



PRINCIPIOS

DE LA EXTRACCIÓN DE CURCUMINA
Y PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA SU EXTRACCIÓN
A NIVEL INDUSTRIAL Y DE LABORATORIO

2025

Créditos

Autores:

**Nazareth Barrantes-Herrera,
Geilyn Milieth Arias-Leitón,
Karla Francini Mora-Mena,
Ana María Quirós-Blanco,
Ileana Maricruz Bermúdez-Serrano**

Centro Nacional de Ciencia y Tecnología
de Alimentos, Universidad de Costa Rica
y Carrera de Ingeniería de Alimentos
Sede Guanacaste, Liberia, Costa Rica.

Revisores:

Paola Montoya Rodríguez
Promotora de Comercio Exterior de
Costa Rica (PROCOMER)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción	6
2. Extracción de curcumina	8
3. Tipos de disolventes empleados en la extracción de curcumina	10
3.1. Etanol	10
3.2. Metanol	11
3.3. Acetona	11
3.4. Hexano	12
3.5. Recomendaciones sobre los tipos de disolventes empleados para la extracción de curcumina basadas en los análisis previos	13
4. Extracción de curcumina a nivel de laboratorio	14
4.1. Controles de calidad en la extracción de curcumina	14
4.2. Métodos de extracción	15
4.2.1. Extracción líquido-sólido	16
4.2.2. Percolación	17
4.2.3. Extracción Soxhlet	17
4.2.4. Extracción asistida por microondas	18
4.2.5. Extracción ultrasónica	19
5. Comparación general de métodos de extracción a nivel de laboratorio	20
6. Extracción de curcumina a nivel industrial	25
7. Protocolo de extracción de curcumina recomendado para Pymes en Costa Rica	28
8. Equipos de extracción que pueden emplearse a nivel industrial o a nivel planta	31
9. Referencias	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Ventajas y desventajas del uso de etanol como disolvente polar para la extracción de la curcumina.....	10
Cuadro II. Características, ventajas y desventajas del uso de metanol como disolvente polar para la extracción de la curcumina.....	11
Cuadro III. Ventajas y desventajas del uso de la acetona como disolvente para la extracción de la curcumina.	11
Cuadro IV. Ventajas y desventajas del uso de hexano como disolvente para la extracción de la curcumina.	12
Cuadro V. Ventajas y desventajas de aplicar un proceso de extracción Líquido-sólido a temperatura ambiente y con calor.....	16
Cuadro VI. Resumen de las características de los métodos de extracción de curcumina a nivel de laboratorio investigados.	20
Cuadro VII. Características principales, ventajas y desventajas de los equipos industriales que se pueden aplicar para aplicar un proceso de extracción a escala industrial.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de la curcumina proveniente de los rizomas de la cúrcuma. Fuente: (Ciuca & Racovita, 2023).	6
Figura 2. Diagrama del proceso utilizado en el método de extracción de curcumina por líquido-sólido a nivel de laboratorio, basado en la metodología descrita por Park et al., (2023).	21
Figura 3. Diagrama de proceso del método de extracción de curcumina líquido-sólido a temperatura ambiente, basado en la metodología descrita por Macías, (2023)	22
Figura 4. Diagrama de proceso extracción de curcumina por medio del Soxhlet, basado en la metodología descrita por Jayaprakasha et al., (2013).	23
Figura 5. Prototipo del diagrama de proceso en planta piloto para la extracción de curcumina mediante el método de líquido-sólido, que incluye sistemas de separación, secado y recuperación del disolvente.	26
Figura 6. Prototipo del diagrama de proceso para la extracción de curcumina mediante el método de líquido-sólido, dirigido a pymes.	30

1. INTRODUCCIÓN

La cúrcuma (*Cúrcuma longa* L) pertenece a las Zingiberáceas familia y se distribuye en zonas tropicales y subtropicales del mundo. La cúrcuma es una planta perenne con raíces pulposas y tuberosas con una piel marrón dura y una profundidad pulpa de color naranja. Lo más destacado de la cúrcuma es su rizoma subterráneo, que se asemeja a una raíz. Esta parte de la planta se seca y se muele para obtener el polvo de cúrcuma que se usa comúnmente como especia y colorante (Sogi et al., 2010). El principal compuesto activo de la cúrcuma es la curcumina, la cual es la responsable del color amarillo brillante y se le atribuyen numerosos beneficios para la salud, incluidos sus efectos antiinflamatorios y antioxidantes (Corrêa Carvalho et al., 2024).

La curcumina (1,7-bis (4-hidroxibenzilo) -1,6-heptadieno-3,5-diona), es un compuesto lipofílico cuya estructura química incluye grupos fenólicos y cetonas. Los dos grupos fenólicos son altamente polares debido a la presencia de grupos hidroxilos unidos a anillos bencénicos; estos grupos pueden formar enlaces de hidrógeno con solventes polares (Priyadarsini, 2014). Asimismo, la presencia de grupos cetonas en la estructura también contribuye a la polaridad del compuesto, debido a que los grupos cetonas son polares dados la diferencia de electronegatividad entre el carbono y el oxígeno (Ciuca & Racovita, 2023a).

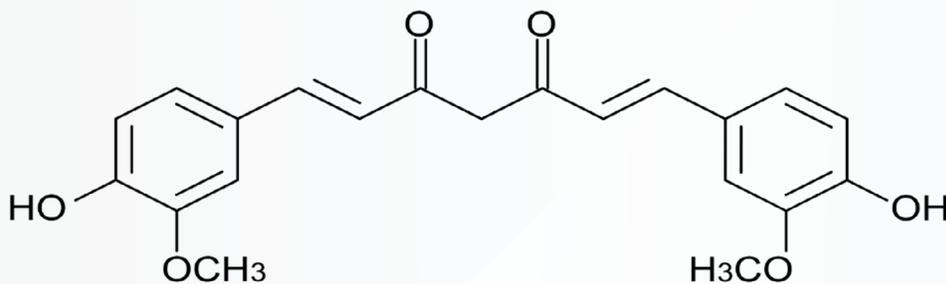


Figura 1. Estructura química de la curcumina proveniente de los rizomas de la cúrcuma.

Fuente: (Ciuca & Racovita, 2023).

Dependiendo de su origen y de las condiciones del suelo donde se cultiva, la cúrcuma contiene entre un 2% y un 9% de curcuminoides. La palabra “curcuminoides” indica un grupo de compuestos como la curcumina, la demetoxicurcumina, la bis-demetoxicurcumina y la curcumina cíclica; de estos, la curcumina es el componente principal y la curcumina cíclica es el componente menor (Priyadarsini, 2014).

En los últimos años, la curcumina ha sido ampliamente investigada por sus notables propiedades terapéuticas. Se ha destacado por su actividad antiinflamatoria y antioxidante, siendo efectiva en el tratamiento de enfermedades crónicas como la artritis y desórdenes digestivos, además de ofrecer protección celular (Chittasupho et al., 2022; Clayton et al., 2024). Investigaciones también sugieren su potencial anticancerígeno, con capacidad para inhibir el crecimiento de células tumorales (Feng et al., 2017; El-Saadony et al., 2023). Además, se ha observado su impacto positivo en la salud cardiovascular, mejorando la función endotelial y regulando el colesterol (González et al., 2016).

La extracción de curcumina es clave para su aplicación en diversos sectores, donde sus múltiples propiedades son aprovechadas para mejorar la calidad de productos alimentarios, medicamentos y cosméticos. En la industria alimentaria, se utiliza como colorante natural en productos como salsas, quesos y mantequillas, ya que proporciona un tono amarillo-anaranjado característico. También se añade como conservante en ciertos alimentos gracias a sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, lo que ayuda a prolongar la vida útil de los productos (Chittasupho et al., 2022; Roy & Rhim, 2019).

En el ámbito farmacéutico, la curcumina es aprovechada por sus beneficios para la salud, formulándose en cápsulas, tabletas o polvos como suplemento dietético (El-Saadony et al., 2023). Su capacidad antiinflamatoria y antioxidante la hace útil para tratar afecciones como la artritis, enfermedades cardíacas e incluso ciertos tipos de cáncer (Clayton et al., 2024).

Por otro lado, en la cosmética, la curcumina se incluye en cremas y lociones por sus propiedades antiinflamatorias y para el cuidado de la piel, siendo ideal para tratar el acné, mejorar el tono de la piel y reducir signos de envejecimiento (Mo et al., 2024).

2. EXTRACCIÓN DE CURCUMINA

El proceso de extracción de curcumina requiere la selección de un disolvente adecuado, ya que este desempeña un papel crucial en la eficiencia y calidad del extracto obtenido. Dado que la curcumina es una molécula lipofílica, tiene mayor afinidad por disolventes orgánicos, ya sean polares, apolares, alcalinos o extremadamente ácidos, y es insoluble en agua, pH neutro y ácido. La elección del disolvente no solo afecta el rendimiento de la extracción, sino también la pureza del producto final y la sostenibilidad del proceso, lo que hace que esta decisión sea fundamental para el éxito de la extracción (Corrêa Carvalho et al., 2024).

Entre los métodos más comunes para extraer curcumina, tanto a nivel de laboratorio como industrial, destaca la extracción con disolventes orgánicos. Se han utilizado disolventes polares y no polares, y entre ellos, el etanol y la acetona se han consolidado como los más eficientes y preferidos. Esto se debe a su alta eficacia en la extracción y a su aceptabilidad regulatoria, especialmente en la industria alimentaria, donde el uso de disolventes seguros es crucial (Corrêa Carvalho et al., 2024). El etanol, en particular, cuenta con la aprobación de organismos como la FDA, lo que lo convierte en una opción ideal para productos destinados al consumo humano.

No obstante, algunos disolventes, como los clorados (por ejemplo, cloroformo y diclorometano), aunque son altamente eficientes en la extracción de curcumina, no se emplean en la industria alimentaria debido a su clasificación como no seguros para el consumo humano. Estos compuestos no están aprobados por organismos reguladores como la FDA o la EFSA, ya que pueden dejar residuos peligrosos en el producto final, y muchos de ellos son considerados carcinogénicos o tóxicos a largo plazo. Por ello, su uso está restringido a aplicaciones no alimentarias, y la industria prefiere disolventes más seguros como el etanol, que garantiza un proceso más limpio y seguro para el consumidor (WHO & JECFA, s.f.).

La elección del disolvente no solo influye en el rendimiento y eficiencia de la extracción, sino también en la calidad, seguridad y viabilidad económica del proceso. Solventes con alta toxicidad pueden requerir una cuidadosa eliminación de residuos, lo que incrementa los costos operativos. Por otro lado, la eficiencia del solvente elegido también puede impactar directamente la viabilidad económica del proceso de extracción, ya que disolventes menos eficaces podrían resultar en mayores costos de producción. En consecuencia, es fundamental comprender profundamente las propiedades de los disolventes y su impacto en el proceso para desarrollar métodos de extracción más óptimos y sostenibles (Macías et al., 2023).

