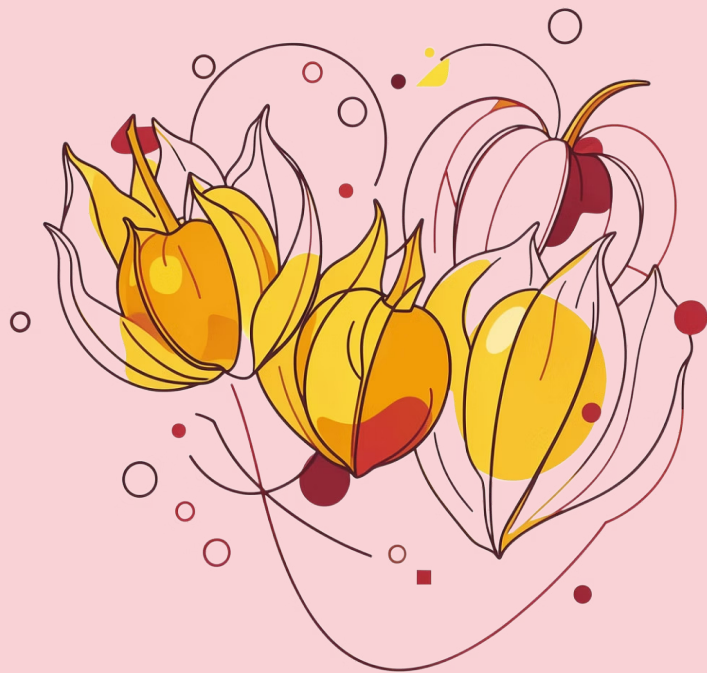




Biorrefinería de Aguaymanto

Valorización Integral y Sostenible de *Physalis peruviana* L. — Una perspectiva para ingenieros de procesos

INGENIERÍA DE PROCESOS

ECONOMÍA CIRCULAR



El Aguaymanto: un Tesoro por Descubrir

Alto Valor Nutricional

Rico en vitamina C, antioxidantes (witanólidos), fibra y provitamina A. Demanda global en crecimiento acelerado.

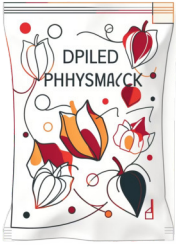
Residuos Agroindustriales

El 40–50% del peso fresco se convierte en cáscara, semillas y efluentes sin valorizar — un reto y una oportunidad.

Visión Biorrefinería

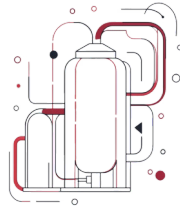
Transformar cada fracción del fruto en productos de alto valor: alimentos, bioenergía, compuestos bioactivos y biofertilizantes.

Productos y Subproductos de la Biorrefinería



Productos Principales

- Fruta fresca y deshidratada (snack)
- Jugos, néctares y mermeladas
- Licores y confitería



Bioenergía

- Biogás por fermentación anaerobia
- Energía térmica para procesos internos



Compuestos Bioactivos

- Antioxidantes y witanólicos
- Aceites de semilla y vitamina C concentrada



Harinas y Biofertilizantes

- Harina para alimentación humana/animal
- Compost y biofertilizantes orgánicos

Diagrama de Flujo del Proceso (Conceptual)



El esquema muestra la integración de múltiples líneas de proceso que comparten la misma materia prima, maximizando la conversión de masa y reduciendo la generación de residuos netos al mínimo posible.

Balance de Masa y Energía

Balance de Masa — Base: 1,000 kg de aguaymanto fresco

Fracción	Cantidad (kg)	% Rendimiento
Fruta deshidratada (snack)	270	27%
Jugo / néctar	250	25%
Residuos sólidos (cáscara, semillas)	420	42%
Efluentes líquidos	60	6%

Ejemplo: 420 kg de residuos sólidos con SV = 75% → potencial biogás ≈ **105–140 m³** (0.25–0.33 m³ CH₄/kg SV; metano ≈ 60%).

Balance de Energía — Deshidratación de 100 kg

Parámetro	Valor
Humedad inicial	78%
Humedad final	8%
Agua a evaporar	≈ 76 kg
Calor latente (λ)	2,257 kJ/kg
Energía teórica mínima	≈ 171,5 MJ
Eficiencia equipo (η = 0.70)	≈ 245 MJ ≈ 68 kWh

✓ El biogás generado in-situ puede cubrir hasta el **35–40%** de la demanda térmica del proceso de secado.

Tecnologías Clave y Procesos Unitarios



Deshidratación por Microondas a Vacío

Mayor retención de vitamina C y color. *Caso de estudio:* Romero Orejon (USIL, 2022) simuló planta con SuperPro Designer — capacidad 500 kg/día, consumo eléctrico 18 kW·h/batch.



Fermentación Anaerobia

Conversión de residuos sólidos en biogás ($\text{CH}_4 \approx 60\%$). *Investigación:* Loarte Ruiz (C3-BIOECONOMY, 2025) reporta rendimiento de $0.28 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SV}$ con tiempo de retención de 25 días.



