



# Biorrefinería de Ají Amarillo

Valorización Integral de un Cultivo Estratégico — Una perspectiva de ingeniería de procesos

INGENIERÍA DE PROCESOS

CAPSICUM BACCATUM



## CONTEXTO

# El Potencial Oculto del Ají Amarillo

El **Capsicum baccatum** es un pilar de la gastronomía peruana, pero su valor trasciende el sector culinario. La biorrefinería permite transformar este cultivo en una fuente de **múltiples productos de alto valor**, minimizando residuos y maximizando retornos económicos.

-  EE.UU. es el principal importador mundial de capsicum en polvo, con demanda creciente de sabores exóticos y picantes. **(Fuente: UPC, Proyecto Agro-exportación)**

# Productos y Subproductos Clave

## **Producto Principal**

Ají amarillo en polvo / deshidratado — alto valor comercial y mercado internacional consolidado.

## **Aceites Esenciales**

Aplicaciones en aromatizantes industriales y cosméticos de especialidad.

## **Pigmentos**

Capsantina y capsorrubina: colorantes para industria alimentaria y farmacéutica.

## **Fibras y Pectinas**

Ingredientes funcionales y espesantes para alimentos procesados.

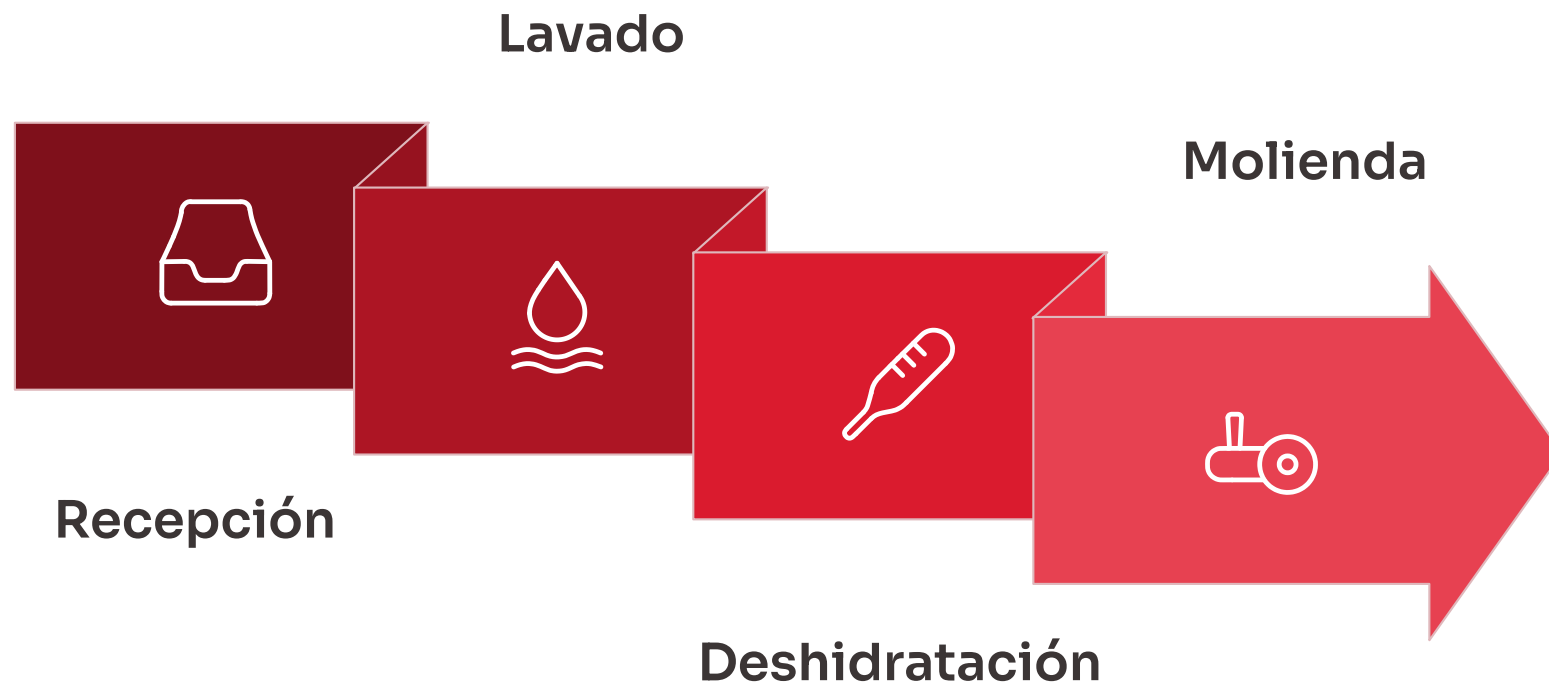
## **Bioenergía**

Biogás y bioetanol generados a partir de residuos orgánicos del proceso.

## **Compost**

Fertilizantes orgánicos para cierre de ciclo y economía circular.