Este conocimiento es esencial para garantizar un equilibrio entre eficiencia, seguridad y costo, lo cual es crucial tanto en el desarrollo de procesos industriales a gran escala como a escala de laboratorio. A continuación, se detallarán los tipos de disolventes empleados para la extracción de curcumina por medio de métodos convencionales de acuerdo con Priyadarsini, (2014):

- **Disolventes polares:** Los solventes como el etanol, el metanol y acetona son ampliamente utilizados debido a su capacidad para disolver compuestos polares como la curcumina. Estos solventes ofrecen ventajas como una buena solubilidad, menor toxicidad comparativa y, en el caso del etanol, una menor huella ambiental.
- **Disolventes apolares:** Solventes como el hexano se emplean para extraer compuestos lipofílicos. Aunque estos solventes son eficientes en la disolución de curcumina, presentan desafíos relacionados con su toxicidad y la necesidad de manejarlos con cuidado. La acetona, por su capacidad para evaporarse rápidamente, facilita la concentración del extracto, mientras que el hexano es efectivo en combinaciones con otros solventes para mejorar el rendimiento de la extracción.
- **Disolventes mixtos y alternativos:** La combinación de solventes o el uso de métodos alternativos, como la extracción con agua, también se exploran para mejorar la eficiencia de extracción y reducir el impacto ambiental. La extracción con agua, aunque menos eficiente, ofrece una alternativa no tóxica y económica, especialmente cuando se busca maximizar el uso de solventes orgánicos.

3. TIPOS DE DISOLVENTES EMPLEADOS

EN LA EXTRACCIÓN DE CURCUMINA

En esta sección, se abordarán de manera detallada las características de cada tipo de disolvente (polares, apolares y mixtos) utilizados en el proceso de extracción de curcumina basadas en literatura científica. A continuación, se presentarán cuadros que resumen las principales ventajas y desventajas de cada disolvente utilizado.

3.1. ETANOL

Cuadro 1. *Ventajas y desventajas del uso de etanol como disolvente polar para la extracción de la curcumina.*

VENTAJAS

Polaridad moderada: El etanol es eficaz para extraer curcumina debido a su polaridad, lo que facilita la solubilización de compuestos polares. La eficiencia varía según la concentración de etanol, la temperatura y el tiempo de extracción¹.

Facilidad de evaporación: Con un punto de ebullición de 78.37°C, el etanol se evapora fácilmente tras la extracción, permitiendo recuperar el solvente y concentrar el extracto sin dañar los compuestos bioactivos².

Compatibilidad industrial: El etanol es accesible, económico y seguro de manipular, lo que lo hace práctico para la extracción de compuestos en la industria alimentaria sin necesidad de equipos complejos³.

Toxicidad: El etanol, reconocido como un solvente verde, es seguro para la extracción de ingredientes alimentarios, aprobado por la FDA y la EFSA. A diferencia de otros solventes, no es tóxico en cantidades residuales⁴.

Eficiencia de extracción: El etanol al 70-95% es eficaz para extraer curcumina en grandes cantidades sin degradarla, aunque mayores concentraciones incrementan los costos⁵.

DESVENTAJAS

El etanol es altamente inflamable, lo que requiere un manejo cuidadoso, equipos de seguridad adecuados y condiciones controladas para evitar riesgos de incendios o explosiones.

Comparado con otros solventes como la acetona, el etanol tiene una evaporación más lenta, lo que puede requerir más tiempo o energía para eliminar el solvente del extracto final.

Nota: ¹ (Park et al., 2022), ² (Wakte et al., 2011), ³ (Shirsath et al., 2017), ⁴ (Ethanol - Chemical Safety Facts, 2022; CFR Title 21, s.f.), ⁵ (Singh et al., 2022; Park et al., 2022; Sogi et al., 2010).

3.2. METANOL

Cuadro II. Características, ventajas y desventajas del uso de metanol como disolvente polar para la extracción de la curcumina.

VENTAJAS

Eficiencia de extracción: El metanol, por ser un solvente polar, es altamente eficiente en la disolución de curcuminoides, ofreciendo buenos rendimientos de extracción¹.

Condiciones de extracción: Las extracciones con metanol suelen realizarse a temperaturas entre 25°C y 60°C, aunque pueden ser más altas para acelerar el proceso. El tiempo de extracción varía de 30 minutos a 2 horas, y la concentración de metanol puede ir del 50% al 100%³.

Facilidad de evaporación: El metanol tiene un punto de ebullición bajo (64.7°C), lo que facilita su eliminación tras la extracción mediante evaporación o destilación¹.

DESVENTAJAS

No aprobado para uso alimentario directo: A diferencia del etanol, el metanol es tóxico si se ingiere, por lo que no es adecuado para productos alimentarios. Es necesario eliminar cualquier traza de metanol del extracto mediante evaporación o destilación, lo que puede aumentar los costos operativos².

Uso común en investigación: El metanol se emplea frecuentemente en investigaciones científicas y análisis, como en la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), donde se requiere alta pureza en la extracción de curcumina¹.

Sostenibilidad y seguridad: es tóxico y requiere un manejo adecuado, por lo que es esencial utilizar medidas de seguridad adecuadas en su manipulación⁴.

Nota: ¹ (Macías et al., 2023), ² (WHO & JECFA, s.f.), ³ (Popuri & Pagala, 2013; Blandón & Ponce, 2021; Stanciu, 2020), ⁴ (ICSC 0057 - METANOL, s. f.).

3.3. ACETONA

Cuadro III. Ventajas y desventajas del uso de la acetona como disolvente para la extracción de la curcumina.

VENTAJAS

Eficiencia de extracción: La acetona, como solvente polar-aprótico intermedio, es eficaz para disolver curcumina, logrando altos rendimientos de extracción¹.

Condiciones de extracción: Las extracciones con acetona se realizan a temperaturas entre 25°C y 60°C, con tiempos de 30 minutos a 2 horas, dependiendo del método y condiciones del proceso³.

Facilidad de evaporación: Con un punto de ebullición de 56°C, la acetona se evapora fácilmente, lo que facilita la concentración del extracto y reduce el tiempo de proceso⁴.

DESVENTAJAS

No aprobada para uso alimentario directo: La acetona no es apta para la industria alimentaria debido a su toxicidad. Regulaciones de la FDA y la EMA prohíben su presencia en productos alimentarios. Cualquier traza debe eliminarse completamente en extracciones industriales antes de su uso en alimentos².

Sostenibilidad y seguridad: Su toxicidad limita su uso en alimentos, requiriéndose evaporación completa para evitar residuos⁵.

Uso en investigación y análisis: la acetona es comúnmente utilizada en investigación y análisis de curcumina debido a su eficacia

Costo y disponibilidad: La acetona es económica y ampliamente disponible, lo que la hace popular en aplicaciones industriales e investigaciones.

y facilidad de manejo en laboratorio que no esté relacionada a extracciones para consumo humano⁴.

Nota: ¹ (Wakte et al., 2011), ² (Acetona, ATSDR, s.f.; CFR Title 21, s.f.-b), ³ (Sahne et al., 2016; Euterpio et al., 2011), ⁴ (Wakte et al., 2011), ⁵ (ICSC 0087 - Acetona, s.f.).

3.4. HEXANO

Cuadro IV. Ventajas y desventajas del uso de hexano como disolvente para la extracción de la curcumina.

VENTAJAS

Eficiencia de extracción: es eficaz para extraer componentes lipofílicos, siendo más utilizado para la fracción lipídica de la cúrcuma, como aceites y resinas, en lugar de la curcumina¹.

Condiciones de extracción: Generalmente, se utiliza a temperaturas bajas o moderadas (25°C a 40°C) para evitar la degradación de componentes sensibles como la curcumina. Los tiempos de extracción suelen ser prolongados, entre 4 y 6 horas en sistemas como Soxhlet, para obtener un buen rendimiento de la fracción lipídica².

Facilidad de evaporación: Con un punto de ebullición bajo de 68°C, el hexano se evapora rápidamente, lo que facilita la eliminación de residuos en productos destinados al consumo humano¹.

DESVENTAJAS

No aprobado para uso alimentario directo: El hexano es tóxico y no es seguro para alimentos a menos que se elimine por completo del extracto.

Toxicidad: Aunque es fácilmente evaporado, el hexano es considerado un solvente no sostenible y peligroso desde el punto de vista ambiental debido a su volatilidad y toxicidad³.

Nota: ¹ (Popuri & Pagala, 2013), ² (Popuri & Pagala, 2013; Blandón & Ponce, 2021), ³ (ICSC 0279 - N-Hexano, s.f.).

3.5. RECOMENDACIONES SOBRE LOS TIPOS DE DISOLVENTES EMPLEADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE CURCUMINA BASADAS EN LOS ANÁLISIS PREVIOS.

- El etanol es una opción ideal para la extracción de curcumina en alimentos; considerado seguro por las autoridades regulatorias (GRAS, generalmente reconocido como seguro), gracias a su seguridad, eficacia, sostenibilidad y facilidad de manejo en la industria alimentaria.
- El metanol es un solvente eficaz para la extracción de curcumina en aplicaciones industriales y de investigación, pero no es adecuado para alimentos debido a su toxicidad. Se emplea principalmente en investigaciones científicas y laboratorios analíticos, pero su uso en la industria alimentaria está limitado y debe manejarse con cuidado. Se debe asegurar una adecuada eliminación en los extractos de curcumina.
- La acetona es un solvente eficiente y económico para la extracción de curcumina, con alta capacidad de disolución y facilidad de evaporación. Sin embargo, su uso en la industria alimentaria está limitado debido a su toxicidad, dichas restricciones legales hacen a la acetona menos ideal en comparación con otros solventes más seguros como el etanol. Se emplea principalmente en aplicaciones no alimentarias, investigaciones científicas y en procesos donde se garantiza la eliminación completa del solvente antes de que el extracto sea utilizado.
- El hexano es eficaz para la extracción de compuestos lipofílicos, pero tiene una capacidad limitada para extraer curcumina debido a su naturaleza apolar. Además, no es adecuado para aplicaciones alimentarias debido a su toxicidad y el riesgo de residuos peligrosos en los productos finales. Aunque es un solvente económico y de fácil evaporación, se limita su uso a procesos industriales no relacionados con alimentos o a la extracción de aceites. El proceso de eliminación de hexano es estricto.

Por lo tanto, el etanol es el mejor disolvente para la extracción de curcumina debido a su capacidad para extraer eficientemente el compuesto sin dañarlo, su fácil evaporación y su compatibilidad tanto con laboratorios como con plantas industriales. Además, su bajo costo y sostenibilidad lo convierten en una opción ideal frente a otros solventes más tóxicos y difíciles de eliminar.