Extracción de Bioactivos

Extracción asistida por ultrasonido o solventes GRAS (etanol, agua) para antioxidantes, witanólidos y aceite de semilla. Rendimiento: 2–5% en peso seco.



Molienda y Tamizado

Producción de harinas finas (malla 100 mesh) a partir de cáscara y pulpa seca, con aplicación en productos funcionales y alimentación animal.

Análisis Económico: CAPEX y OPEX

CAPEX — Inversión de Capital

Componente	Costo estimado (US\$)
Terreno y construcción (867 m²)	250,000
Deshidratadores (microondas/convección)	80,000 – 120,000
Reactor de fermentación anaerobia	40,000 – 60,000
Línea de extracción de bioactivos	30,000 – 50,000
Molinos, tamices y envasado	25,000 – 40,000
Instalaciones y servicios	20,000 – 30,000
TOTAL CAPEX	445,000 – 550,000

OPEX — Gastos Operativos Anuales

Rubro	Costo anual (US\$)
Materia prima (aguaymanto fresco)	60,000 – 90,000
Mano de obra (8–12 operarios)	45,000 – 70,000
Energía eléctrica y térmica	18,000 – 25,000
Mantenimiento (3–5% CAPEX)	13,000 – 27,000
Consumibles y envases	10,000 – 15,000
TOTAL OPEX	146,000 – 227,000

📌 OPEX ≈ **25–35% del CAPEX** anual, dentro del rango típico para agroindustrias medianas.

Viabilidad y Rentabilidad: Métricas Clave

Estudios de Prefactibilidad Revisados

Estudio	VAN (US\$)	TIR
Snack deshidratado (U. Lima, 2023)	2,400,000	31%
Harina aguaymanto mix (PUCP, 2024)	385,000	52%
Bombones refrigerados (U. Lima, 2022)	180,000 *	28% *
Dulce con mantequilla maní (U. Lima, 2018)	120,000 *	24% *

* Valores estimados en base a datos publicados; tipo de cambio 3.73 S//US\$.

Indicadores Financieros de Referencia

- ☐ **VAN > 0**
Generación de valor real sobre el costo de capital — umbral mínimo para aprobación de proyecto.
- ☐ **TIR 24–52%**
Superior al WACC sectorial (12–15%), lo que confirma la atracción de inversión privada.
- ☐ **Payback 3–5 años**
Período de recuperación competitivo para proyectos agroindustriales de escala mediana.

Impacto Ambiental y Social

Dimensiones de Sostenibilidad



Ambiental

Reduce hasta un 85% de los residuos que irían a vertedero. El biogás generado desplaza combustibles fósiles y el digestato actúa como biofertilizante.

Social

Cada planta mediana genera 8–15 empleos directos y 30–50 empleos indirectos en la cadena de suministro rural.

Económico

El valor agregado por kg de aguaymanto fresco se multiplica hasta 8× al procesar el 100% del fruto y sus residuos.

Bibliografía y Referencias Clave

Loarte Ruiz, C. F. (2025)

Obtención de Biogás a partir de la fermentación de residuos de *Physalis peruviana* L. *C3-BIOECONOMY: Circular and Sustainable Bioeconomy*, (6), 29–48.

Romero Orejon, F. L. (2022)

Diseño de planta deshidratadora de aguaymanto basado en simulación por SuperPro Designer. Tesis Ing. Agroindustrial. *Universidad San Ignacio de Loyola*.

Fernandez Caceres & Quispe Zevallos (2022)

Estudio de prefactibilidad para planta procesadora de bombones de aguaymanto refrigerado. *Universidad de Lima*.

Ballenas Valencia & Diaz Alvarez (2023)

Estudio de prefactibilidad para planta productora de snack de aguaymanto deshidratado. *Universidad de Lima*.

Paredes Peña, K. (2024)

Estudio de prefactibilidad para planta de harina de aguaje, aguaymanto y camu-camu en Lima Metropolitana. *Pontificia Universidad Católica del Perú*.

Conclusiones y Próximos Pasos

1

Oportunidad Estratégica

La biorrefinería de aguaymanto valoriza cada fracción del fruto, maximizando retorno económico y reduciendo impacto ambiental.

2

Factibilidad Demostrada

TIR de 24–52% y VAN positivos en múltiples estudios confirman la viabilidad para inversión privada y pública.

3

Planta Piloto

Se recomienda un estudio de ingeniería básica (FEED) para una planta piloto de 500–1,000 kg/día, optimizando la integración energética.

4

Colaboración I+D

Explorar alianzas con universidades, CONCYTEC y sector privado para escalar tecnologías de extracción y fermentación.

- ✓ **Llamada a la acción:** Iniciar un consorcio multidisciplinario (ingeniería de procesos, agronomía, mercadeo) para el desarrollo de la primera biorrefinería piloto de aguaymanto en Perú.

