

Biotecnología agropecuaria aplicada

Leandris Argentel-Martínez
Ofelda Peñuelas-Rubio
Lucila Perales-Aguilar
Ugur Azizoglu
Editores



Pantanal Editora

2024

Leandris Argentel-Martínez
Ofelda Peñuelas-Rubio
Lucila Perales-Aguilar
Ugur Azizoglu
Editores

Biotecnología agropecuaria aplicada



Pantanal Editora

2024

Copyright© Pantanal Editora

Editor Jefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Ejecutivos: Dr. Jorge González Aguilera y Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diseño: El editor. **Diseño y arte:** el editor. Imágenes de portada y contraportada: Canva.com. **Reseña:** Autor(es), organizador(es) y editor.

Consejo editorial

Grado académico y nombre

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Prof. MSc. Adriana Flávia Neu
Prof. Dra. Allys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Prof. MSc. Aris Verdecia Peña
Prof. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Prof. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Prof. Dra. Denise Silva Nogueira
Prof. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Prof. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Prof. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Prof. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Prof. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Prof. Dra. Patrícia Maurer
Prof. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Prof. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
MSc. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Prof. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Institución

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Consejo Científico Técnico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Hoja de catálogo

Catalogación en publicación
Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

B616

Biotecnología agropecuaria aplicada / Edición de Leandris ArgenteL-Martínez, Ofelda PeñueLas-Rubio, Lucila Perales-Aguilar, Ugur Azizoglu. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2024.
203p. ; il.

Reserva en PDF

ISBN 978-65-85756-36-5

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756365>

1. Biotecnología en la agricultura. 2. Microorganismos. I. ArgenteL-Martínez, Leandris (Editores). II. PeñueLas-Rubio, Ofelda (Editores). III. Lucila Perales-Aguilar (Editores). IV. Azizoglu, Ugur (Editores). V. Título.

CDD 631.52

Índice del catálogo sistemático

I. Biotecnología en la agricultura



Nuestros libros electrónicos son gratuitos y se permite el acceso público, la descarga y el intercambio, pero solicitamos que se dé el debido crédito a Pantanal Editora y también a los organizadores y autores. Sin embargo, no se permite el uso de libros electrónicos con fines comerciales, salvo autorización expresa de los autores y acuerdo de Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Presentación

Sin duda, la biotecnología representa una de las áreas científicas de mayor avance y aplicación en la actualidad. Aun cuando sus inicios fueron hace miles de años, con la obtención de cerveza y queso, gracias al avance científico-tecnológico en las ciencias relacionadas con la biología, se ha potenciado la rama agropecuaria.

En México, considerando que las actividades de producción agrícola y pecuaria son primordiales para el desarrollo del país, existe gran interés de la comunidad científica para buscar alternativas que den solución a los problemas más relevantes que limitan la producción de alimentos.

El presente compendio científico “**Biología agropecuaria aplicada**” aborda temas relevantes del área agropecuaria. Se hace énfasis en el aprovechamiento de microorganismos bacterianos y fúngicos y su potencial uso en los agroecosistemas. Estas aplicaciones con la finalidad de promover prácticas sustentables de producción, desde la promoción del crecimiento vegetal en condiciones ambientales adversas, el biocontrol de fitopatógenos y malezas, así como la biorremediación. También se exploran metodologías novedosas para la obtención de compuestos antioxidantes y antifúngicos. Además, se presentan avances en la elaboración de nuevos alimentos para la producción acuícola, como alternativas para la nutrición efectiva.

Los trabajos aquí presentados constituyen evidencias de los pasos sólidos que dan los diferentes grupos de investigación nacionales e internacionales del área de la biología agropecuaria. Se agradece la participación de los autores que pertenecen al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII-CONAHCYT) de los Estados Unidos Mexicanos.