4. EXTRACCIÓN DE CURCUMINA

A NIVEL DE LABORATORIO

4.1. CONTROLES DE CALIDAD EN LA EXTRACCIÓN DE CURCUMINA

A la hora de realizar extracciones de curcumina, los controles de calidad son cruciales para asegurar que el producto final mantenga sus propiedades bioactivas y sea seguro para el consumo o uso. Los principales aspectos a considerar incluyen la prevención de la degradación de la curcumina, la selección y control de los disolventes y la optimización de las condiciones de proceso para maximizar el rendimiento sin comprometer la calidad (Priyadarsini, 2014). A continuación, se describen estos puntos en detalle:

- **Prevención de la degradación por oxidación y exposición a la luz:** La curcumina es susceptible a la oxidación y se degrada fácilmente bajo condiciones de calor y luz. Para minimizar este riesgo, es esencial mantener temperaturas bajas o moderadas que no superen los 50°C y evitar una exposición prolongada a la luz. Por lo tanto, los procesos de extracción deben realizarse en ambientes oscuros o protegidos de la luz, almacenar el extracto en recipientes oscuros o ámbar y, si es posible, en atmósferas controladas para reducir la presencia de oxígeno, lo que evitaría su degradación y garantizaría una mayor estabilidad y calidad del producto final (Macías et al., 2023; Blandón & Ponce, 2021).
- **Selección y control de disolventes:** Los métodos convencionales de extracción de curcumina suelen requerir grandes volúmenes de disolventes, lo cual representa tanto un costo elevado como un riesgo potencial de toxicidad. La elección de disolventes seguros y eficaces es fundamental. Se recomienda optar por disolventes con un perfil de toxicidad bajo, o bien recurrir a solventes ecológicos y no tóxicos, como el etanol o el agua. Además, la recuperación del disolvente después de la extracción es clave para reducir residuos, minimizar costos y evitar problemas medioambientales (Ethanol - Chemical Safety Facts, 2022; Priyadarsini, 2014).
- **Control de las condiciones de extracción:** Para lograr una extracción eficiente sin comprometer la calidad de la curcumina, es esencial monitorear cuidadosamente variables de proceso como la temperatura, el tiempo de extracción y la relación material-disolvente. Es recomendable

que la temperatura no supere los 50°C para minimizar la degradación térmica, y que se mantenga un tiempo de extracción óptimo, ya que periodos prolongados pueden afectar la estabilidad de la curcumina y reducir su actividad bioactiva. En cuanto a la relación material-disolvente, proporciones de 10:1 o 20:1 suelen ser adecuadas para maximizar el rendimiento de la extracción. Controlar estos parámetros permite reducir los riesgos de degradación y optimizar la obtención de un producto final de alta calidad (Macías et al., 2023).

- Análisis de calidad del producto final: Para asegurar que la curcumina extraída cumple con los estándares de calidad, se pueden realizar pruebas analíticas como cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) para verificar su pureza y concentración, así como espectroscopía UV-Vis para evaluar su estabilidad. Estos análisis permiten verificar que el proceso de extracción ha sido eficaz y que la curcumina se mantiene en su forma bioactiva (Jayaprakasha et al, 2013; Sahne et al., 2016).

Implementar estos cuidados y controles garantiza que la curcumina extraída no solo sea de alta calidad sino también segura y viable para su aplicación en productos alimenticios o farmacéuticos.

4.2. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

Existen diversos métodos de extracción que se han utilizado para obtener curcumina, destacándose tanto los métodos convencionales como los innovadores. Estos enfoques ofrecen diferentes ventajas y resultados, lo que permite explorar nuevas posibilidades en la obtención de este compuesto.

Las metodologías convencionales para la extracción de curcumina incluyen varias técnicas probadas por su eficacia para obtener este compuesto bioactivo. Entre las más comunes se encuentran la extracción sólido-líquido, en la cual el material vegetal se remoja en un disolvente, como el etanol, durante un periodo prolongado; la percolación, que emplea un flujo continuo de solvente a través del material para extraer el compuesto deseado; y el método Soxhlet, que permite una extracción continua y eficiente mediante la recirculación constante del disolvente, optimizando así el rendimiento del proceso (Priyadarsini, 2014). Estas técnicas son accesibles y relativamente simples de implementar, aunque su eficiencia y selectividad pueden variar según las condiciones operativas y el disolvente empleado.

A continuación, se describen los métodos anteriormente mencionados, sus principales ventajas y desventajas.

4.2.1 EXTRACCIÓN LÍQUIDO-SÓLIDO

Este tipo de extracción es una técnica simple y accesible que se emplea para la extracción de curcumina, en la cual la cúrcuma molida se coloca en un solvente, como el etanol, y se deja reposar durante varias horas o días, ya sea a temperatura ambiente o con calor (Macías et al., 2023). Este proceso puede ajustarse según las condiciones deseadas, dependiendo de factores como la eficiencia de extracción, el tiempo disponible y los costos energéticos. Aunque no requiere de equipos sofisticados, lo que la hace adecuada para producciones a pequeña o mediana escala, su principal desventaja es que tiende a ser más lenta y menos eficiente en comparación con otros métodos, dado que el tiempo de extracción es prolongado y el rendimiento puede ser inferior.

El uso de mezclas de agua y etanol, generalmente en concentraciones del 50-70% de etanol, es una opción popular en la extracción de curcumina para alimentos. Este método aprovecha tanto la capacidad del etanol para disolver compuestos como la naturaleza segura y económica del agua (Singh et al., 2022).

Entre sus ventajas, destaca que es más sostenible y económico en comparación con el uso de solventes orgánicos puros, además de que el agua permite extraer una mayor variedad de compuestos bioactivos. El proceso implica mezclar la cúrcuma con la solución de etanol y agua, calentando la mezcla para facilitar la disolución de la curcumina. Posteriormente, se filtra el extracto y se elimina el solvente por evaporación (Singh et al., 2022).

Sin embargo, una desventaja de este método es que, frente al etanol puro, la inclusión de agua puede reducir ligeramente la eficiencia en la extracción de curcumina. A pesar de esto, es ideal para productos que requieren un enfoque más económico y seguro.

A continuación, se presentará una comparación de ambos enfoques, con énfasis a cuál opción puede ser mejor según las necesidades específicas de la industria.

Cuadro V. Ventajas y desventajas de aplicar un proceso de extracción Líquido-sólido a temperatura ambiente y con calor.

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CON APLICACIÓN DE CALOR ¹ .	<ul style="list-style-type: none">Mayor eficiencia de extracción debido a que el calor aumenta la solubilidad de la curcumina en el disolvente, lo que se traduce en un mayor rendimiento en menor tiempo.	<ul style="list-style-type: none">Mayor consumo energético y control preciso de la temperatura para evitar degradación de la curcumina.Si se trabaja a temperaturas superiores a 60°C se degrada la curcumina.

TIPO

VENTAJAS

DESVENTAJAS

A TEMPERATURA AMBIENTE¹.

- Menor riesgo de degradación de la curcumina ya que este compuesto puede degradarse con temperaturas superiores a los 60°C.
 - Menor consumo energético; al no requerir calor, los costos operativos son más bajos, lo que implica una ventaja para pequeñas empresas o laboratorios que buscan minimizar gastos.
 - No se requieren equipos con control de temperatura, lo que simplifica el proceso y reduce necesidad de personal capacitado en el tema.
- Proceso más lento; ya que el calor aumenta la solubilidad de los compuestos activos en el disolvente.
 - La eficiencia puede ser menor en comparación con la extracción a calor ya que las interacciones con el disolvente y el compuesto son más lentas, haciendo una eficiencia de proceso moderada.

Nota: ¹ (Macías et al., 2023).

4.2.2 PERCOLACIÓN

La percolación es una técnica donde el solvente fluye a través del material sólido de forma continua, arrastrando los compuestos solubles como la curcumina, lo que permite una extracción más rápida y eficiente en comparación con la extracción líquido sólido (Jayaprakasha et al, 2013). Aunque es eficiente, requiere un control cuidadoso del flujo del solvente y puede ser más costoso en términos de operación continua (Jayaprakasha et al., 2013).

La principal diferencia con la extracción líquido-sólido radica en el flujo del disolvente y el contacto con el material sólido. La percolación utiliza un flujo continuo, mientras que la extracción líquido-sólido involucra una mezcla estática.

4.2.3 EXTRACCIÓN SOXHLET

El método Soxhlet es ampliamente utilizado en la extracción de curcumina, este sistema continuo permite una extracción exhaustiva de curcumina mediante la reutilización eficiente del solvente (Shirsath et al., 2017).

Una de sus principales ventajas es la capacidad de obtener grandes cantidades de curcumina con un uso reducido de solvente, gracias al contacto prolongado entre el solvente y la muestra, lo que mejora la eficiencia de extracción. El proceso implica colocar la cúrcuma en un cartucho y calentar el solvente, generalmente

etanol, para que se vaporice y condense sobre la muestra, repitiendo este ciclo para asegurar una extracción completa (Shirsath et al., 2017).

Este método es especialmente común en la producción de extractos alimentarios en plantas piloto y laboratorios industriales, donde se requiere mayor precisión y control de calidad. Sin embargo, la implementación de esta técnica a nivel industrial enfrenta ciertos desafíos, principalmente relacionados con los altos costos de inversión inicial en equipos y el considerable consumo de energía que requiere mantener el proceso en funcionamiento constante, lo cual puede impactar en la rentabilidad en operaciones a gran escala.

Por otra parte, los métodos innovadores de extracción ofrecen varias ventajas significativas en comparación con los convencionales. Son generalmente más eficientes, permitiendo un mayor rendimiento en menos tiempo y con un uso reducido de solventes. Técnicas como la extracción por microondas o ultrasonido preservan mejor la calidad de los compuestos sensibles al calor y permiten una mayor selectividad en la obtención de compuestos específicos.

4.2.4 EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS

La extracción asistida por microondas (MAE) es una técnica eficaz para la extracción de curcumina que utiliza energía de microondas para calentar el disolvente y la muestra, lo que da como resultado una extracción más rápida y eficaz en comparación con los métodos convencionales. Este enfoque mejora la penetración del disolvente en la matriz de la planta, rompiendo las paredes celulares y liberando curcumina más fácilmente (Doldolova et al., 2021).

Una de las principales ventajas de la extracción asistida por microondas (MAE) es su rapidez, ya que permite un tiempo de extracción corto y un alto rendimiento. Además, ofrece un calentamiento acelerado, gradientes térmicos reducidos y tiempos de reacción y preparación considerablemente menores (Singh et al., 2022). Normalmente, se utilizan disolventes como el etanol o una mezcla de etanol y agua debido a su eficacia para disolver la curcumina bajo calentamiento por microondas. El proceso implica colocar cúrcuma en polvo y disolvente en un recipiente apto para microondas, donde la energía del microondas provoca un calentamiento rápido, lo que conduce a una extracción eficiente de la curcumina (Bener et al., 2016).

MAE se aplica ampliamente en entornos industriales y de laboratorio para producir extractos de alta calidad con un uso mínimo de disolventes. Sin embargo, los costos de los equipos y la necesidad de un control preciso de la temperatura y la energía pueden plantear desafíos al escalar a niveles industriales. No obstante, su velocidad y su reducido impacto ambiental la convierten en una técnica prometedora para la extracción sostenible de curcumina en las industrias alimentaria y farmacéutica (Bener et al., 2016).

4.2.5 EXTRACCIÓN ULTRASÓNICA

La extracción ultrasónica, o extracción asistida por ultrasonido (UAE, por sus siglas en inglés), es un método eficiente para extraer curcumina, aprovechando las ondas de ultrasonido de alta frecuencia (entre 20 kHz y 100 MHz), para romper las paredes celulares de la cúrcuma y liberar compuestos bioactivos, como la curcumina. Este proceso genera microburbujas en el disolvente, las cuales implosionan y crean fuerzas de cavitación que aumentan la permeabilidad de la matriz vegetal y aceleran la liberación de curcumina (Shirsath et al., 2017).

