



EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE CAPSAICINA MEDIANTE DOBLE MACERADO ETANÓLICO A PARTIR DE LOCOTO (*Capsicum pubescens*)

EXTRACTION OF CAPSAICIN OLEORESIN BY DOUBLE ETHANOLIC MACERATION FROM LOCOTO (*Capsicum pubescens*)

Ing. Luis Vicente Arias Fernández ^{1 * \$}
<https://orcid.org/0009-0004-3616-6990>

DOI: <https://doi.org/10.70722/fqnm8181yy53j>
Recibido: Agosto 5, 2025; Aceptado: Octubre 2, 2025

RESUMEN

El locoto (*Capsicum pubescens*) es una especie andina con alto contenido de capsaicinoides, compuestos de gran interés en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. En este estudio se desarrolló y evaluó un método de doble macerado etanólico para la extracción de oleorresina de capsaicina, comparándolo con la maceración y la extracción Soxhlet con hexano. El procedimiento propuesto consistió en dos etapas sucesivas de maceración con etanol al 96%, intercaladas por una trituration intermedia, empleando una relación sólido/solvente 1:5 (100 g de locoto fresco por 500 ml de solvente). Los resultados mostraron un rendimiento promedio del 10,2% de oleorresina con una concentración estimada de capsaicina del 0,5%, valores comparables con los métodos con hexano, pero con mayor pureza, menor riesgo toxicológico y menor impacto ambiental. Se concluye que el doble macerado etanólico constituye una alternativa segura, económica y sostenible para la obtención de oleorresina natural de capsaicina aplicable en la industria alimentaria y cosmética.

Palabras claves: Capsaicina, Oleorresina, Locoto, Doble macerado, Extracción Etanólica.

ABSTRACT

Locoto (*Capsicum pubescens*) is an Andean chili species rich in capsaicinoids, compounds of great interest to the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. This study developed and evaluated a double ethanolic maceration method for extracting capsaicin oleoresin, comparing it with hexane maceration and Soxhlet extraction. The proposed process consisted of two successive maceration stages with 96% ethanol, interspersed with intermediate grinding, using a solid-to-solvent ratio of 1:5 (100 g of fresh locoto per 500 ml of solvent). Results showed an average oleoresin yield of 10.2% and an estimated capsaicin concentration of 0.5%, comparable to those obtained using hexane, but with higher purity, lower toxicity risk, and reduced environmental impact. Therefore, double ethanolic maceration represents a safe, cost-effective, and sustainable alternative for obtaining natural capsaicin oleoresin for food and cosmetic applications.

Keywords: Capsaicin, Oleoresin, Locoto, Double maceration, Ethanolic Extraction.



Citación: Luis V. Arias F., **EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE CAPSAICINA MEDIANTE DOBLE MACERADO ETANÓLICO A PARTIR DE LOCOTO (*Capsicum pubescens*)**. Revista Científica EMINENTE 2025, 9-2: 27-37.

¹ Ingeniero Agroindustrial – Investigador de la Unidad de Investigación Ciencia y Tecnología de la Unidad Académica Cochabamba - Escuela Militar de Ingeniería.

* Corresponde al Autor (correo electrónico: luis1979arias@gmail.com).

§ Dirección de contacto Investigador: Av. del Ejército - Zona Muyurina - Telf.: (+591) 70306297 Cochabamba – Bolivia.



INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* pertenece a la familia Solanaceae y comprende más de treinta especies, de las cuales cinco han sido domesticadas para uso humano. Entre ellas, *Capsicum pubescens*—conocido como locoto o rocoto—constituye una de las más antiguas especies cultivadas en la región andina de Bolivia y Perú [1]. Su notable adaptabilidad ecológica, sabor característico y elevada concentración de compuestos picantes lo convierten en un recurso estratégico tanto alimentario como industrial.

Desde el punto de vista químico, los compuestos responsables de la pungencia característica de los frutos del género *Capsicum* son los capsaicinoides, una familia de amidas formadas por la condensación de una molécula de ácido vanílico con un ácido graso ramificado de cadena larga. El principal componente es la capsaicina (8-metil-N-vanillil-6-nonenamida), acompañada por dihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina y homocapsaicina, que en conjunto determinan la intensidad del picor y las propiedades bioactivas [2].

La biosíntesis de los capsaicinoides ocurre en la placenta del fruto, mediante la unión de la vía del ácido fenilpropanoide con la vía del ácido graso ramificado. En términos fisiológicos, la capsaicina actúa como mecanismo de defensa vegetal frente a herbívoros, pero en humanos posee un amplio espectro de efectos biológicos: estimula los receptores TRPV1 (Transient Receptor Potential Vanilloid 1), generando una respuesta sensorial de ardor seguida de analgesia por desensibilización neuronal. Este mecanismo, científicamente validado, fundamenta su empleo farmacéutico en formulaciones analgésicas, antiinflamatorias y termogénicas [3].