Los Autores


Resumen

Presentación	4
Capítulo 1	6
Perspectivas de la aplicación del microbioma bacteriano de <i>Parkinsonia aculeata</i> en suelos salinos	6
Capítulo 2	17
Microorganismos promotores del crecimiento vegetal y yeso agrícola en el cultivo de uva industrial variedad <i>Cabernet sauvignon</i> , Valle del Yaqui	17
Capítulo 3	26
Efecto de pulsos ultrasónicos en la extracción de compuestos antioxidantes y antifúngicos en <i>Euphorbia prostrata</i> (golondrina)	26
Capítulo 4	36
Evaluación de la sustitución parcial de harina de pescado por harina de <i>Amaranthus hybridus</i> para cultivo de tilapia (<i>Oreochromis aureus</i>)	36
Capítulo 5	48
Potencial del género <i>Pleurotus</i> como agente biorremediador en la eliminación de metales pesados de suelos: un enfoque biotecnológico para la agricultura sostenible	48
Capítulo 6	59
El papel de las bacterias quitinolíticas en interacciones planta-patógeno y su potencial empleo biotecnológico en la agricultura	59
Capítulo 7	71
Avances en el desarrollo de micoherbicidas para el manejo agroecológico de la correhuela (<i>Convolvulus arvensis</i> L.) en la agricultura	71
Capítulo 8	84
Caracterización fisicoquímica parcial de la harina de grillo domestico <i>Acheta domesticus</i> como ingrediente novedoso en formulaciones	84
Capítulo 9	93
El género <i>Bacillus</i> como aliado en la agricultura sostenible	93
Capítulo 10	114
<i>Trichoderma</i> , bioinsumo para la agricultura sustentable y protegida	114
Capítulo 11	135
El papel de la Agrobiotecnología en la Agricultura	135
Capítulo 12	148
Cromatografía: Una técnica esencial en la Biotecnología Agropecuaria	148
Capítulo 13	186
Propagación <i>in vitro</i> de Cactáceas y Agaváceas tolerantes a metales pesados en el suelo	186
Índice Remissivo	202
Editores	203


Cromatografía: Una técnica esencial en la Biotecnología Agropecuaria

Recibido en: 27/07/2024


Aprobado en: 02/07/2024

 10.46420/9786585756365cap12


Olga Lidia Rivera-Dávila 

Ernesto González-Gaona 

Karla Vanessa De Lira-Ramos 

Lucila Perales-Aguilar 

Apolinar Velarde-Martínez 

José Mario Miranda-Ramírez 

RESUMEN

La biotecnología agropecuaria es una disciplina esencial que abarca el uso de organismos vivos y sus componentes para mejorar la producción agrícola y ganadera. Dentro de este campo, la cromatografía ha emergido como una técnica crucial para el análisis y purificación de diversos compuestos biológicos, permitiendo la identificación y cuantificación de compuestos bioactivos, esenciales para el desarrollo de soluciones innovadoras en agricultura y ganadería. La cromatografía es una técnica esencial en la biotecnología moderna, utilizada para la separación, purificación y análisis de biomoléculas, desde su invención, esta técnica ha evolucionado considerablemente, permitiendo a los científicos abordar desafíos complejos en la investigación y producción biotecnológica. Este capítulo explora en profundidad cómo se utiliza la cromatografía en la biotecnología agropecuaria, detallando sus principios, tipos, aplicaciones específicas y estudios de caso relevantes.

INTRODUCCIÓN

La cromatografía tiene un gran impacto en todos los ámbitos del análisis y, por tanto, en el progreso de la ciencia en general. La cromatografía se diferencia de otros métodos de separación en que se puede utilizar una amplia variedad de materiales, equipos y técnicas (Ismail, 2017). La cromatografía es una herramienta indispensable en la biotecnología agropecuaria, proporcionando métodos precisos y fiables para el análisis y purificación de una amplia variedad de compuestos biológicos. Cualquier método bioanalítico incluye varios pasos, siendo todos ellos importantes para lograr resultados confiables. El primer paso es tomar alícuotas de muestras para el análisis, seguido del procedimiento de extracción y limpieza de la muestra, análisis cromatográfico y detección (Nováková & Vlčková, 2009). Los principios generales de extracción se describen primero como base para comprender la cromatografía.

Principios de la cromatografía

Cromatografía es un término general aplicado a una amplia variedad de técnicas de separación basadas en la distribución (partición) de una muestra (soluto) entre una fase móvil y una fase fija o estacionaria. Puede verse como una serie de equilibrios entre la fase móvil y estacionaria. La interacción relativa de un soluto con estas dos fases se describe mediante el coeficiente de partición (K) o distribución (D) (relación entre la concentración de soluto en la fase estacionaria y la concentración de soluto en la fase móvil). La fase móvil puede ser gaseosa, líquida o un fluido supercrítico. La fase estacionaria puede ser un líquido o sólido (Ismail, 2017). La cromatografía, en el ámbito más general, se clasifica según la fase móvil utilizada, cuando la fase móvil es un gas se le nombra cromatografía de gases, cuando la fase móvil es un líquido se le conoce como cromatografía de líquidos y también encontramos a la cromatografía de fluidos supercríticos. El campo de la cromatografía también se puede subdividir según las diversas técnicas aplicadas o según los principios fisicoquímicos implicados en la separación (Figura 1).