Este mecanismo puede ser tanto térmico como atérmico. En el mecanismo térmico, la energía de las ondas sonoras se transforma en calor al ser absorbida por el medio. En el mecanismo atérmico, las ondas ultrasónicas causan ciclos de compresión y expansión en el líquido, lo que genera microburbujas de gas. Estas burbujas acumulan energía debido al movimiento browniano y, al implosionar, crean fuerzas de cavitación que aumentan la permeabilidad de la matriz vegetal, rompen las paredes celulares de la cúrcuma y liberan compuestos como la curcumina (Ciuca & Racovita, 2023).

La extracción ultrasónica destaca por su rapidez y eficiencia, ya que permite un alto rendimiento en tiempos cortos y con un bajo consumo de solvente y energía. Además, al no requerir altas temperaturas, la extracción ultrasónica minimiza el riesgo de degradación térmica de la curcumina, preservando mejor su calidad (Shirsath et al., 2017).

5. COMPARACIÓN GENERAL DE MÉTODOS

DE EXTRACCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO

Seguidamente, se presenta un cuadro comparativo de los principales métodos de extracción de curcumina. En él se destacan las características y rendimientos de cada técnica, permitiendo una evaluación integral para seleccionar el método más adecuado según los objetivos de calidad y eficiencia del proceso.

Cuadro VI. Resumen de las características de los métodos de extracción de curcumina a nivel de laboratorio investigados.

MÉTODO	TIEMPO	TEMPERATURA	GASTO ENERGÉTICO	MANO DE OBRA	RENDIMIENTOS
Líquido-sólido	Largo: horas o días	Ambiente o no mayor a 60°C	Bajo	Baja y no especializada	<ul style="list-style-type: none"> • 0.26mg/10 g con etanol (Jiang et al., 2021). • 7.057 3 0.003 mg/g con etanol al 70%¹. • 3.448 3 0.004 mg/g etanol al 50%¹. • Rendimiento extracción 2.4%².
Soxhlet	Largo: horas o días	Según solvente	Moderado	Moderada	<ul style="list-style-type: none"> • 2.34 3 0.171 a 9.18 30.232 %³. • 6.90% de extracción⁴. • 125 mg/100 g⁵. • 12,75 mg/g⁶. • 1.35 3 0.001 mg /100g⁷.
Solventes supercríticos	Corto: horas	Moderada y alta presión	Alto	Especializada	<ul style="list-style-type: none"> • 6.9730.18% escala laboratorio y 4.9430.20% escala piloto⁸.
Microondas	Muy corto: 5 minutos	Temperatura de 70-80°C	Alto	Especializada	<ul style="list-style-type: none"> • 10,08 y 13,21 mg/g⁹. • 326,79 mg/g y el rendimiento de extracto seco fue de 17.89 3 1.43%¹⁰.
Ultrasónica	Corto: 1 hora	Temperatura: 35°C	Alto	Especializada	<ul style="list-style-type: none"> • 241.17 mg/g y el rendimiento de extracto seco 11,34 3 2.48 %^{10 & 11}.

Nota: ¹ (Park et al., 2022), ² (Paulucci et al., 2013), ³ (Jayaprakasha et al., 2013), ⁴ (Sahne et al., 2016), ⁵ (Dutta, 2015), ⁶ (Shirsath et al., 2017), ⁷ (Euterpio et al., 2011), ⁸ (Kwon & Chung, 2015), ⁹ (Bener et al., 2016), ¹⁰ (Singh et al., 2022), ¹¹ (Shirsath et al., 2017).

A continuación, se incluyen ejemplos de diagramas de proceso de extracción de curcumina a escala de laboratorio.

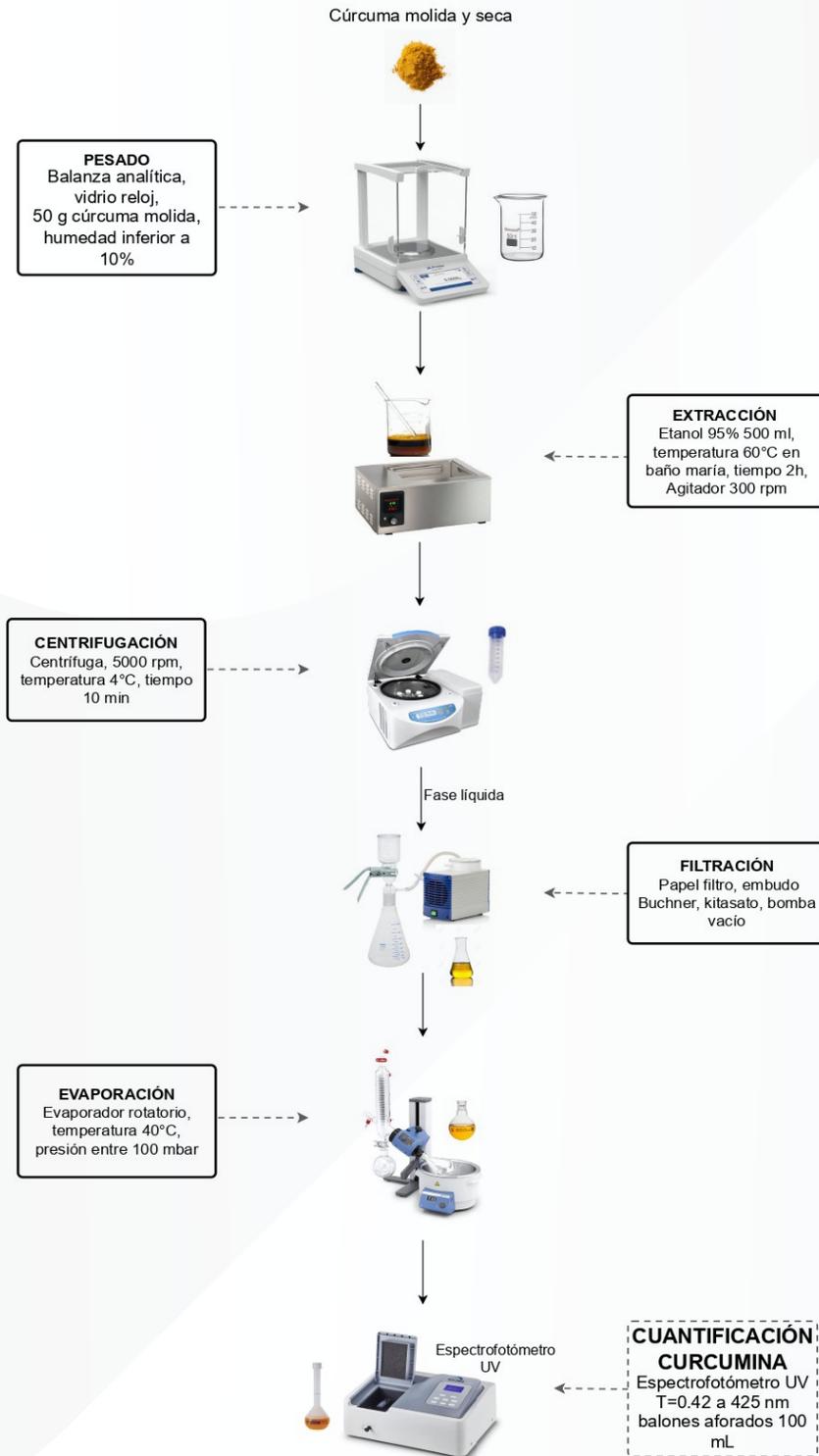


Figura 2. Diagrama del proceso utilizado en el método de extracción de curcumina por líquido-sólido a nivel de laboratorio, basado en la metodología descrita por Park et al., (2023).

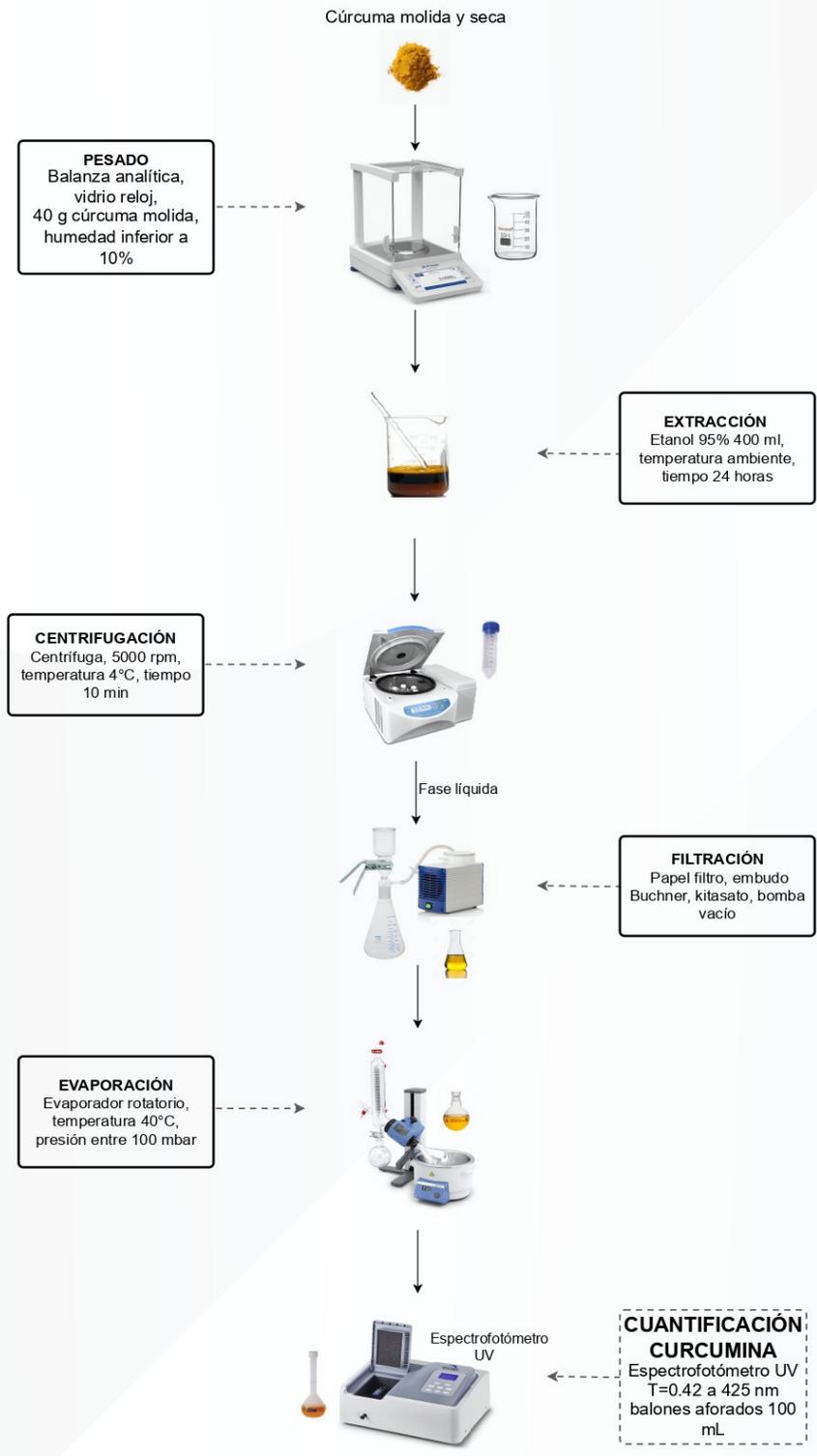


Figura 3. Diagrama de proceso del método de extracción de curcumina líquido-sólido a temperatura ambiente, basado en la metodología descrita por Macías, (2023).