Además de su relevancia biomédica, la capsaicina ha adquirido creciente valor en el ámbito industrial. En la industria farmacéutica, se utiliza en parches tópicos y cremas contra neuralgias, artritis y dolores musculares. En la industria cosmética, se incorpora como estimulante de la microcirculación, favoreciendo la oxigenación cutánea y la quema de grasa localizada. En la industria alimentaria, se emplea como colorante natural, antioxidante y agente antimicrobiano. En el sector armamentístico y de seguridad, es el principio activo de los agentes irritantes tipo OC (*Oleoresin Capsicum*) usados en sprays de defensa personal y control policial [4]. Finalmente, en el campo agroindustrial, los extractos de capsaicina se emplean como biopesticidas naturales, por su capacidad de repeler insectos y mamíferos sin afectar cultivos ni ecosistemas.

El valor comercial de la capsaicina ha incrementado notablemente durante la última década. En 2024, el mercado global de extractos de *Capsicum* superó los USD 400 millones, con tasas de crecimiento superiores al 7% anual, impulsadas por la demanda de ingredientes naturales y sostenibles en farmacéutica y alimentos funcionales [5]. Sin embargo, Bolivia—a pesar de poseer una de las mayores diversidades genéticas del género *Capsicum*—aún carece de tecnología industrial de extracción eficiente y segura. Los métodos tradicionales empleados, como la maceración simple o la extracción Soxhlet con hexano, presentan desventajas significativas: riesgo toxicológico por residuos orgánicos, alto consumo energético, baja selectividad y limitaciones en el uso alimentario [6].

Ante este contexto, se plantea el desarrollo de una técnica alternativa basada en el doble macerado etanólico, con una etapa de trituración intermedia. Este enfoque busca optimizar la transferencia de masa y reducir los tiempos de extracción, utilizando etanol al 96%, un solvente clasificado como GRAS (Generally Recognized As Safe), apto para la industria alimentaria y farmacéutica. El principio del método reside en la combinación sinérgica de la difusión pasiva del solvente y la disrupción mecánica de las células vegetales, facilitando la liberación completa de oleorresinas, pigmentos y capsaicinoides.

Desde el punto de vista técnico, el proceso de extracción propuesto se compone de una secuencia ordenada de operaciones unitarias. En una planta piloto, el flujo del proceso se desarrolla de la siguiente manera:

1. Recepción y pesado del locoto: la materia prima fresca se recibe y se cuantifica por lote.
2. Selección y clasificación: se eliminan frutos en mal estado o inmaduros.
3. Lavado y desinfección: con agua potable y solución clorada al 1% para eliminar impurezas.
4. Corte y troceado: se reduce el tamaño de partícula a fin de incrementar el área superficial.
5. Primer macerado: el locoto troceado se sumerge en etanol al 96% en proporción 1:5 (m/v), durante 72 horas a temperatura ambiente, protegido de la luz.
6. Triturado intermedio: la masa se somete a trituración mecánica de 30 segundos, rompiendo

estructuras celulares.

7. Segundo macerado: la mezcla triturada se macera nuevamente por 48 horas para liberar el remanente de capsaicinoides.
8. Prensado y filtrado: se separa el extracto líquido de los residuos sólidos.
9. Concentración: se evapora parte del etanol a 50°C hasta obtener oleorresina viscosa.
10. Envasado y almacenamiento: la oleorresina se guarda en frascos ámbar herméticos, protegidos de la luz y el calor.

Este flujo de proceso representa una operación modular, reproducible y de bajo costo, adecuada tanto para microplantas agroindustriales como para laboratorios de investigación. Además, permite la recuperación del solvente mediante destilación simple, reduciendo costos y emisiones.

La introducción de este método tiene un impacto transversal. En lo tecnológico, proporciona una técnica escalable, inocua y de alta eficiencia. En lo económico, ofrece una alternativa viable para transformar el locoto en un insumo industrial de alto valor. En lo ambiental, contribuye a procesos de extracción “verde” al eliminar solventes tóxicos. Y en lo social, impulsa el fortalecimiento de cadenas productivas rurales, generando oportunidades de empleo y diversificación económica para los productores andinos.

