocimiento medicinal; sus residuos lignocelulósicos permanecen sistemáticamente subutilizados en la cadena productiva.

Enfoque Biorrefinería

Integración de múltiples procesos para extraer valor de cada fracción de la biomasa, maximizando rendimiento y sostenibilidad económica.

Producto Objetivo

Catecol a partir de lignina: compuesto fenólico de alta demanda industrial en farmacéutica, agroquímicos y fragancias.



MATERIA PRIMA

Residuos de Uña de Gato

Origen: Pseudotallos y ramas provenientes de la industrialización de *Uncaria guianensis* en Perú y la región andina.

Composición Lignocelulósica Típica:

Fracción	Contenido (%)	Uso Principal
Celulosa	38 – 45 %	Etanol, ácido láctico
Hemicelulosa	20 – 28 %	Xilitol, furfural
Lignina	25 – 32 %	Catecol, fenoles
Extractivos/Cenizas	3 – 8 %	Residuo/cogeneración

Pretratamiento requerido: extracción selectiva de lignina (solvolisis, organosolv) antes de la etapa catalítica.

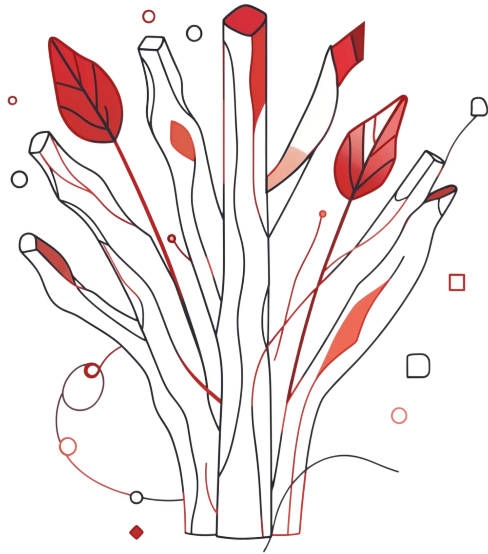
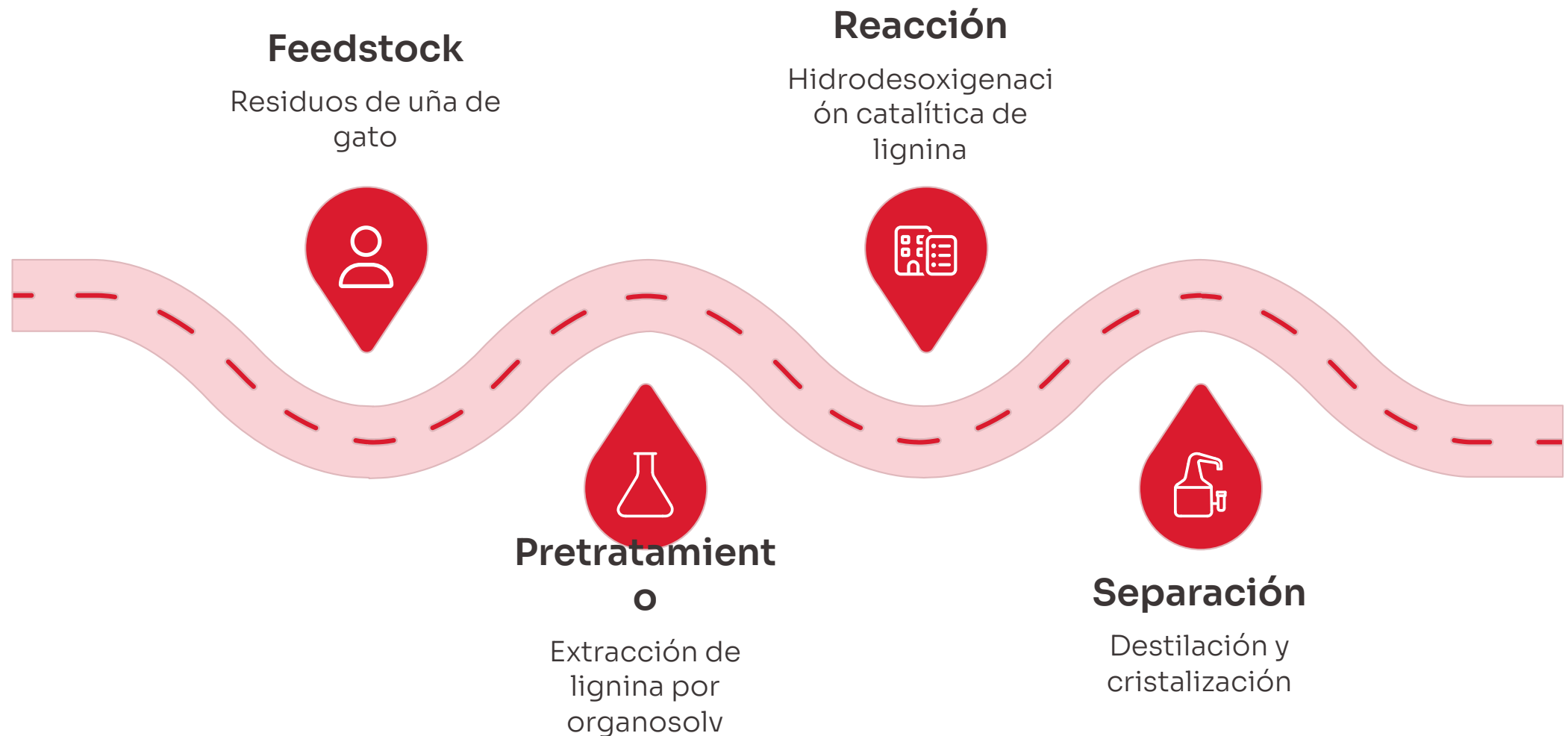
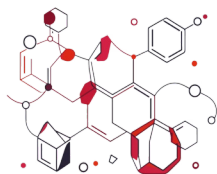