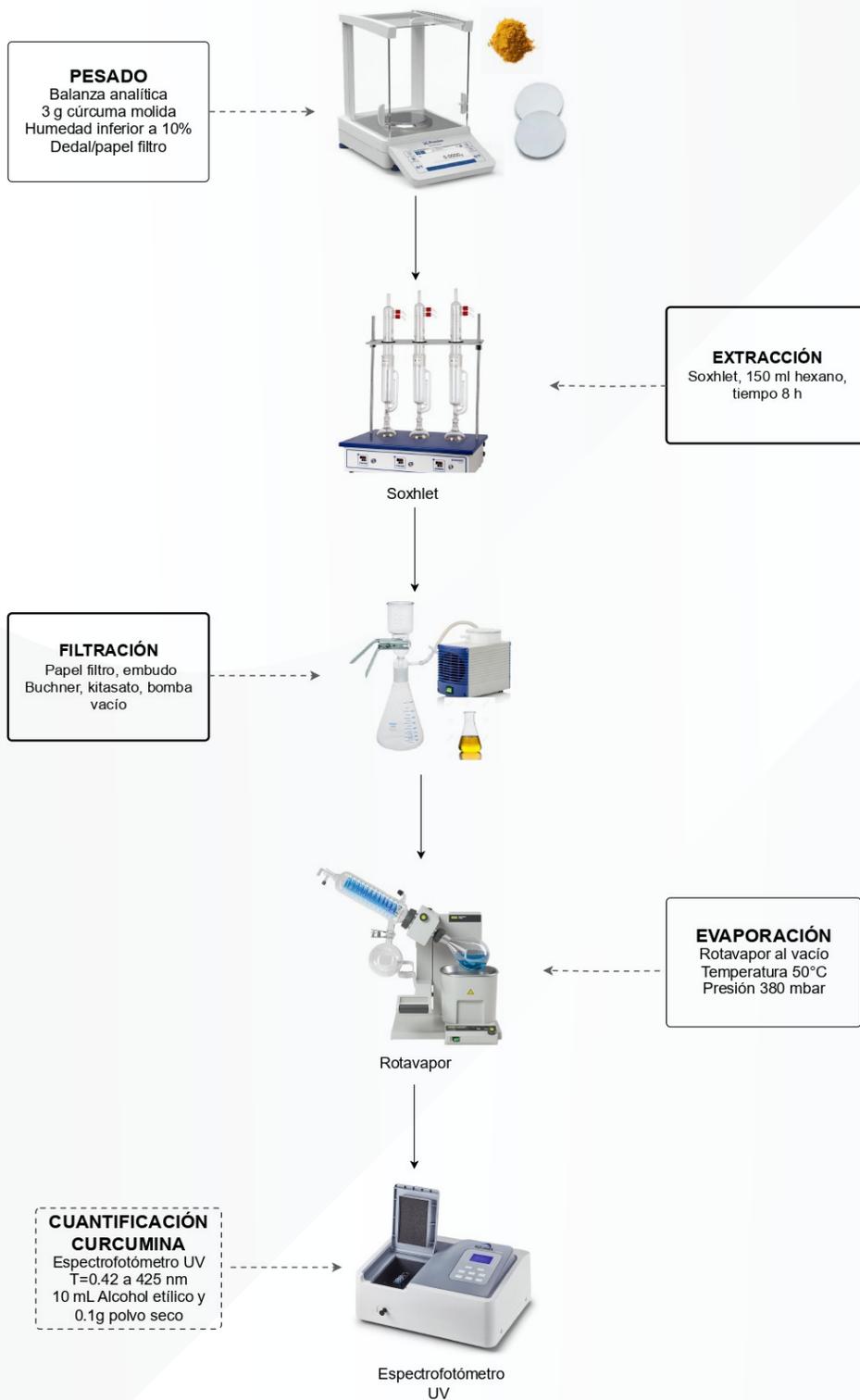


Figura 4. Diagrama de proceso extracción de curcumina por medio del Soxhlet, basado en la metodología descrita por Jayaprakasha et al., (2013).

La elección del método de extracción de curcumina debe equilibrar costos, tiempo y eficiencia. Mientras que otros métodos como la extracción por soxhlet o solventes supercríticos son ideales para grandes volúmenes, alta pureza y rendimientos, requieren inversiones significativas, lo que puede ser inviable para algunas empresas.

En contraste, la extracción líquido-sólido, es una alternativa económica y accesible, ideal para laboratorios con presupuestos limitados. Este método permite un control óptimo de las condiciones del proceso y es fácilmente replicable a escala semiindustrial, maximizando la productividad y adaptándose a las necesidades del mercado.

La extracción líquido-sólido no necesita tecnología compleja y utiliza equipos comunes, lo que reduce costos de inversión y operación. Además, es adecuada para manejar grandes volúmenes, lo que la convierte en una opción viable para pequeñas industrias que desean optimizar la producción de curcumina sin incurrir en gastos excesivos.

Por otra parte, la extracción por ultrasonido y microondas son métodos modernos que destacan por su alta eficiencia, rapidez y bajo consumo de solvente, logrando extracciones de compuestos bioactivos, como la curcumina, en tiempos reducidos. Ambos métodos protegen la calidad del extracto final al minimizar la degradación térmica, siendo el ultrasonido particularmente eficaz al no requerir altas temperaturas, mientras que el microondas asegura un calentamiento controlado. Su bajo impacto ambiental y sostenibilidad los convierten en alternativas ecológicas ideales para aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Aunque requieren inversión alta en equipos específicos y personal capacitado, estos métodos ofrecen alta selectividad y calidad en la obtención de extractos industriales.

6. EXTRACCIÓN DE CURCUMINA

A NIVEL INDUSTRIAL

Se eligió la extracción de curcumina mediante el proceso sólido-líquido como método de extracción a escala industrial, ya que permite un control óptimo de las condiciones del proceso y es fácilmente replicable a nivel semiindustrial. Esta metodología maximiza la productividad y se adapta a las demandas del mercado, convirtiéndola en una opción ideal para la producción eficiente del compuesto activo de la curcumina.

A continuación, se presentarán las etapas del proceso de extracción de curcumina a nivel de planta, detallando cada uno de los pasos involucrados. A través de una descripción de cada fase, se ilustrará cómo se lleva a cabo la extracción, así como los aspectos clave que garantizan la eficiencia y la calidad del producto final.

1. Extracción líquido-sólido:

En un tanque de agitación, se añaden los kilogramos de cúrcuma y del disolvente (ejemplo etanol) que se desea procesar. La etapa de agitación puede durar entre 12 y 48 horas, dependiendo del nivel de extracción deseado del material vegetal en el solvente (Blandón & Ponce, 2021).

La temperatura se controla de manera precisa, oscilando entre 25 y 50 °C según el tipo de solvente utilizado. Aunque temperaturas más altas pueden acelerar la extracción, también incrementan el riesgo de degradación de los compuestos activos de la curcumina; por lo tanto, el control exacto de la temperatura es fundamental. En cuanto a la relación de solvente a material vegetal, las proporciones pueden variar de 10:1 a 20:1, ajustándose según las características del proceso y los objetivos de extracción (Blandón & Ponce, 2021).

2. Centrifugación por decantación:

La centrifugación por decantación es una etapa crucial en el proceso de extracción de curcumina, que se lleva a cabo después de que se ha completado el tiempo de extracción en el tanque de agitación. Durante esta fase, el solvente, que contiene la curcumina disuelta, se somete a un proceso de centrifugación que utiliza la fuerza centrífuga para separar las distintas fases del sistema (Ortega et al., 2011).

Este proceso implica la colocación de la mezcla en un tambor rotatorio, donde, debido a la rotación, las partículas sólidas presentes en la mezcla tienden a sedimentarse en el fondo del recipiente. Esto permite que el disolvente, en este caso el etanol que lleva la curcumina, se separe de la fase sólida, quedando en la parte superior. La centrifugación por decantación asegura una separación

efectiva y rápida, facilitando la recuperación del solvente cargado con curcumina y minimizando las impurezas que podrían interferir en etapas posteriores del proceso. Este método no solo optimiza la eficiencia de extracción, sino que también contribuye a una mayor pureza del producto final (Ortega et al., 2011).

3. Concentración del extracto:

En esta etapa, se emplea un evaporador industrial de película descendente para eliminar el solvente y concentrar el extracto de curcumina. Este tipo de evaporador es especialmente eficaz porque permite que el líquido forme una película delgada que fluye por la superficie del calentador, lo que aumenta la superficie de contacto y facilita la evaporación rápida del solvente (Ortega et al., 2011). Al concentrar el extracto, se obtienen mayores concentraciones de curcumina, lo que mejora la calidad y la eficiencia del producto final, optimizando así su potencial para aplicaciones industriales (Sogi et al., 2010).

4. Recuperación del solvente:

Después de la etapa de concentración, en la que se utiliza un evaporador para eliminar el solvente y concentrar el extracto de curcumina, se implementa un destilador para recuperar el etanol u otro disolvente utilizado en el proceso. El destilador funciona separando el solvente de la mezcla a través de la destilación, un proceso que se basa en las diferencias en los puntos de ebullición de los componentes (Park et al., 2023). Al calentar la mezcla, el etanol se vaporiza a una temperatura más baja que los compuestos más pesados, permitiendo que el vapor sea dirigido hacia un condensador. Allí, el vapor se enfría y se convierte nuevamente en líquido, lo que permite su recolección y reutilización en futuras extracciones (Park et al., 2023).

A continuación, se presenta en la figura 5 el diagrama de proceso, que muestra el prototipo de extracción de curcumina mediante el método de extracción líquido-sólido.

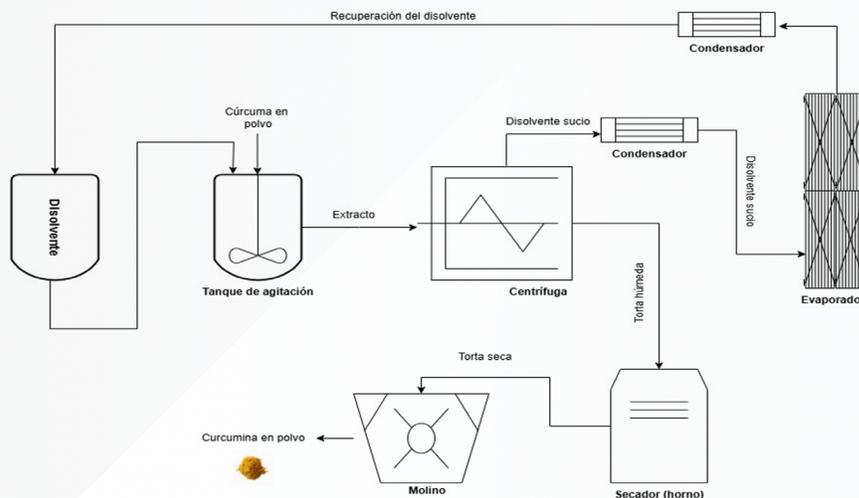


Figura 5. Prototipo del diagrama de proceso en planta piloto para la extracción de curcumina mediante el método de líquido-sólido, que incluye sistemas de separación, secado y recuperación del disolvente.