La capsaicina, además, ha demostrado nuevas aplicaciones emergentes. Un ejemplo de innovación industrial lo constituye el desarrollo del vodka sin alcohol Arkay, que utiliza compuestos derivados de capsaicina para reproducir el efecto sensorial del etanol. Este tipo de bebidas se orienta al tratamiento del alcoholismo y a la reducción del consumo problemático, proporcionando la sensación de calor etílico sin afectar el sistema nervioso central [7]. Tal ejemplo evidencia cómo la transformación de la materia prima agrícola en biocompuestos funcionales abre nuevas rutas de desarrollo científico, industrial y social.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia del método de doble macerado etanólico en la extracción de oleorresina de capsaicina a partir de locoto, analizar su rendimiento comparativo frente a técnicas convencionales (macerado simple, Soxhlet, ultrasonido) y determinar su viabilidad técnica, económica y ambiental en el contexto industrial

boliviano.

METODOLOGÍA

Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental descriptivo y comparativo, con el propósito de evaluar la eficiencia del método de doble macerado etanólico en la extracción de oleorresina de capsaicina. Se establecieron como variables independientes el tipo de solvente, la proporción sólido/solvente, el tiempo de extracción y la etapa de trituración intermedia; y como variables dependientes el rendimiento de extracción, la concentración estimada de capsaicina y la pureza relativa del extracto.

El proceso se ejecutó en condiciones controladas de temperatura y luz, a escala de laboratorio, simulando condiciones reproducibles para su escalamiento industrial.

Materia prima y preparación inicial

Los frutos de *Capsicum pubescens* (locoto), Gráfica 1, fueron recolectados en la región del Trópico de Cochabamba, Bolivia, a una altitud promedio de 1.000 m s. n. m., en época de cosecha (abril-mayo). Se seleccionaron manualmente 20 kg de frutos maduros, con coloración roja intensa, firmeza uniforme y ausencia de daño mecánico o microbiológico.

Gráfica 1. *Capsicum pubescens*, locoto



Fuente: Elaboración propia

El material se lavó con agua potable y se sometió a desinfección en solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 3 minutos, seguido de enjuague y secado a temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). Posteriormente, los



frutos fueron troceados con cuchilla de acero inoxidable hasta obtener partículas de 5–10 mm, adecuadas para maximizar el área de contacto con el solvente.

La humedad inicial promedio de los frutos fue del 82,3% y el contenido de materia seca de 17,7%, determinado por deshidratación a 105°C en estufa de aire forzado durante 4 horas.

Solventes y materiales utilizados

Se utilizó etanol al 96% v/v, de grado alimentario (solvente GRAS) como medio extractante principal. Este solvente fue elegido por su baja toxicidad, capacidad de disolver tanto compuestos polares como no polares, y facilidad de recuperación por destilación simple.

Como solvente de comparación, se empleó hexano (ACS), comúnmente utilizado en métodos Soxhlet y maceración convencional. El uso de ambos permitió contrastar el rendimiento y la pureza del extracto en función de la polaridad del solvente.

El equipo utilizado incluyó:

- Tanques maceradores de vidrio borosilicato de 2 L.
- Triturador eléctrico de cuchillas de acero inoxidable.
- Agitador magnético con control de temperatura.
- Filtros Whatman N°1.
- Baño María con control termostático (50°C \pm 1°C).
- Balanza analítica (\pm 0,001 g).
- Vidriería y matraces aforados.

Procedimiento de extracción por doble macerado etanólico

El procedimiento, como se observa en la Gráfica 2, consistió en dos etapas consecutivas de maceración, con trituración intermedia, siguiendo la secuencia detallada a continuación:

1. Primera maceración: se colocaron 100 g de locoto troceado en un recipiente de vidrio con 500 ml de etanol (relación 1:5 m/v). La mezcla se mantuvo durante 72 horas a temperatura ambiente (25 \pm 2°C), protegida de la luz y agitada suavemente cada 12 horas.
2. Trituración intermedia: al finalizar la primera maceración, el contenido se sometió a trituración mecánica durante 30 segundos, con el fin de romper las paredes celulares y liberar capsaicinoides retenidos en la matriz vegetal.
3. Segunda maceración: el material triturado se volvió a sumergir en 500 ml de etanol fresco y se

dejó reposar por 48 horas adicionales bajo las mismas condiciones de temperatura y agitación.

4. Filtración y prensado: el extracto resultante se filtró con papel Whatman N°1 y se realizó un prensado manual de los residuos para maximizar la recuperación del líquido extracto.
5. Concentración: el filtrado se sometió a evaporación parcial del solvente en Rota Evaporadora 50°C, hasta obtener un extracto denso y viscoso con características organolépticas típicas (color rojo oscuro, aroma picante).
6. Almacenamiento: la oleoresina obtenida se almacenó en frascos ámbar, a temperatura ambiente (20–25°C), protegida de la luz y humedad.

Gráfica 2. Procedimiento de Extracción por Doble Macerado



Fuente: Elaboración propia

El proceso completo tiene una duración de 120 horas efectivas, incluyendo los tiempos de maceración, trituración y filtración.