# Flujo del Proceso de Biorrefinería



El proceso integrado permite aprovechar el 100% de la materia prima entrante, desde el fruto fresco hasta los residuos sólidos orgánicos, generando valor en cada etapa del flujo.

# Balances de Masa y Energía

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

| Corriente                           | Cantidad (kg) | Destino            |
|-------------------------------------|---------------|--------------------|
| Ají fresco entrada                  | 1,000         | Proceso            |
| Pérdidas por lavado/selección       | 50            | Descarte           |
| Agua evaporada (secado)             | 800           | Vapor residual     |
| Ají deshidratado                    | 150           | Producto           |
| Residuos sólidos (tallos, semillas) | ~100          | Biogás/Co<br>mpost |

Balance de Energía — Secado Térmico

| Parámetro                              | Valor Estimado          |
|----------------------------------------|-------------------------|
| Calor latente de vaporización del agua | 2,257 kJ/kg             |
| Agua a evaporar                        | 800 kg                  |
| Energía mínima de secado               | ~1,806 MJ               |
| Eficiencia del secador (túnel)         | ~60%                    |
| Energía total requerida                | ~3,010 MJ               |
| Generación biogás (residuos)           | ~80–120 MJ recuperables |

# Balance de Masa: Ají en Polvo — Paso a Paso

## Datos de Entrada

| Parámetro              | Valor    |
|------------------------|----------|
| Masa ají fresco        | 1,000 kg |
| Humedad inicial (b.h.) | 85%      |
| Humedad final (b.h.)   | 10%      |

## Fórmula Aplicada

$m_{\text{seco}} = m_{\text{fresco}} \times (1 - H_i) / (1 - H_f)$

$m_{\text{seco}} = 1,000 \times (1 - 0.85) / (1 - 0.10)$

$m_{\text{seco}} = 1,000 \times 0.15 / 0.90 = \mathbf{166.7\text{ kg}}$

❏ Los residuos (tallos, semillas, ~100 kg) alimentan los digestores anaeróbicos para producción de biogás, cerrando el balance másico.

## Rendimientos del Proceso Extractivo

| Subproducto                      | Rendimiento             |
|----------------------------------|-------------------------|
| Aceite esencial (arrastre vapor) | ~3–5 kg / 150 kg seco   |
| Capsantina/capsorrubina          | ~8–12 kg / 150 kg seco  |
| Fibra dietaria                   | ~20–30 kg / 150 kg seco |
| Pectinas                         | ~5–8 kg / 150 kg seco   |
| Biogás (residuos)                | ~40–60 m³/ton SV        |

✅ Rendimiento global de materia seca útil respecto al fruto fresco: **~15%** para el polvo principal, incrementable al **~28%** considerando todos los subproductos.

# Estimación de CAPEX y OPEX

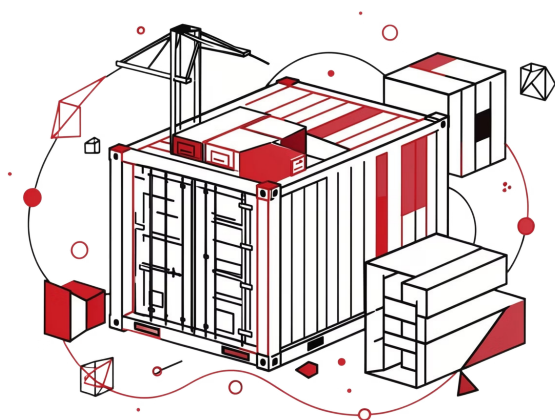
## CAPEX — Planta Pequeña/Mediana

| Ítem                                          | Rango (US \$)            |
|-----------------------------------------------|--------------------------|
| Equipos (secadores, molinos, extractores)     | 150,000 – 500,000        |
| Infraestructura civil y servicios             | 100,000 – 300,000        |
| Gestión de residuos (digestores, composteras) | 50,000 – 150,000         |
| <b>Total CAPEX Estimado</b>                   | <b>300,000 – 950,000</b> |

## OPEX — Costo Operativo Anual

| Ítem                        | Rango (US \$/año)        |
|-----------------------------|--------------------------|
| Materia prima (ají fresco)  | 50,000 – 150,000         |
| Energía (electricidad, gas) | 20,000 – 60,000          |
| Mano de obra                | 40,000 – 100,000         |
| Mantenimiento y consumibles | 15,000 – 40,000          |
| <b>Total OPEX Estimado</b>  | <b>125,000 – 350,000</b> |

 Costo de producción por hectárea: **~US \$ 2,500** (equiv. S/. 9,305), con utilidad neta estimada del **23%**. *(Fuente: Scribd — Costos de Producción)*



## CASO DE ESTUDIO 1

# Exportación de Ají Amarillo en Polvo a EE.UU.

**Proyecto UPC:** Viabilidad de agro-exportación de ají amarillo en polvo al mercado norteamericano.

## Mercado Objetivo

EE.UU., principal importador de capsicum en polvo. Demanda creciente de sabores latinos y picantes.