Diagrama de Flujo de la Biorrefinería (Conceptual)



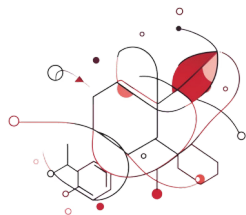
El proceso integra pretratamiento organosolv, hidrodesoxigenación catalítica (HDO) y separación multietapa. Cada etapa genera corrientes valorizables que alimentan el balance económico de la planta.

Productos y Subproductos Obtenidos



Catecol (Producto Principal)

Compuesto fenólico de alta pureza. Aplicaciones en farmacéutica, agroquímicos, antioxidantes y síntesis de fragancias. Precio de mercado ~**1,100 US \$/t.**



Otros Fenoles

Vanillina, ácido gálico y siringaldehído según la selectividad del catalizador. Mercados de alto valor en cosmética y aditivos alimentarios.



Biomasa Residual

Fracción no convertida orientada a cogeneración: biogás (digestión anaerobia) o biochar (pirólisis). Reduce costos netos de energía del proceso.



Celulosa y Hemicelulosa

Fracciones valorizables como etanol, xilitol o ácido láctico mediante sacarificación enzimática y fermentación (procesos adicionales requeridos).

Balances de Masa y Energía

Balance de Masa — Base de Cálculo: 1,000 kg/día de residuo

Corriente	Cantidad (kg/día)	Observación
Alimentación total	1,000	Residuo seco total
Fracción lignina (30%)	300	Extraída por organosolv
Catecol producido (50% rdto.)	150	HDO catalítica
Otros fenoles (~15%)	45	Subproducto recuperable
Celulosa + Hemicelulosa	580	Valorización adicional
Pérdidas y efluentes	~225	Tratamiento requerido

Balance de Energía Estimado

Etapas	Consumo (MJ/día)
Pretratamiento (organosolv)	1,200
Reacción HDO (H ₂ , 250°C)	2,800
Destilación/Purificación	1,500
Servicios auxiliares	400
Consumo Total	5,900
Cogeneración (biogás)	-2,100
Balance Neto	3,800 MJ/día



La cogeneración de biogás cubre ~36% de las necesidades energéticas, mejorando la sostenibilidad del proceso.

Análisis Económico: CAPEX y OPEX

CAPEX — Inversión de Capital

Inversión Total de Planta: ~4.9 M US \$

Capacidad de referencia: 2,544 kg/día de feedstock
(Mabrouk et al., 2018)

- Reactores y sistema HDO: ~1.8 M US \$
- Columnas de destilación: ~0.9 M US \$
- Sistemas de separación y purificación: ~0.7 M US \$
- Tanques, instrumentación y control: ~0.6 M US \$
- Obra civil y servicios: ~0.9 M US \$

OPEX — Costos Operativos Anuales

Componente	US \$/año
Materia prima (residuos)	~80,000
Solventes y catalizadores	~240,000
Energía (neta)	~180,000
Mano de obra	~150,000
Mantenimiento (5% CAPEX)	~245,000
Análisis y control calidad	~40,000
OPEX Total	~935,000

Costo del Producto y Rentabilidad

1,100

US \$/t catecol

Precio de venta estimado en mercado industrial

3.02

Ratio de valorización

Valor de productos / costo operativo total

4.9M

US \$ CAPEX

Inversión total de planta de referencia

Factores Clave de Rentabilidad

Precio del catecol

Principal driver de ingresos.
Sensible a pureza del producto y acceso a mercados especializados.