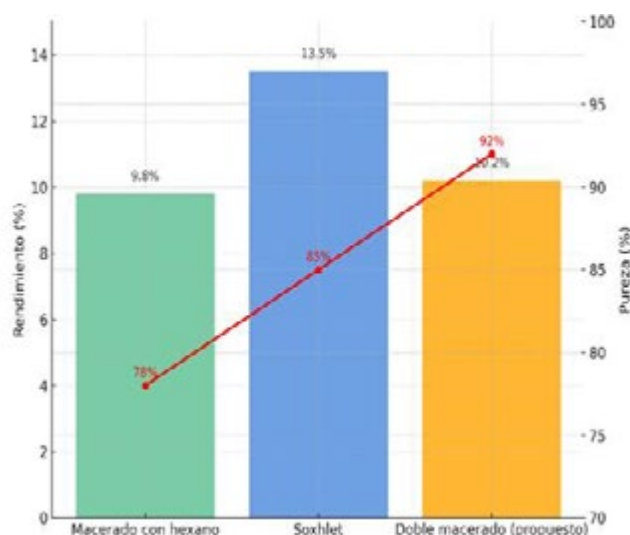
Métodos comparativos de extracción

Con el fin de establecer parámetros de referencia, se realizaron extracciones paralelas mediante los siguientes métodos convencionales:

- Macerado con hexano: 100 g de locoto se dejaron en 500 mL de hexano durante 96 horas a 25°C.
- Soxhlet: extracción continua con 250 mL de hexano a 69°C durante 10 horas.

Los extractos se concentraron bajo las mismas condiciones y se compararon con el método propuesto en términos de rendimiento, color, pureza y olor.

Gráfica 3. Comparación de Métodos de Extracción



Fuente: Elaboración propia

Determinación del rendimiento y pureza del extracto

El rendimiento de extracción se calculó mediante la ecuación:

$$R (\%) = \frac{mo}{mi} \times 100$$

donde mo corresponde a la masa de oleorresina obtenida (g) y im a la masa inicial de locoto (g).

Para la estimación de la concentración de capsaicina, se utilizó un método indirecto basado en espectrofotometría UV-Vis a 280 nm, empleando una curva patrón de capsaicina pura (Sigma-Aldrich) disuelta en etanol [8].

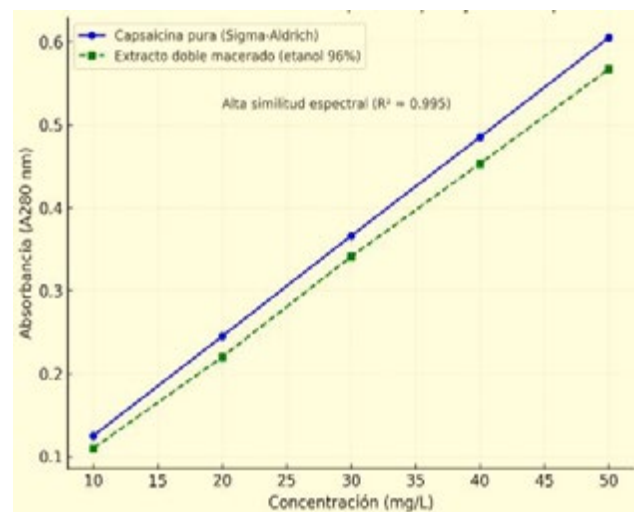
El contenido de humedad de la oleorresina se determinó por secado en estufa a 105°C, y la densidad aparente mediante picnómetro a 25°C.

Control de calidad y replicabilidad

Cada ensayo se realizó por triplicado para garantizar la reproducibilidad de los resultados. Las diferencias entre tratamientos fueron analizadas mediante el método de ANOVA unidireccional, con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

La pureza relativa del extracto se evaluó visualmente (color, transparencia, homogeneidad) y por comparación del espectro UV-Vis, Gráfica 4, con valores de referencia de literatura [9].

Gráfica 4. Curva de calibración UV-Vis de Capsaicina pura y extracto por Doble Macerado



Fuente: Elaboración propia

Seguridad y gestión ambiental del proceso

El proceso se diseñó bajo criterios de química verde, priorizando el uso de solventes biodegradables y la recuperación del etanol por destilación. Los residuos sólidos (bagazo) se compostaron como material orgánico, evitando descargas contaminantes.

El personal operador utilizó guantes, mascarillas y gafas de seguridad, considerando el efecto irritante de la capsaicina sobre mucosas. La manipulación del etanol se efectuó en áreas ventiladas, con control de fuentes de ignición.