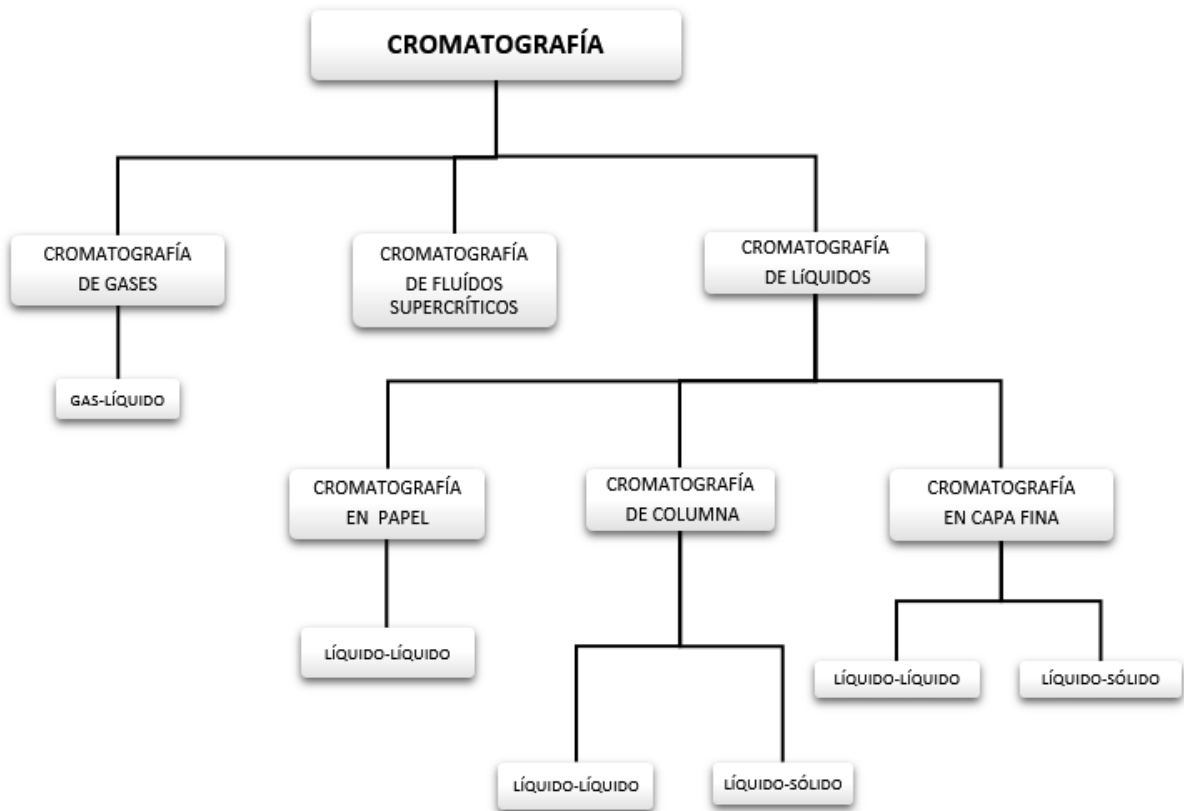


Figura 1. Subdivisiones de la cromatografía, según la técnica aplicada. Fuente: Ismail (2017).

Separación

Varios principios fisicoquímicos están involucrados en los mecanismos cromatográficos empleados para separar los diversos compuestos de interés, independientemente de las técnicas específicas aplicadas. Hay que destacar que en una separación puede intervenir más de un mecanismo. Cabe resaltar que, entre la fase móvil, la muestra (soluta) y la fase estacionaria debe de originarse una reacción de interacción y no una reacción química (cambio molecular). Entre los tres componentes del sistema cromatográfico no debe ocurrir una reacción química, por lo que cada uno de sus componentes deberá mantener su identidad y propiedades químicas.