## Proceso Clave

Deshidratación y molienda con control estricto de humedad (<10%) para cumplir normativas FDA.

## Desafíos Técnicos

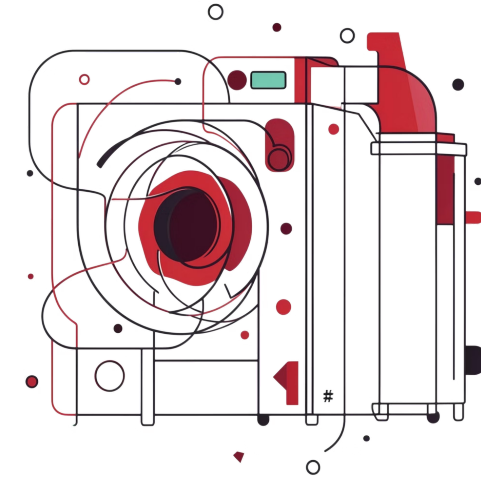
Certificaciones de calidad, logística refrigerada si se exporta fresco, trazabilidad BPA/BPM.

## CASO DE ESTUDIO 2

# Planta Deshidratadora — Asociación Capsicum San José, Colombia

**Prefactibilidad:** Montaje de planta deshidratadora en Cocorná, Antioquia.

Objetivo: reducir pérdidas post-cosecha y generar valor agregado. *(Fuente: UCHILE, Repositorios Latinoamericanos, 2023)*



01

## Estudio de Mercado

Identificación de segmentos nacionales e internacionales con potencial de absorción del producto deshidratado.

02

## Evaluación Técnica

Dimensionamiento de equipos, layout de planta y requerimientos de servicios industriales.

03

## Análisis Financiero

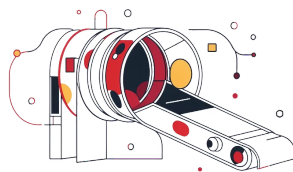
Evaluación de TIR, VAN y período de recuperación bajo escenarios de producción variable.

# Figuras y Comparativa Económica



## Ají Amarillo y sus Derivados

Polvo, aceite esencial y pigmentos naturales extraídos de *Capsicum baccatum*.



## Secador de Túnel Industrial

Operación continua a 60–70 °C; eficiencia energética del 55–65%; capacidad: 500–2,000 kg/h.



## Extracción con CO<sub>2</sub> Supercrítico

Método premium para aceites y pigmentos; pureza >95%; CAPEX adicional de US \$ 80,000–200,000.

| Producto               | Precio Mercado (US \$/kg) | Rendimiento (kg/ton fresco) | Ingreso Potencial (US \$/ton) | OPEX Asignado (US \$/ton) |
|------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Ají en polvo           | 8 – 15                    | 150                         | 1,200 – 2,250                 | 600 – 900                 |
| Aceite esencial        | 200 – 400                 | 3 – 5                       | 600 – 2,000                   | 200 – 400                 |
| Pigmentos (capsantina) | 50 – 120                  | 8 – 12                      | 400 – 1,440                   | 150 – 300                 |
| Biogás (GJ equiv.)     | 5 – 10                    | ~0.08–0.12 GJ               | 80 – 120                      | 20 – 40                   |

# Conclusiones y Próximos Pasos

## Conclusiones Clave

- La biorrefinería del ají amarillo ofrece un modelo **sostenible y rentable**, con múltiples flujos de ingresos.
- La integración de extracción y valorización de subproductos maximiza la eficiencia másica y energética.
- Los pigmentos y aceites esenciales representan el mayor valor agregado por unidad de masa procesada.

## Próximos Pasos de Ingeniería

### → Balance detallado a escala

Simulación en Aspen Plus o SuperPro Designer para la escala de operación objetivo.

### → Estudio de mercado por producto

Pigmentos, aceites y fibras requieren análisis de demanda independiente.

### → Ingeniería conceptual y FEED

Estimación Clase 3 de CAPEX/OPEX y evaluación TIR/VAN del proyecto.



# Bibliografía

## Ávalos Martinot et al. (2016)

*Desarrollo de un Proyecto de Agro-exportación de Ají Amarillo en Polvo a los Estados Unidos de Norteamérica.*

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

## Repositorios Latinoamericanos UCHILE (2023)

*Estudio de prefactibilidad para el montaje de una planta deshidratadora de ají en la Asociación Capsicum San José, Cocorná, Antioquia.*

## Universidad de Lima (2022)

*Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de crema de ají (Capsicum frutescens) de cocona (Solanum sessiliflorum).* Repositorio Institucional.

## CONCYTEC / Universidad de Lima (2015–2016)

*Estudios de prefactibilidad para plantas productoras de salsa picante con ají charapita y ají Misqui-Uchu.*  
Repositorio Ulima.

## Scribd (s.f.)

*Costos de Producción de Ají Amarillo.* Costo estimado por hectárea: S/. 9,305 (~US \$ 2,500); utilidad neta ~23%.