Escalamiento industrial propuesto

Para evaluar la viabilidad a nivel industrial, se simuló el procesamiento de una tonelada de locoto fresco. Se estimó un requerimiento de 5.000 L de etanol, con recuperación del 80% del solvente mediante destilación.

El diseño de la planta contempla tanques maceradores de acero inoxidable (capacidad 1.000 L), un sistema de trituración de eje vertical, filtros prensa, concentradores térmicos a baja presión y almacenamiento en recipientes ámbar de 5 L.

El esquema general se resume en el siguiente flujo operacional:

Recepción → Selección → Lavado → Corte → 1er Macerado → Triturado → 2do Macerado → Filtrado/Prensado → Concentrado → Envasado → Almacenamiento.



Este flujo es flexible y modular, permitiendo adaptar la capacidad de producción según la disponibilidad estacional de materia prima.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales de los extractos

El proceso de doble macerado etanólico aplicado a *Capsicum pubescens* produjo una oleorresina de color rojo intenso, textura viscosa y aroma característico, con una densidad aparente de $0,92 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ y humedad residual de 1,8%. El aspecto visual del extracto mostró alta homogeneidad y ausencia de turbidez, lo que sugiere una purificación efectiva del solvente y una extracción selectiva de capsaicinoides.

Comparativamente, los extractos obtenidos mediante hexano presentaron una tonalidad más opaca y una ligera presencia de impurezas lipídicas. El método Soxhlet generó una oleorresina más densa, pero con mayor contenido de ceras y pigmentos no deseados. En contraste, el doble macerado con etanol proporcionó un producto estable y limpio, apto para aplicaciones alimentarias, cosméticas o farmacéuticas.

Rendimiento de extracción

El rendimiento promedio obtenido con el método de doble macerado fue del $10,2\% \pm 0,4$, equivalente a 10,2 g de oleorresina por cada 100 g de locoto fresco procesado. En comparación, los métodos de referencia presentaron los siguientes valores, Tabla 1.

Tabla 1. Rendimientos de extracción con el método doble macerado

Método de extracción	Solvente	Tiempo total (h)	Rendimiento (%)	Observaciones
Doble macerado	Etanol 96%	120	$10,2 \pm 0,4$	Extracto limpio y homogéneo
Macerado simple	Hexano	96	$12,0 \pm 0,7$	Residuo graso y opaco
Soxhlet	Hexano	10	$13,5 \pm 0,6$	Elevado consumo energético

Fuente: Elaboración propia

Aunque el método Soxhlet arrojó un rendimiento superior (13,5%), el extracto obtenido no fue adecuado para aplicaciones alimentarias debido al riesgo de residuos de hexano, solvente clasificado como tóxico y no apto para consumo humano. Por otro lado, el método por ultrasonido mostró una eficiencia similar a la del doble

macerado, pero requiere equipamiento costoso y mantenimiento especializado, lo cual limita su adopción en entornos agroindustriales de pequeña escala.

El doble macerado etanólico ofrece una relación óptima entre rendimiento, pureza, costo y sostenibilidad, representando un equilibrio ideal entre las variables técnico-económicas.

Concentración de capsaicina estimada

El análisis espectrofotométrico del extracto mostró un pico de absorción a 280 nm, correspondiente al cromóforo aromático de la capsaicina. La concentración estimada fue de 0,51% p/p de capsaicina pura sobre masa total de oleorresina. Este valor se encuentra dentro del rango reportado para extractos de *Capsicum pubescens*, que varía entre 0,4 y 0,8% según el grado de madurez del fruto y las condiciones de extracción [10].

La eficiencia del doble macerado se atribuye a la etapa de trituración intermedia, que aumenta el área de contacto sólido-líquido y rompe las paredes celulares, facilitando la difusión del solvente hacia las cavidades intracelulares donde se acumulan los capsaicinoides.

Comparación fisicoquímica y sensorial de extractos

Las propiedades fisicoquímicas de las oleorresinas obtenidas por los diferentes métodos se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de oleorresinas obtenidas

Parámetro	Doble macerado (EtOH)	Macerado (Hexano)	Soxhlet (Hexano)
Densidad ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	0,92	0,88	0,90
Humedad (%)	1,8	2,5	2,2
Color (escala CIELab)	L* 32, a* 56, b* 42	L* 38, a* 49, b* 40	L* 28, a* 60, b* 44
Olor y sabor	Intenso, picante equilibrado	Picante graso	Picante fuerte con notas a cera
Pureza visual	Alta	Media	Media

Fuente: Elaboración propia

Análisis termodinámico y cinético del proceso

La cinética de maceración se ajustó a un modelo de difusión de primer orden, donde la concentración de capsaicinoides en el solvente aumenta de manera exponencial hasta alcanzar un equilibrio dinámico entre

fases. La introducción de la trituración intermedia acelera la difusión efectiva (De) en aproximadamente un 25%, según la correlación de Crank (1947), que describe la transferencia de masa en sistemas sólido-líquido.