La elección del método de extracción sólido-líquido para la obtención de curcumina a escala industrial se justifica por su capacidad para ofrecer un control preciso de las condiciones del proceso y su fácil replicabilidad en niveles semiindustriales. Este enfoque no solo optimiza la productividad, sino que también se ajusta a las exigencias del mercado, destacándose como una opción eficiente para la producción de curcumina, un compuesto con múltiples beneficios.

El proceso de extracción se desarrolla en varias etapas, comenzando con la agitación en un tanque, donde se logra una adecuada disolución de la curcumina en el solvente. El control de la temperatura y la relación entre el solvente y el material vegetal son factores críticos que influyen en la eficacia de la extracción. Posteriormente, la centrifugación por decantación permite una separación efectiva del disolvente de la fase sólida, garantizando así la pureza del extracto obtenido.

La concentración del extracto mediante un evaporador de película descendente asegura que se alcancen altas concentraciones de curcumina, mejorando su calidad para aplicaciones industriales. Finalmente, la recuperación del solvente mediante destilación no solo optimiza la economía del proceso al permitir la reutilización del etanol, sino que también contribuye a la sostenibilidad del método. En conjunto, estas etapas destacan la eficacia y la viabilidad del proceso de extracción de curcumina, proporcionando un marco sólido para su aplicación en la industria.

7. PROTOCOLO DE EXTRACCIÓN DE CURCUMINA

RECOMENDADO PARA PYMES EN COSTA RICA

El interés por la producción de curcumina ha crecido tanto en la industria alimentaria como en la farmacéutica y cosmética, donde se emplea como colorante natural y suplemento nutracéutico. Sin embargo, el proceso de extracción de curcumina requiere un enfoque eficiente y accesible que permita a las pequeñas y medianas empresas (Pymes) maximizar la calidad y rendimiento del producto sin necesidad de grandes inversiones. Por ello, se establece como protocolo de extracción de curcumina final el siguiente método que permite un control óptimo de las condiciones del proceso y es fácilmente replicable.

1. Preparación de materia prima y disolvente:

Antes de iniciar el proceso de extracción, es esencial que la materia prima cumpla con ciertos parámetros para optimizar la eficiencia en la extracción de curcumina. Estos parámetros incluyen las características del polvo de cúrcuma y la concentración del etanol utilizado.

Materia Prima: Se utiliza cúrcuma seca y molida, con menos del 10% de humedad con un tamaño de partícula entre 0.4 mm a 1 mm, aproximadamente 40 mesh (40 aberturas por pulgada cuadrada).

Disolvente: Se recomienda el uso de etanol, ya que es un disolvente seguro y aprobado para uso alimentario, en concentraciones del 70-95% según disponibilidad. Este rango permite extraer curcumina de manera eficiente y facilitar el manejo y recuperación del solvente. Entre mayor sea la concentración del disolvente, mayor extracción de curcumina se obtendrá.

2. Extracción líquida/sólido:

La extracción de curcumina se lleva a cabo en un tanque de agitación con paletas o un sistema de agitador mecánico para mantener una mezcla homogénea durante el proceso. La agitación constante ayuda a disolver la mayor cantidad posible de curcumina en el etanol, optimizando el rendimiento del proceso y la calidad del extracto.

- **Condiciones de Temperatura:** La temperatura de extracción se mantiene entre 35 y 60°C. Se evita superar los 65 °C para prevenir la degradación térmica de la curcumina, lo cual es crucial para mantener la calidad del extracto.
- **Tiempo de Extracción:** La mezcla se mantiene en agitación continua durante 12 a 48 horas, ajustando el tiempo en función del rendimiento deseado y la eficiencia del lote.

- **Equipo Utilizado:** Se recomienda utilizar un tanque de agitación de acero inoxidable para evitar la corrosión y asegurar la pureza del producto, con un sistema de agitación mecánico con paletas para mantener una mezcla homogénea durante el proceso. La capacidad del tanque puede ser de 1600 L o menor, dependiendo de la capacidad de producción de la planta.
- **Proporción Solvente/Materia prima:** En esta etapa, la cúrcuma se mezcla con etanol en una proporción de 10:1 a 20:1 (10 a 20 partes de disolvente por cada parte de cúrcuma) dentro de un tanque de agitación. Utilizando un tanque con una capacidad de 1600 L y manteniendo esta proporción de etanol a cúrcuma, es posible emplear entre 80 kg y 160 kg de cúrcuma seca y molida en cada ciclo de extracción; 80 kg de cúrcuma en 1600L etanol o 160 kg de cúrcuma en polvo en 1600 L de etanol.

3. Separación por centrifugación:

Una vez finalizado el tiempo de extracción, la mezcla se transfiere a una centrifuga para separar los sólidos (residuos de cúrcuma) del disolvente cargado de curcumina. Este paso no solo facilita la extracción, sino que también reduce las impurezas en el extracto final.

- **Equipo Requerido:** Se emplea una centrifuga decantadora que, mediante fuerza centrífuga, separa por diferencias de densidades la fase líquida (cargada de curcumina) de la fase sólida. Se recomienda que la centrifuga tenga capacidad de procesar 1600 L mínimo y que mantenga temperaturas inferiores a los 25°C para evitar la pérdida de curcumina por calor por 2 horas.

4. Concentración del extracto

En esta etapa, se realiza una evaporación del disolvente con el fin de concentrar la curcumina. Para obtener el extracto líquido de curcumina usando un rotavapor, es clave optimizar dos parámetros de destilación: temperatura y presión. La temperatura ideal para evaporar el etanol es alrededor 40°C a una presión de 100 mbar para evitar la degradación de la curcumina, hasta evaporar el etanol del extracto. Este método aísla eficazmente la curcumina de la cúrcuma, lo que mejora la concentración del pigmento deseado y minimiza la degradación térmica.

- **Equipo requerido:** El rotavapor utiliza un sistema de calentamiento eléctrico, a menudo con una cinta calefactora envuelta alrededor del frasco de destilación, para calentar suavemente la solución de etanol, promoviendo la evaporación sin degradar compuestos sensibles como la curcumina (El matraz de destilación se hace girar, aumentando el área de superficie del líquido y facilitando una evaporación más rápida del etanol debido al entorno de presión reducida creado por el sistema de vacío. Seguidamente, el etanol vaporizado se dirige a un condensador donde se enfría y vuelve a su forma líquida, lo que permite su recolección en un matraz receptor separado (Nandiyanto et al., 2017).

5. Almacenamiento final

Es importante preservar la calidad y las propiedades bioactivas de la curcumina para su uso en productos alimenticios, cosméticos o farmacéuticos. El extracto de curcumina concentrado se almacena en recipientes de vidrio oscuro o acero inoxidable, manteniéndolo en un ambiente fresco y sin luz directa para prevenir su degradación.

A continuación, se presenta en la figura 6 el diagrama de proceso, que muestra el prototipo de extracción de curcumina para pymes, mediante el método de extracción líquido-sólido.

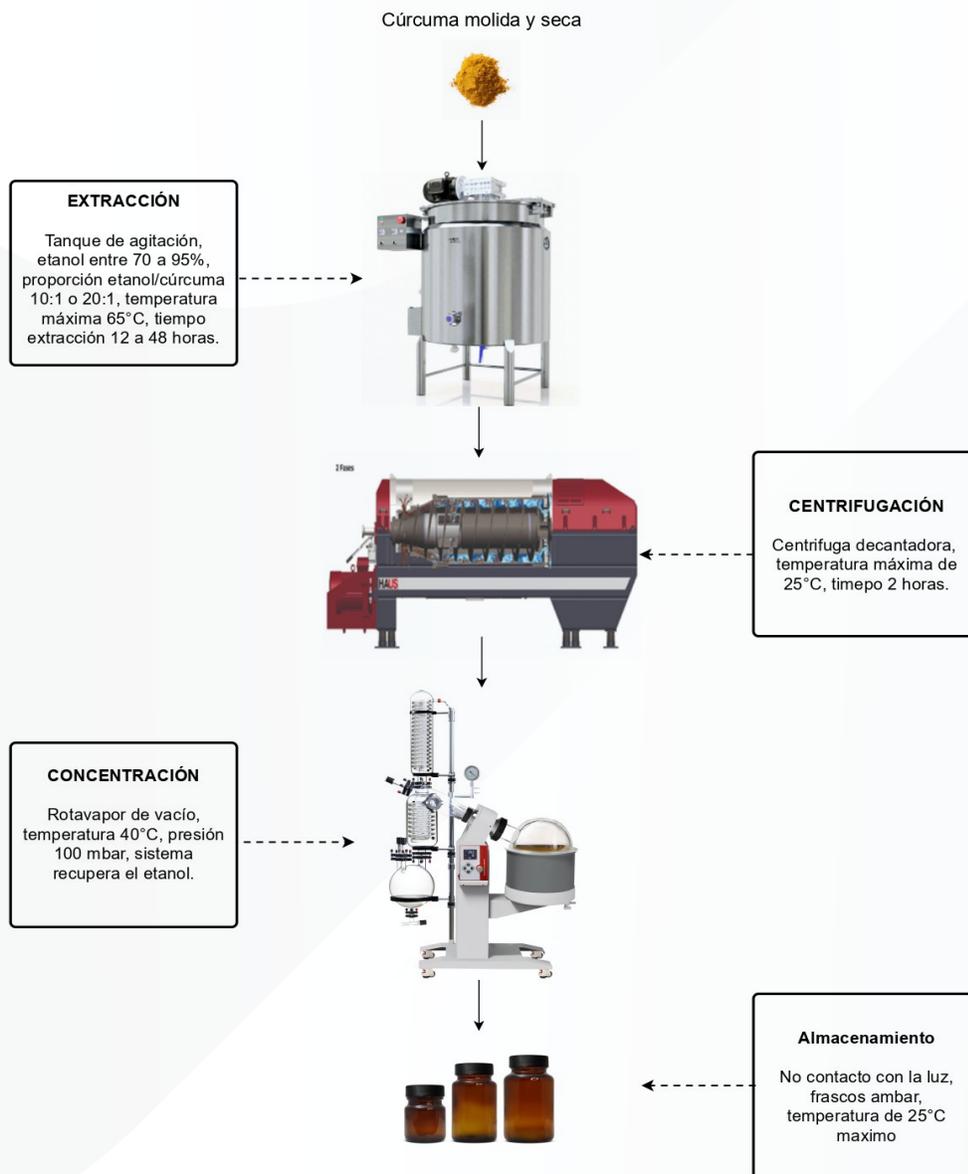
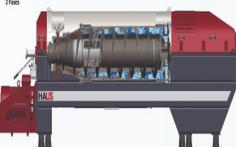


Figura 6. Prototipo del diagrama de proceso para la extracción de curcumina mediante el método de líquido-sólido, dirigido a pymes.