Principios fisicoquímicos de la separación

Adsorción (líquido-sólido)

En este tipo de interacción, la fase estacionaria, también llamado adsorbente, se elige para permitir la interacción diferencial con los componentes de la muestra a resolver. La fase estacionaria es un sólido finamente dividido para maximizar el área superficial. Las principales fuerzas intermoleculares responsables de la adsorción cromatográfica incluyen: fuerzas de van der Waals, fuerzas electrostáticas, interacciones hidrofóbicas y enlaces por puentes de hidrógeno (Snyder & Dolan, 2023). La adsorción es un proceso dependiente de la concentración y el coeficiente de adsorción no es una constante.

La cromatografía de adsorción clásica utiliza principalmente sílice, alúmina o carbón vegetal (no polar). Tanto la sílice como la alúmina son adsorbentes polares, poseen grupos hidroxilo en la superficie. El orden de elución de los compuestos de estas fases estacionarias adsorbentes a menudo puede predecirse basándose en sus polaridades relativas. Los compuestos con los grupos funcionales más polares se retienen con mayor fuerza en los adsorbentes polares y, por lo tanto, eluyen en último lugar, o sea, se mantienen por más tiempo en la fase estacionaria. Primero se eluyen los solutos no polares (con menos afinidad con la fase estacionaria) Por lo tanto, para lograr la separación del compuesto de interés, se deberá utilizar una fase móvil con poca afinidad con la fase estacionaria (Dongare et al., 2023).

La fase estacionaria líquida también puede estar unida covalentemente a un soporte mediante una reacción química. Estas fases unidas se han vuelto muy populares para el uso de HPLC y ahora está disponible una amplia variedad de fases estacionarias polares y no polares. Se utiliza ampliamente la HPLC de fase inversa, con una fase estacionaria unida no polar (sílice unida con grupos C8 o C18) y un disolvente polar (agua-acetonitrilo) (Gupta & Biswas, 2023).

La cromatografía de adsorción se puede utilizar para separar compuestos aromáticos o alifáticos no polares, basándose principalmente en el tipo y número de grupos funcionales presentes. Los pigmentos carotenoides y clorofila lábiles y liposolubles de las plantas se han estudiado ampliamente mediante cromatografía en columna de adsorción.

Partición (líquido-líquido)

En este tipo de interacción, la fase estacionaria es un líquido inmóvil, mientras que la fase móvil es un segundo líquido, un disolvente inmiscible que fluye a través de la fase inmóvil, proporcionando así un contacto íntimo entre las dos fases. Los solutos se dividen entre las dos fases líquidas según sus coeficientes de partición. En la cromatografía de partición, dependiendo de las características de los compuestos a separar, se puede variar la naturaleza de las dos fases líquidas, generalmente mediante combinación de disolventes o ajuste del pH de los tampones. A menudo, el más polar de los dos líquidos se mantiene estacionario sobre un soporte inerte y el disolvente menos polar se utiliza para eluir los componentes de la muestra, pero puede utilizarse de la forma inversa (utilizando una fase estacionaria no polar y una fase móvil polar) (Dayani et al., 2024).

La cromatografía de partición líquido-líquido ha sido de gran valor para la química de los carbohidratos. La cromatografía líquida en columna sobre celulosa finamente dividida se ha utilizado ampliamente en la cromatografía preparativa de azúcares y sus derivados (Bharani et al., 2024). De la misma forma, la fase estacionaria puede ser un líquido sobre una matriz sólida. El soporte sólido debe ser inerte o lo más inerte posible y tener una gran superficie de contacto para maximizar la cantidad de líquido retenido y tiene que ser capaz de retener una fina película de agua, que sirve como fase estacionaria. Algunos ejemplos de soportes sólidos que se han utilizado son sílice, almidón, celulosa en polvo y perlas de vidrio (Martins et al., 2024).

La Tabla 1 resume algunos de los procedimientos o métodos cromatográficos que se han desarrollado en base a diferentes combinaciones de fases móvil-estacionaria. Dado que la naturaleza de las interacciones entre las moléculas del soluto y las fases móvil o estacionaria difiere, estos métodos tienen la capacidad de separar diferentes tipos de moléculas.

Tabla 1. Características de los diferentes métodos cromatográficos. Fuente: Adaptado de Heftmann (2004).