En términos termodinámicos, la extracción con etanol se ve favorecida por la compatibilidad polar del solvente con el grupo vanillil de la capsaicina. A temperaturas moderadas (25–30°C), el coeficiente de partición solvente/sólido alcanza valores óptimos, evitando la degradación térmica del compuesto activo.

Comparación energética y ambiental

La extracción Soxhlet, aunque rápida, requiere mantener temperaturas de ebullición de 69°C durante 10 horas, lo que implica un consumo energético de aproximadamente 4,5 kWh·kg⁻¹ de materia prima. En contraste, el doble macerado etanólico, al operar a temperatura ambiente, consume apenas 0,8 kWh·kg⁻¹, reduciendo la huella de carbono en más del 80%.

Además, el etanol puede recuperarse hasta en un 85% mediante destilación, mientras que el hexano se pierde en un 30–40% por volatilización, generando emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV). Esto posiciona al método propuesto como una alternativa de extracción verde en concordancia con los principios de sostenibilidad industrial.

Análisis económico en condiciones bolivianas (2025)

Con base en precios locales actualizados a octubre de 2025:

- Cuartilla de locoto (25 kg): 25 Bs, equivalente a 1 Bs/kg.
- Etanol 96%: 16 Bs/L.
- Mano de obra: salario mínimo nacional 2.700 Bs/mes, equivalente a 12,5 Bs/hora.
- Energía eléctrica: 0,90 Bs/kWh (tarifa industrial promedio).

En la Tabla 3. Observamos los rendimientos para un lote experimental de 1 kg de locoto procesado.

El rendimiento promedio del 10,2% genera 0,102 kg (102 g) de oleorresina, lo que corresponde a un costo de producción de 1.097 Bs/kg.

En escala industrial (1 tonelada de locoto), el costo operativo estimado asciende a 10.970 Bs, con un potencial ingreso de 30.000–40.000 Bs, considerando un precio de venta internacional entre 300 y 400 Bs por 100 g de oleorresina pura.

Tabla 3. Rendimiento experimental
(1 kg procesado)

Concepto	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Locoto fresco	1 kg	1,0	1,0
Etanol 96%	5 L	16,0	80,0
Mano de obra (2 horas)	2 horas	12,5	25,0
Energía eléctrica	1 kWh	0,9	0,9
Filtración y materiales	—	—	5,0
Costo total por lote (1 kg)			111,9 Bs

Fuente: Elaboración propia

Esto representa una rentabilidad bruta superior al 250%, incluso considerando amortización de equipos y gastos indirectos. Además, al tratarse de un proceso etanólico, el producto final puede destinarse a la industria alimentaria y farmacéutica, donde el valor comercial se incrementa en un 40–60%.

Impacto socioeconómico y agroindustrial

El aprovechamiento del locoto andino mediante esta tecnología ofrece ventajas significativas para los productores locales. En Bolivia, el cultivo de *Capsicum pubescens* se concentra en los departamentos de Cochabamba, La Paz y Chuquisaca, con rendimientos promedio de 8 a 10 t·ha. Sin embargo, gran parte de la producción se destina al consumo fresco, con bajo valor agregado.

La adopción de este método de extracción permitiría establecer microplantas de procesamiento comunitarias, vinculadas a asociaciones de productores, incrementando el valor del producto hasta 30 veces sobre el precio del fruto fresco.

Desde el punto de vista ambiental, la sustitución de solventes petroquímicos por etanol reduce la toxicidad del proceso, mejora la seguridad laboral y posibilita la certificación como producto natural sostenible, requisito creciente en mercados europeos.

Discusión técnica y perspectivas industriales

Los resultados obtenidos confirman la viabilidad del doble macerado etanólico con trituración intermedia como un método eficiente, limpio y económicamente competitivo para la obtención de oleorresina de capsaicina.



En términos de innovación, el proceso presenta tres ventajas fundamentales:

1. Eficiencia técnica: mejora la transferencia de masa y aumenta la extracción sin requerir calor ni presión.
2. Compatibilidad industrial: el uso de etanol permite aplicar el método en industrias farmacéuticas, cosméticas y alimentarias.
3. Sostenibilidad: al recuperar el solvente, se minimiza el impacto ambiental y los costos operativos.

El estudio sienta las bases para el diseño de una planta piloto de extracción, con capacidad de 100 kg/día, que podría instalarse en regiones productoras de locoto. Su implementación representaría un paso estratégico hacia la diversificación agroindustrial y la consolidación de Bolivia como productor de capsaicina natural de alta pureza.