8. EQUIPOS DE EXTRACCIÓN QUE PUEDEN

EMPLEARSE A NIVEL INDUSTRIAL O A NIVEL PLANTA

Cuadro VII. Características principales, ventajas y desventajas de los equipos industriales que se pueden aplicar para aplicar un proceso de extracción a escala industrial.

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
<p>Tanque de agitación</p> <p>Fabricante: Pierre Guérin</p> <p>Modelo: 1620L</p> <p>Precio: 15 000 \$16740,75</p>	<ul style="list-style-type: none"> Equipo donde la cúrcuma en polvo se sumerge en el disolvente durante un tiempo prolongado con o sin calor, permitiendo que los principios activos del sólido se disuelvan en el solvente. De acero inoxidable para evitar la corrosión y asegurar la pureza del producto. Capacidad 1600 L. Sistema de agitación: agitadores de tres palas con motor. 3 pies de apoyo. Chaqueta de acero inoxidable 304 H y sistema de calentamiento. Fondo cónico. Dimensiones totales: 1100x3330 mm Altura de soporte respecto al suelo: 2000 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Mejor contacto entre solvente y la materia prima, debido a que la agitación facilita una mezcla homogénea entre la cúrcuma en polvo y el solvente y por ende una mejor extracción de curcumina. Estos tanques permiten el uso de diversos tipos de solventes y pueden ajustarse para diferentes condiciones de extracción. Puede automatizarse, permitiendo un mayor control del proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> La agitación constante requiere energía, lo que aumenta los costos operativos, especialmente si el proceso debe durar varias horas o días. Si el tanque de agitación no tiene control preciso de la temperatura o está expuesto a la luz, se podría degradar parte del compuesto activo durante el proceso de extracción. 	 
<p>Decantadores centrífugos</p> <p>Marca: HAUS</p> <p>Modelo F alimentario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Permite separar compuestos por diferencia de densidad. El producto se introduce en una cámara de alimentación que gira a alta velocidad. Dentro del tambor, las fases se separan por su diferencia de densidades: la fase sólida se precipita hacia las paredes del tambor y es transportada hacia la salida cónica mediante una hélice, mientras que la fase líquida se descarga por un extremo del tambor. La centrifuga decantadora consta de un tambor (bowl) que gira a altas rpm sobre un eje horizontal para aplicar una alta fuerza centrífuga (G) necesaria para proporcionar una separación sólido-líquido. Cuenta con un transportador espiral (sinfin) que gira con el tambor a cierta velocidad diferencial. Tiene un chasis (cuerpo) que lleva todas estas partes mencionadas anteriormente. Potencia de motor instalada: 9,7 kW / 11,5 kW 	<ul style="list-style-type: none"> La eficiente extracción de líquidos garantiza un gran rendimiento y una baja humedad en los sólidos descargados. Este sistema se adapta bien a diferentes tipos de sólidos y líquidos, desde sólidos gruesos hasta finos, y con líquidos de diferentes viscosidades. La velocidad diferencial permite que los sólidos sean transportados de manera continua hacia la salida sin intervención manual. La potencia permite un buen rendimiento para aplicaciones industriales, asegurando que el equipo pueda manejar materiales de alta densidad o grandes volúmenes. 	<ul style="list-style-type: none"> La potencia relativamente alta implica un consumo energético elevado, lo que puede incrementar los costos operativos. A pesar de su tamaño compacto, sigue siendo un equipo grande, lo que puede ser un desafío en instalaciones con espacio limitado. Dependencia del sistema eléctrico: una interrupción de la energía puede detener todo el proceso de separación. Si no está bien balanceado, el tambor puede generar vibraciones que afectan la estabilidad del equipo y la calidad de la separación 	 

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
--------	-----------------	----------	-------------	------------------------

Rotavapor

Marca: Buchi

Modelo: Rotavapor® R-250 Pro

- El instrumento es un evaporador rotatorio que ayuda a realizar una destilación de fase única rápidamente sin someter al producto a un estrés excesivo.
- El proceso se basa en la evaporación y condensación de disolventes en un matraz de evaporación rotatoria al vacío.
- El vapor pasa del matraz de evaporación a la sección de refrigeración a través del conducto de vapor.
- En la sección de refrigeración, la energía térmica del vapor se transfiere al líquido refrigerante y el vapor se condensa de nuevo.
- El disolvente obtenido se recoge en el matraz de evaporación y, después, se puede reutilizar.
- Tasa de destilación: hasta 30 L de acetona/hora
- Temperatura del baño calefactor: hasta un máximo de 180°C
- Tamaño de la muestra: 25L máx.

- Alta tasa de destilación; con una capacidad de hasta 30 L de acetona por hora, es para procesar grandes volúmenes de solvente adecuados rápidamente, optimizando el tiempo de operación en el laboratorio o la industria.
- La capacidad de hasta 25L permite trabajar con muestras de gran tamaño, ideal para escalas industriales o experimentos que requieren cantidades importantes de material.
- La destilación en fase única y al vacío ayuda a reducir la exposición de compuestos sensibles al calor, manteniendo la integridad de compuestos volátiles o termolábiles como la curcumina.

- Es un equipo de alta gama con un costo inicial elevado y posibles gastos adicionales en mantenimiento especializado, debido a sus avanzadas características técnicas.
- Aunque es eficiente, la operación de equipos de esta capacidad exige experiencia técnica para su ajuste y monitoreo óptimo, especialmente en configuraciones de vacío y temperatura.



Evaporador de película descendente

Modelo: FFE-500

Marca: Laboao

Precio aprox: \$73,846

- Es ideal para procesar líquidos de proceso de viscosidad baja a media a capacidad, 500L / h (etanol).
- La evaporación tiene lugar dentro de los tubos verticales, lo que se denomina intercambiador de calor de carcasa y tubos, coronado por un dispositivo de distribución de fluidos
- Eficiencia de recuperación de solvente de una sola pasada del 90% al 95%.
- La distribución uniforme del líquido y la adecuada humectación reducen el ensuciamiento, la frecuencia de limpieza.
- Monitoreo en tiempo real del nivel de vacío, temperatura y velocidad de alimentación.
- El etanol forma una fina capa sobre las paredes internas mientras fluye hacia abajo. Esto maximiza la superficie de contacto entre el líquido y el calor, facilitando una evaporación rápida y eficiente del etanol con menor consumo energético.

- Bajos requisitos de mantenimiento debido a las bajas temperaturas y la alta eficiencia de transferencia de calor, que reducen las incrustaciones.
- Compatible con múltiples solventes, como etanol, hexano, heptano, etc.
- Opera de manera continua.
- El diseño de película descendente requiere menos energía para evaporar el solvente debido a la mayor eficiencia térmica del sistema. Esto se traduce en costos operativos más bajos.

- Debido a su diseño y a los componentes mecánicos que están en constante operación, el sistema puede requerir un mantenimiento especializado y técnico regular, lo que aumenta los costos operativos y puede provocar paradas no planificadas si no se gestiona correctamente.
- Aunque el evaporador de película descendente es más eficiente energéticamente que otros métodos, aún puede implicar un consumo considerable de energía, especialmente si el sistema requiere operaciones continuas o si se trabaja con grandes volúmenes de etanol.



EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
--------	-----------------	----------	-------------	------------------------

Planta de extracción móvil.

Marca:
Schrader

Modelo:
1620L

Precio para capacidad de 100 L:
\$214,341.93

Precio para capacidad de 50 L:
\$200,268.98

- Extractor de volumen: 50 litros o 100 litros
- Presión de funcionamiento: de -1 a 3 bar
- Temperatura de funcionamiento: de 10 a 130 °C
- Material (en contacto con el producto): 1.4404 o equivalente, superficie Ra <= 0,8 m
- Disolvente: solo disolvente polar.
- Armario de control: no apto para zonas Explosivas, conexión al sistema mediante un cable (10 m) con conector incluido en el suministro
- Equipo de medición: temperatura, presión, caudal
- Dimensiones de aprox. 1760 x 1560 x 2335 mm (ancho x profundo x alto), de modo que cualquier transporte es posible sin problemas.
- Cuenta con entrada de disolvente, salida de producto, flujo y retorno de agua caliente, entrada de vapor, agujero de mano para suministro de sólidos.

- Circulación reversible del disolvente
- Extracción en frío y en caliente
- Caudal variable
- Materiales cumplen con FDA.
- Extractos sin residuos de filtración.

- Alto consumo energético.
- Se debe trabajar con lotes continuos de procesamiento



Planta Piloto de extracción sólido Líquido.

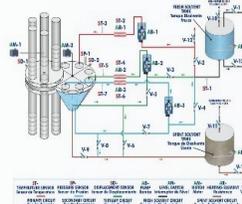
Marca:
Edibon

Precio aprox:
\$186,120.00

- Consiste en una instalación a escala piloto que permite la extracción de solutos de una matriz sólida empleando diferentes tipos de disolventes y con unas condiciones de operación variables, lo que confiere al equipo una gran versatilidad. Esta planta piloto incluye un elevado número de sensores y actuadores que permiten variar la temperatura de operación, el tipo de disolvente, el caudal de disolvente y el tiempo de residencia.
- Controlada desde Computador (PC) y Pantalla Táctil, "SLE00", permite la separación de un soluto de su matriz sólida gracias al contacto directo con un disolvente adecuado.

- Adaptabilidad a diferentes solventes
- Alta precisión y monitoreo de sensores.
- Materiales de alta durabilidad.
- Optimización del uso de solventes
- Facilidad de mantenimiento y limpieza.
- Control automatizado preciso.
- Extracción eficiente.

- Costo elevado de operación (consumo energético) y mantenimiento.
- Complejidad de la operación
- Se debe trabajar con lotes continuos de procesamiento.
- Este equipo tiene una capacidad de depósito de disolvente de 50 litros y el sistema de alimentación de 5 columnas con hasta 90 recipientes de 200 cm³ por tamiz pueden no ser suficientes para procesar volúmenes mayores a esa.



EQUIPO**CARACTERÍSTICAS****VENTAJAS****DESVENTAJAS****REPRESENTACIÓN GRÁFICA****Extractor sólido-líquido Arfiel-UOP4MKII-A****Proveedor:**
TecnoEdu**Precio aprox:**
\$194,820.00

- Es un sistema de extracción sólido/líquido es un recipiente de extracción dividido en compartimentos en rotación continua.
- La materia prima se alimenta a estos compartimentos desde la tolva de entrada usando tornillo sin fin. El material pasa luego por debajo de tres barras de aspersión de disolvente, una para cada etapa del proceso, y el producto disuelto es recogido en tres compartimentos de drenaje.
- Se proporcionan bombas para cada etapa para bombear el producto desde el compartimiento de drenaje de una etapa al aspersor de la etapa siguiente. Al final del proceso, el material portador agotado cae en un recipiente de recogida.
- Temperatura del disolvente: Desde temperatura ambiente a 50°C, controlable individualmente.
- Suministro eléctrico monofásico, 220-240V, 50Hz/13ª

- Permite realizar una extracción multi-etapa por percolación en circuito cerrado (extracción por lotes) así como circuito abierto (operación continua).
- Control automatizado preciso.
- Cuenta con Controles de temperatura en cada etapa.
- Control individual de las bombas de alimentación de solvente en cada etapa, de la velocidad de rotación de la célula y de la tasa de alimentación.
- Recirculación del solvente.
- Control preciso de temperatura y operación automatizada de sensores.