Valorización de subproductos

Vanillina, energía y fracciones celulósicas incrementan el ingreso total hasta un 30%.

Escala de producción

Economías de escala reducen el costo unitario; capacidades mayores a 2,000 kg/día son recomendables.

Ejemplos de Cálculo y Casos de Estudio

Caso 1 — Mabrouk et al. (2018): Lignina de Podas de Olivo

Parámetro	Valor
Capacidad feedstock	2,544 kg/día
CAPEX	~4.9 M US \$
Precio catecol	1,100 US \$/t
Ratio de valorización	3.02
Tecnología clave	HDO catalítica

✓ Este caso valida la viabilidad técnica y económica de la ruta lignina → catecol, extrapolable a residuos de uña de gato con ajuste de composición.

Ejemplo de Cálculo — Balance de Masa y Económico

01

Alimentación

1,000 kg/día de residuo de uña de gato (humedad < 10%)

02

Extracción de Lignina

30% de lignina → **300 kg/día** disponibles para reacción HDO

03

Producción de Catecol

Rendimiento 50% → **150 kg/día** de catecol (≡ 0.15 t/día)

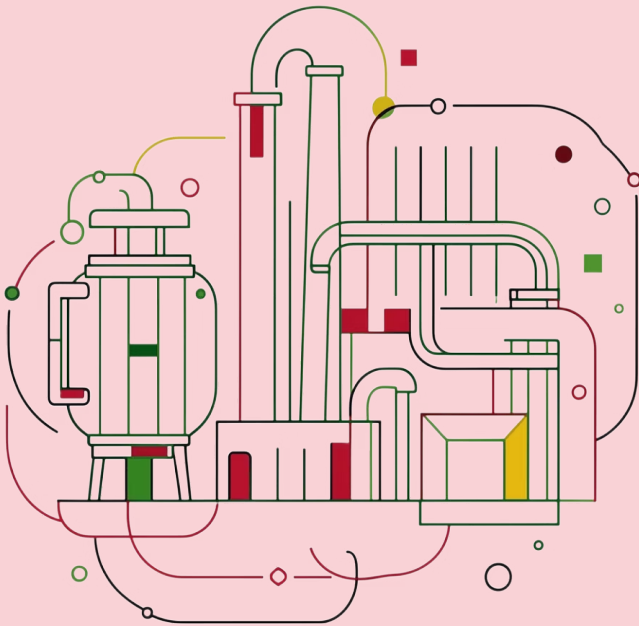
04

Ingreso Bruto Estimado

0.15 t/día × 1,100 US \$/t × 330 días/año = **~54,450 US \$/año**

⚠ A esta escala (~1 t/día feedstock) el proyecto requiere valorización intensiva de subproductos para ser rentable. Se recomienda escalar a ≥ 2,500 kg/día.

Conclusiones y Perspectivas Futuras



Ruta Prometedora

La biorrefinería de uña de gato ofrece una vía sostenible y económicamente viable para producir catecol y múltiples co-productos de valor.

Optimización Crítica

El pretratamiento organosolv y el catalizador HDO son los puntos de mayor impacto en rendimiento y costo; requieren investigación y desarrollo específicos.

Valorización Integral

Maximizar el aprovechamiento de celulosa, hemicelulosa y lignina es esencial para alcanzar un ratio de valorización ≥ 3.0 y justificar la inversión de capital.

Investigación Necesaria

Validar balances de masa y energía con composición real de *Uncaria guianensis* y escalar el proceso a nivel piloto industrial en Perú.

Bibliografía

Mabrouk et al. (2018)

Mabrouk, A., Erdocia, X., González Alriols, M., & Labidi, J. *Economic analysis of a biorefinery process for catechol production from lignin*. Journal of Cleaner Production, 198, 133–142.

Clauser (2019)

Clauser, N. M. *Estudio técnico-económico de la biorrefinería de los residuos de industrialización primaria de la madera y agroindustriales*. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de La Plata.

Cardona Alzate et al. (s.f.)

Cardona Alzate, C. A., et al. *Análisis tecno-económico de una biorrefinería a partir de residuos del plátano*. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Colombia.

Mora Chio (2008)

Mora Chio, M. *Producción in-vitro de Biomasa de Uncaria guianensis Gmel., "Uña de Gato" e Identificación de Alcaloides Oxindólicos por Cromatografía en Capa Fina*. Tesis de Grado, Universidad Ricardo Palma.

Presentación elaborada con fines académicos y profesionales para ingenieros de procesos. Los datos económicos son estimaciones basadas en literatura técnica especializada.