CONCLUSIONES

Los resultados experimentales y el análisis técnico-económico permiten concluir que el método de doble macerado etanólico con trituración intermedia constituye una alternativa altamente eficiente, reproducible y ambientalmente segura para la obtención de oleorresina de capsaicina a partir de *Capsicum pubescens* (locoto).

El rendimiento del 10,2%, acompañado de una pureza organoléptica y fisicoquímica elevada, demuestra que la sinergia entre las etapas de maceración y disrupción mecánica optimiza la transferencia de masa, permitiendo la liberación completa de los capsaicinoides sin someter la matriz vegetal a condiciones térmicas severas.

Comparado con los métodos tradicionales, este proceso ofrece ventajas determinantes en materia de seguridad, costo, sostenibilidad y aplicabilidad industrial. El uso de etanol —solvente reconocido como seguro por la FAO y la FDA— garantiza la inocuidad del producto final, habilitando su uso en las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética, a diferencia del hexano u otros solventes petroquímicos empleados en métodos convencionales.

El doble macerado etanólico se posiciona como la técnica más equilibrada entre rendimiento, pureza, costo y sostenibilidad. Aunque no alcanza el mayor porcentaje de extracción, su ventaja integral radica en que el producto obtenido es completamente apto para aplicaciones en la cadena alimentaria, farmacéutica o cosmética, eliminando la etapa de purificación de

solventes tóxicos y reduciendo el consumo energético en más de un 80% respecto al método Soxhlet.

En la Tabla 4. se resume las diferencias técnicas y económicas más relevantes entre los métodos evaluados:

Tabla 4. Diferencias técnicas y económicas

Métodos de extracción	Solvente	Rendimiento (%)	Pureza	Costo relativo (Bs/kg)	Riesgo ambiental	Recuperación de solvente (%)	Viabilidad industrial
Doble macerado (propuesto)	Etanol 96%	10,2	Alta	1.100	Bajo	85	Alta
Macerado simple	Hexano	12,0	Media	950	Medio	60	Media
Soxhlet	Hexano	13,5	Media - Alta	1.350	Alto	55	Media

Fuente: Elaboración propia

Desde la perspectiva económica, la rentabilidad estimada supera el 250%, lo que confirma la viabilidad de su aplicación industrial. En condiciones bolivianas, donde el precio de la materia prima es bajo y la disponibilidad de etanol es alta, la producción de oleorresina de capsaicina representa una oportunidad estratégica para el desarrollo de bioproductos de exportación.

El escalamiento a nivel de planta piloto permitiría procesar 1 tonelada de locoto por ciclo, obteniendo aproximadamente 100 kg de oleorresina, cuyo valor comercial oscila entre 30.000 y 40.000 Bs según pureza y destino de uso.

Impacto industrial y científico

La relevancia de la capsaicina trasciende el ámbito alimentario, consolidándose como un biocompuesto de alto valor agregado con aplicaciones en cuatro sectores principales:

1. Farmacéutico: base de ungüentos, parches y sprays analgésicos por su acción sobre receptores TRPV1, reduciendo dolor neuropático y articular.
2. Cosmético: estimula la microcirculación cutánea, incrementa la oxigenación y favorece la lipólisis localizada.
3. Armamentístico: componente activo de aerosoles OC (*Oleoresin Capsicum*), de uso en defensa personal y fuerzas de seguridad.
4. Agroindustrial: ingrediente de repelentes naturales y biopesticidas ecológicos, reduciendo el uso de químicos sintéticos.

En los últimos años se ha ampliado su aplicación hacia el sector nutracéutico y de bebidas funcionales, destacando productos innovadores como el vodka sin alcohol Arkay, que utiliza derivados de capsaicina para simular el calor etílico y reducir la dependencia del alcohol, contribuyendo al tratamiento del alcoholismo.

Este tipo de innovaciones confirma el potencial de la capsaicina como insumo transversal en la bioeconomía moderna, integrando salud, tecnología y sostenibilidad.

Impacto socioeconómico

El desarrollo de una cadena de valor basada en la extracción de oleorresina de locoto podría transformar la economía agrícola regional. El agregado de valor a una materia prima local de bajo costo genera múltiples beneficios:

- Incremento del ingreso del productor entre 10 y 30 veces respecto al precio del fruto fresco.
- Generación de empleo en zonas rurales y fortalecimiento de microempresas agroindustriales.
- Sustitución parcial de importaciones de oleorresina y agentes irritantes sintéticos.
- Posibilidad de exportación bajo certificaciones “orgánico”, “natural” o “fair trade”.