- Capacidad de 0.16 L de los compartimentos del recipiente.
- Baja velocidad de rotación (4 rpm por hora).
- Caudal máximo de 13.5 L/hora podría ser insuficiente para aplicaciones que requieran un mayor volumen de disolvente para lograr una extracción eficiente.
- Dependencia de un suministro eléctrico monofásico.
- Presenta limitaciones en capacidad y velocidad de procesamiento por ser un equipo piloto.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bener, M., Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of curcumin from *Curcuma longa* L. (Turmeric) and evaluation of antioxidant Activity in Multi-Test systems. *Records of Natural Products*, 10(5), 542-554.
2. Blandón, S., & Ponce, C. (2021). Extracción de oleorresina de cúrcuma (*cúrcuma longa*) utilizando etanol como solvente. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 11(2), 48-58. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v11i2.13028>
3. Chittasupho, C., Manthaisong, A., Okonogi, S., Tadtong, S., y Samee, W. (2021). Effects of Quercetin and Curcumin Combination on Antibacterial, Antioxidant, In Vitro Wound Healing and Migration of Human Dermal Fibroblast Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(1), 142. doi: 10.3390/ijms23010142.
4. Ciuca, M. D., & Racovita, R. C. (2023a). Curcumin: Overview of Extraction Methods, Health Benefits, and Encapsulation and Delivery Using Microemulsions and Nanoemulsions. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 24, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/ijms24108874>
5. Ciuca, M. D., & Racovita, R. C. (2023b). Curcumin: Overview of Extraction Methods, Health Benefits, and Encapsulation and Delivery Using Microemulsions and Nanoemulsions. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 24, Issue 10). <https://doi.org/10.3390/ijms24108874>
6. Clayton, D.J., Burbeary, R., Parker, C., James, R.M., Saward, C., Procter, E.L., Mode W.J.A., Baker, C., Hough, J., Williams, N.C., Rossington, H. y Varley, I. (2024). Combined Turmeric, Vitamin C, and Vitamin D Ready-to-Drink Supplements Reduce Upper Respiratory Illness Symptoms and Gastrointestinal Discomfort in Elite Male Football Players. *Nutrients*, 16(2), 243. doi: 10.3390/nu16020243
7. Corrêa Carvalho, G., Marena, G. D., Gaspar Gonçalves Fernandes, M., Ricci Leonardi, G., Santos, H. A., & Chorilli, M. (2024). Curcuma Longa: Nutraceutical Use and Association With Nanotechnology. *Advanced Healthcare Materials*, 2400506. <https://doi.org/10.1002/adhm.202400506>
8. CFR - Code of Federal Regulations Title 21. (s. f.). <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm?fr=184.1293>
9. CFR - Code of Federal Regulations Title 21. (s. f.-b). <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm?fr=175.320&SearchTerm=acetone>
10. Doldolova, K., Bener, M., Lalikoglu, M., Asçı, Y. S., Arat, R., & Apak, R. (2021). Optimization and modeling of microwave-assisted extraction of curcumin and antioxidant compounds from turmeric by using natural deep eutectic solvents. *Food Chemistry*, 353(January). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129337>
11. Dutta, B. (2015). Study of secondary metabolite constituents and curcumin contents of six different species of genus *Curcuma*. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 3(5), 116-119.
12. El-Saadony, M. T., Yang, T., Korma, S. A., Sitohy, M., El-Mageed, T. A. A., Selim, S., Jaouni, S. K. A., Salem, H. M., Mahmmud, Y., Soliman, S. M., Mo'men, S. A. A., Mosa, W. F. A., El-Wafai, N. A., Abou-Aly, H. E., Sitohy, B., El-Hack, M. E. A., El-Tarabily, K. A. y Saad, A. M. (2023). Impacts of turmeric and its principal bioactive curcumin on human health: Pharmaceutical, medicinal, and food applications: A comprehensive review. *Frontiers In Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1040259>

13. Ethanol - Chemical safety facts. (2022, 14 octubre). Chemical Safety Facts. <https://www.chemicalsafetyfacts.org/chemicals/ethanol/#:~:text=Because%20ethanol%20is%20a%20very,for%20use%20in%20food%20products.>
14. Euterpio, M. A., Cavaliere, C., Capriotti, A. L., & Crescenzi, C. (2011). Extending the applicability of pressurized hot water extraction to compounds exhibiting limited water solubility by pH control: Curcumin from the turmeric rhizome. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 401(9), 2977-2985. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-5383-7>
15. Feng, T., Wei, Y., Lee, R. y Zhao, L. (2017). Liposomal curcumin and its application in cancer. *International Journal Of Nanomedicine*, Volume 12, 6027-6044. <https://doi.org/10.2147/ijn.s132434>
16. Gan, H., Charters, E., Driscoll, R., & Srzednicki, G. (2017). Effects of Drying and Blanching on the Retention of Bioactive Compounds in Ginger and Turmeric. *Horticulturae*, 3(1). <https://doi.org/10.3390/horticulturae3010013>
17. González, N., Márquez, F. y Ramírez, J. (2016). Efecto del resveratrol y la curcumina sobre parámetros antropométricos y niveles de colesterol y triglicéridos sanguíneos en ratones diabéticos DB/DB. *Ciencias de la salud*, 2 (1). <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1023>
18. Huber, V., Muller, L., Degot, P., Touraud, D., & Kunz, W. (2021). NADES-based surfactant-free microemulsions for solubilization and extraction of curcumin from *Curcuma Longa*. *Food Chemistry*, 355, 129624. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129624>
19. ICSC 0057 - METANOL. (s. f.). https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_version=2&p_card_id=0057&p_lang=es
20. ICSC 0279 - N-HEXANO. (s. f.). https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0279&p_version=2#:~:text=El%20contacto%20prolongado%20o%20repetido,t%C3%B3xicos%20en%20la%20reproducci%C3%B3n%20humana.
21. Jayaprakasha, G. K., Nagana Gowda, G. A., Marquez, S., & Patil, B. S. (2013). Rapid separation and quantitation of curcuminoids combining pseudo two-dimensional liquid flash chromatography and NMR spectroscopy. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 937, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2013.08.011>
22. Jiang, T., Ghosh, R., & Charcosset, C. (2021). Extraction , purification and applications of curcumin from plant materials-A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 112(April), 419-430. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.015>
23. Kwon, H., & Chung, M. (2015). Pilot-scale subcritical solvent extraction of curcuminoids from *Curcuma long L.* *FOOD CHEMISTRY*, 185, 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.114>
24. Macías, E., García, J., Cisneros, I., & García, S. (2023). Evaluación de los métodos de extracción de curcumina de la cúrcuma (*Curcuma longa*). *Revista Científica "INGENIAR,"* 6(12), 2737-6249.
25. Mo, Z., Yuan, J., Guan, X., & Peng, J. (2024). Advancements in Dermatological Applications of Curcumin: Clinical Efficacy and Mechanistic Insights in the Management of Skin Disorders. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 17(May), 1083-1092. <https://doi.org/10.2147/CCID.S467442>
26. Nandiyanto, S., Mishra, A., & Dutta, A. K. (2016). Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016). *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
27. Ortega, E., & Pérez, S. (2011). Solid-liquid separations in the food industry: Operating aspects and relevant applications. *Journal of Food and nutrition Research*. 50 (2). pp.86-105.

28. Park, J., Do, S., Lee, M., Ha, S., & Lee, K. G. (2022). Preparation of turmeric powder with various extraction and drying methods. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00307-1>
29. Paulucci, V. P., Couto, R. O., Teixeira, C. C. C., & Freitas, L. A. P. (2013). Optimization of the extraction of curcumin from *Curcuma longa* rhizomes. *Revista Brasileira de Farmacognosia - Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 23(1), 94-100. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000117>
30. Popuri, A. K., & Pagala, B. (2013). Extraction of curcumin from turmeric roots. *International Journal of Innovative Research Study*, 2(5), 289-299.
31. Priyadarsini, K. (2014). The chemistry of curcumin: From extraction to therapeutic agent. *Molecules*, 19(12), 20091-20112. <https://doi.org/10.3390/molecules191220091>
32. Roy, S., & Rhim, J. (2019). Preparation of antimicrobial and antioxidant gelatin/curcumin composite films for active food packaging application. *Colloids And Surfaces B Biointerfaces*, 188, 110761. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110761>
33. Sahne, F., Mohammadi, M., Najafpour, G. D., & Moghadamnia, A. A. (2016). Extraction of bioactive compound curcumin from turmeric (*Curcuma longa* L.) via different routes: A comparative study. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 13(3), 173-180.
34. Shirsath, S., Sable, S., Gaikwad, S., Sonawane, S., Saini, D. R., & Gogate, P. R. (2017). Intensification of extraction of curcumin from *Curcuma amada* using ultrasound assisted approach: Effect of different operating parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38(December 2016), 437-445. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.03.040>
35. Singh, K., Srichairatanakool, S., Chewonarin, T., Prommaban, A., Samakradhamrongthai, R. S., Brennan, M. A., Brennan, C. S., & Utama-ang, N. (2022). Impact of Green Extraction on Curcuminoid Content, Antioxidant Activities and Anti-Cancer Efficiency (In Vitro) from Turmeric Rhizomes (*Curcuma longa* L.). *Foods*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/foods11223633>
36. Sogi, D. S., Sharma, S., Oberoi, D. P. S., & Wani, I. A. (2010). Effect of extraction parameters on curcumin yield from turmeric. *Journal of Food Science and Technology*, 47(3), 300-304. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0047-8>
37. Stanciu, I. (2020). Utilization of Dyes from Local Plant Materials-Baphia nitida (Red and Yellow Camwood), *Curcuma longa* (Turmeric) and *Tectona grandis* (Teak leaves) as Fabric dyes. *Oriental Journal of Chemistry*, 36(03), 556-562. <https://doi.org/10.13005/ojc/360328>
38. Vyshali, V., Jyotsna, N. L., Bakshi, V., Ismail, S., & Mohanty, D. (2021). Optimization of Extraction of Curcuminoids from Turmeric Powder (*Curcuma longa*). *Research Pharm and Tech*, 14(September), 4615-4621. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2021.00802>
39. Wakte, P. S., Sachin, B. S., Patil, A. A., Mohato, D. M., Band, T. H., & Shinde, D. B. (2011). Optimization of microwave, ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. *Separation and Purification Technology*, 79(1), 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.03.010>
40. WHO | JECFA. (s. f.). <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/Home/Chemical/2414>