Método	Fase móvil	Fase estacionaria	Características de separación
Cromatografía Gas-Líquido	Gas	Líquido	Tamaño molecular/Polaridad
Cromatografía Gas-Sólido	Gas	Sólido	Tamaño molecular/Polaridad
Cromatografía de Fluidos Supercríticos	Fluido Supercrítico	Sólido	Tamaño molecular/Polaridad
Cromatografía Líquida Fase Reversa	Líquido Polar	Sólido o líquido no polar	Tamaño molecular/Polaridad
Cromatografía Líquida Fase Normal	Líquido menos Polar	Sólido o líquido polar	Tamaño molecular/Polaridad
Cromatografía de Intercambio Iónico	Sólido o Líquido Iónico	Sólido Iónico	Carga molecular
Cromatografía de Exclusión	Líquido	Sólido	Tamaño molecular
Cromatografía de Interacción Hidrofóbica	Líquido Polar	Sólido o líquido no polar	Tamaño molecular/Polaridad
Cromatografía de Afinidad	Agua	Sitios de unión	Estructura específica

Extracción

En su forma más simple, la extracción se refiere a la transferencia de un soluto de una fase líquida o sólida a otra para separarla de ésta (Jisha et al., 2023). La extracción en innumerables formas es parte integral de la biotecnología, ya sea que se utilice para la limpieza preliminar de la muestra, la concentración del componente de interés o como medio del análisis real. Existen varios métodos de extracción, la extracción con solventes (líquido-líquido), que pueden clasificarse como procesos discontinuos, continuos o contracorriente, la extracción acelerada con solventes y la extracción en fase sólida.

Métodos de extracción

La extracción de los analitos de la matriz es uno de los pasos principales en la preparación de la muestra. Actualmente existen numerosas técnicas de extracción basadas en diferentes principios fisicoquímicos. Los compuestos a extraer y la cantidad a la que se van a extraer depende de la técnica utilizada. Lo más importante es tener la información que te permita elegir la técnica de extracción a utilizar. También es importante conocer la matriz que se analizará. Por ejemplo, si se quiere trabajar con compuestos altamente volátiles, las técnicas de destilación o de espacio de cabeza (HS) son las más adecuadas. Para utilizar los métodos de extracción SPE (Extracción en fase sólida) y ELL (extracción líquido-líquido), SPME (microextracción en fase sólida) y SBSE (extracción con barra agitadora) se debe conocer la solubilidad de los compuestos a analizar, su polaridad e información sobre la absorción de los analitos (Costa-Freitas et al., 2012).

Extracción líquido-líquido

Extracción por lotes

En la extracción por lotes, el soluto se extrae de un disolvente agitándolo con un segundo disolvente inmiscible. Después de agitar, se dejan separar las fases y se retira la capa que contiene el componente deseado. El soluto se divide o distribuye entre las dos fases (coeficiente de partición, K):

$$K = \frac{\text{Concentración del soluto en la fase 1}}{\text{Concentración del soluto en la fase 2}}$$

En la extracción por lotes, a menudo es difícil obtener una separación completa por lo que, se recomienda repetir el proceso de extracción varias veces o realizar un proceso de extracción en serie, para extraer la mayor cantidad de soluto posible (Ismail, 2017).

Extracción continua

En este tipo de extracción el disolvente se recicla de modo que el sólido se extrae repetidamente con un disolvente nuevo. La extracción continua requiere aparatos especiales, pero es más eficiente que la separación por lotes. Se han diseñado equipos para la extracción continua de sustancias de líquidos y/o sólidos, y se utilizan diferentes extractores para disolventes más pesados o más ligeros que el agua. Un ejemplo de extracción continua es el uso de un extractor Soxhlet para extraer grasa de sólidos utilizando disolventes orgánicos (Kanu, 2021).

Extracción en Fase Sólida

La extracción en fase sólida (SPE, por sus siglas en inglés) es una técnica que implica eliminar analitos o eliminar interferencias de una matriz compleja. Se puede aplicar para aislar compuestos volátiles de matrices acuosas. Actualmente es muy utilizado en el análisis de compuestos volátiles (Li et al., 2006). La selectividad de la extracción y, por tanto, la separación del analito de interés del resto de componentes de la muestra, depende de la naturaleza de la muestra, el disolvente y el tipo de adsorbente utilizado (Castro-Mejías et al., 2008; Li et al., 2017). La SPE es una herramienta versátil y eficaz que mejora la precisión y la eficiencia en el análisis de muestras complejas, permitiendo una mejor detección y cuantificación de los analitos de interés.