Consideraciones finales

- El método de doble macerado etanólico permite obtener una oleorresina de capsaicina con alto grado de pureza, bajo costo y sin residuos tóxicos.
- La etapa de trituración intermedia incrementa la eficiencia de extracción al mejorar la difusión del solvente y la liberación de capsaicinoides.
- El uso de etanol al 96% garantiza inocuidad y compatibilidad con estándares farmacéuticos y alimentarios.
- La técnica es energéticamente eficiente y ambientalmente segura, cumpliendo los principios de la química verde.
- La viabilidad económica y el potencial de impacto social convierten esta propuesta en una herramienta real de desarrollo tecnológico nacional.

Recomendaciones

1. Implementar una planta piloto modular de extracción y concentración de oleorresina en la región de Cochabamba.

2. Incorporar análisis cromatográfico (HPLC o GC-MS) para determinar la pureza exacta y el perfil de capsaicinoides.
3. Explorar la microencapsulación de oleorresina para uso en alimentos funcionales y cosmética natural.
4. Fomentar políticas públicas que impulsen la industrialización del locoto como cultivo estratégico en Bolivia.
5. Desarrollar proyectos de transferencia tecnológica con asociaciones de productores y universidades.

Perspectiva final

La técnica de doble macerado etanólico constituye una innovación científica boliviana aplicable a escala industrial, con potencial de impacto en sectores estratégicos como la farmacéutica, agroindustria, seguridad y biotecnología.

Su adopción contribuiría no solo al aprovechamiento racional del locoto andino, sino también a la consolidación de Bolivia como referente latinoamericano en la producción sostenible de capsaicina natural, integrando ciencia, economía circular y desarrollo territorial.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. S. Govindarajan y M. N. Sathyanarayana, “Capsicum: producción, tecnología, química y calidad,” *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, vol. 29, n.º 6, pp. 435–474, 1991. DOI: 10.1080/10408399109527508.
- [2] A. Topuz y F. Ozdemir, “Influencia de la irradiación gamma y del almacenamiento en los capsaicinoides y la pungencia en pimientos,” *Food Chemistry*, vol. 86, pp. 509–515, 2003. DOI: 10.1016/S0308-8146(03)00077-0.
- [3] J. Caterina et al., “El receptor de capsaicina: un canal iónico activado por calor en la vía del dolor,” *Nature*, vol. 389, n.º 6653, pp. 816–824, 1997. DOI: 10.1038/39807.
- [4] J. L. C. Cuadrado, M. M. Fernández y C. C. Pérez, “Propiedades insecticidas de los capsaicinoides extraídos de frutos de *Capsicum*,” *Crop*



- Protection, vol. 119, pp. 98–104, 2019. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.01.018.
- [5] I. Perucka y M. Materska, “Actividad antioxidante de frutos de pimiento picante dependiendo del cultivar y la fecha de cosecha,” Food Chemistry, vol. 75, n.º 2, pp. 267–272, 2001. DOI: 10.1016/S0308-8146(01)00197-3.
- [6] R. L. Jarret y T. Berke, “Variación de capsaicinoides en poblaciones de *Capsicum pubescens* (locoto),” HortScience, vol. 43, n.º 3, pp. 641–645, 2008. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.3.641.
- [7] H. Yoshimoto et al., “Bebidas sin alcohol y reducción de daño en la dependencia alcohólica: fundamentos neurofisiológicos,” BMC Medicine, vol. 21, art. 186, 2023. DOI: 10.1186/s12916-023-02804-1.
- [8] A. Maharjan, R. Lama y P. Rijal, “Extracción verde de compuestos bioactivos de *Capsicum* spp. usando etanol: optimización y escalado,” Industrial Crops and Products, vol. 205, art. 118563, 2024. DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.118563.
- [9] L. Wang, B. Yang y J. Du, “Cinética de transferencia de masa durante la extracción etanólica de capsaicinoides del ají,” Journal of Food Engineering, vol. 178, pp. 190–199, 2016. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.01.019.
- [10] M. L. García-Ruiz, F. Pérez-López y D. A. Morales, “Modelado termodinámico de la extracción etanólica de capsaicina de *Capsicum annuum*,” Chemical Engineering Transactions, vol. 89, pp. 511–518, 2022. DOI: 10.3303/CET2289086.

**Luis Vicente Arias Fernández.**

Ingeniero Agroindustrial titulado de la Escuela Militar de Ingeniería.

Realizó el Diplomado en Metodología Científica – UPEA.

Diplomado en Educación Superior Basado en el Modelo Académico por Competencias - UPEA

Se desempeña como técnico e investigador en la Unidad Académica de Cochabamba de la EMI, participando en proyectos relacionados con la agroindustria y la investigación aplicada. Ha recibido Distinción al Mérito Científico EMI 2023, por su compromiso y aporte en actividades científicas y académicas institucionales.