La SPE se basa en la retención selectiva de analitos en un material adsorbente (fase estacionaria), y su posterior elución con un disolvente que presenta mayor afinidad por los analitos que por el adsorbente. Este proceso permite la separación, purificación y concentración de analitos específicos de una matriz compleja (Andrade-Eiroa et al., 2016). En la Figura 2 se observan los mecanismos de separación de una mezcla de solutos por SPE.

Los principios fundamentales de la SPE son los siguientes:

Selección del sorbente (adsorbente)

La elección del sorbente es crucial y se basa en la naturaleza química de los analitos y la matriz de la muestra. Los tipos comunes de sorbentes incluyen:

- Sílica modificada: Modificada con grupos químicos (C18, C8, CN, NH₂, etc) para interactuar con analitos específicos.
- Polímeros orgánicos: como el **poliestireno-divinilbenceno (PS-DVB)**, la **poliacrilamida**, entre otros que ofrecen alta capacidad y selectividad.
- Carbones activados: Eficientes para la retención de compuestos no polares y semipolares.

Condicionamiento del Sorbente

Antes de aplicar la muestra, el sorbente debe ser acondicionado. Este paso incluye:

- **Hidratación:** En el caso de sorbentes basados en sílica.
- **Activación:** Utilizando solventes para preparar la superficie del sorbente y mejorar la interacción con los analitos.

Aplicación de la Muestra

La muestra líquida se pasa a través del sorbente, donde los analitos de interés son retenidos debido a las interacciones específicas con el sorbente, mientras que el resto de la matriz fluye a través sin retenerse.

Lavado

El lavado se realiza para eliminar los compuestos no deseados que están débilmente retenidos en el sorbente. Esto se hace utilizando un solvente que no desorba los analitos de interés pero que elimine las impurezas.

Elución de los Analitos

Los analitos de interés se desorben del sorbente utilizando un solvente que tiene una alta afinidad por ellos. Este paso concentra los analitos y los separa de la matriz original, permitiendo su análisis posterior.

Parámetros que Afectan la SPE

- **pH de la muestra:** Puede afectar la ionización de los analitos y, por lo tanto, su interacción con el sorbente.
- **Fuerza iónica:** La presencia de sales puede influir en las interacciones iónicas entre los analitos y el sorbente.
- **Volumen de muestra:** Afecta la capacidad de retención del sorbente.
- **Velocidad de flujo:** Debe ser controlada para asegurar una interacción adecuada entre los analitos y el sorbente.

Ventajas de la SPE

- **Selectividad:** La capacidad de seleccionar diferentes sorbentes y condiciones permite una alta selectividad para los analitos de interés.

- **Concentración:** La SPE puede concentrar los analitos, mejorando la sensibilidad de las técnicas de detección posteriores.
- **Limpieza:** Elimina interferencias y compuestos no deseados de la matriz de la muestra, mejorando la calidad de los resultados analíticos.
- **Automatización:** La SPE es compatible con sistemas automatizados, lo que mejora la reproducibilidad y la eficiencia del proceso.

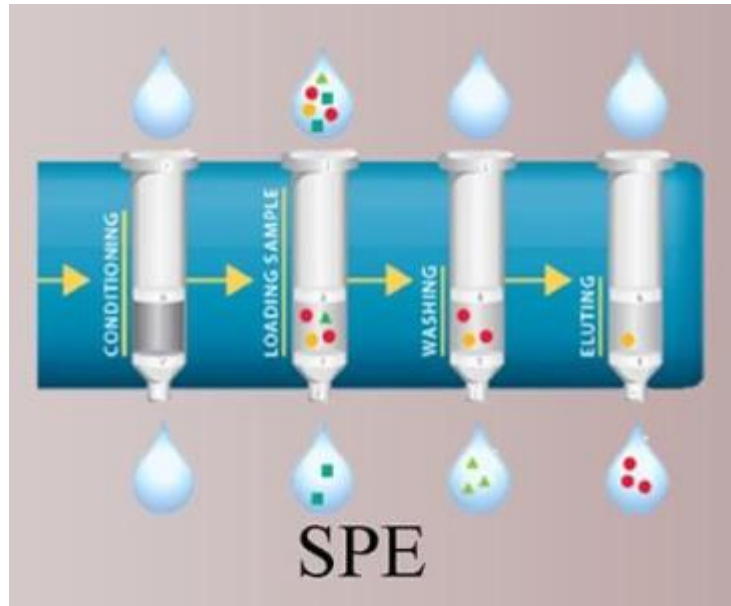


Figura 2. Procedimiento de separación de una mezcla de solutos por cromatografía en fase sólida (SPE). Fuente: Andrade-Eiroa et al. (2016).

Aplicaciones Comunes

La extracción SPE es esencial en el análisis farmacéutico, para la purificación y concentración de fármacos en muestras biológicas, en el análisis ambiental, para la detección de contaminantes en agua, suelo y aire, en el bioanálisis, en donde se utiliza para la preparación de muestras para el análisis de biomoléculas como proteínas, péptidos y ácidos nucleicos y en la detección de residuos de pesticidas, contaminantes y aditivos en alimentos y bebidas en la industria alimentaria.

Estudio de caso:

Las aminas biogénicas (BA) son compuestos generados por la descarboxilación de sus aminoácidos precursores. Su ingesta, incluso en bajas concentraciones, puede provocar varios tipos de problemas de salud en personas sensibles, éstas pueden formarse fácilmente en productos lácteos fermentados, por lo tanto su determinación cuantitativa es muy relevante. Se detectaron y cuantificaron cuatro aminas biogénicas en diferentes productos lácteos (leche, yogur y kéfir). Las aminas se extrajeron

selectivamente mediante extracción en fase sólida, posteriormente se derivatizaron con carbamato de 6-aminoquinolil- *N*-hidroxisuccinimidilo y se determinaron adicionalmente mediante cromatografía líquida de alta resolución con detección de fluorescencia. No se detectaron BA en la mayoría de las muestras de leche, pero se encontraron en niveles altos en muestras de yogur y kéfir, alcanzando valores de hasta 79 mg/kg de BA totales en muestras de kéfir (Moniente et al., 2023).

MICROEXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA

La Microextracción en Fase Sólida (SPME, por sus siglas en inglés) es una técnica de preparación de muestras que combina extracción y concentración en un solo paso, sin la necesidad de solventes. SPME es ampliamente utilizada en la química analítica, especialmente para el análisis de compuestos volátiles y semi-volátiles en matrices complejas como alimentos, bebidas, aguas y matrices biológicas (Pati et al., 2021). La instrumentación bastante simple de SPME y la posibilidad de automatización total contribuyeron al desarrollo de nuevos adsorbentes y al número cada vez mayor de analitos separados y matrices complejas analizadas, incluidos suelos y sedimentos. Las aplicaciones de SPME ocupan un lugar destacado en la química analítica moderna (Moein et al., 2014; Zhang et al., 2016; Yao et al., 2022). Cabe destacar que, a diferencia de la extracción líquida y la SPE convencional, que implican la extracción cuantitativa de analitos y son métodos de separación "exhaustivos", la SPME se basa en una partición en equilibrio de un analito entre la fase adsorbente y la matriz de la muestra. La fibra, que es sílice modificada, puede sumergirse directamente en la muestra (DI, por sus siglas en inglés) o colocarse en el espacio de cabeza de la muestra (HS, por sus siglas en inglés). Los principios de la SPME son los siguientes:

EQUILIBRIO DE PARTICIÓN

La SPME se basa en el principio del equilibrio de partición entre la fase sólida (fibra recubierta de un sorbente) y la fase líquida o gaseosa de la muestra. Los analitos se distribuyen entre estas fases hasta alcanzar un equilibrio.

Selección del sorbente

La elección del sorbente es crucial y depende de la naturaleza de los analitos y la matriz de la muestra. Los sorbentes comunes incluyen:

- Polidimetilsiloxano (PDMS): Utilizado para compuestos no polares y semi-volátiles.
- Divinilbenceno (DVB): Eficaz para compuestos polares y no polares.
- Carboxeno (CAR): Adecuado para compuestos volátiles y gases.
- PDMS/DVB y CAR/PDMS: Sorbentes combinados para extraer una amplia gama de analitos.

Método de extracción

La fibra recubierta se expone a la muestra (líquida o gaseosa). Los analitos se adsorben o absorben en el recubrimiento de la fibra. La extracción puede ser:

- Directa: La fibra se sumerge directamente en la muestra líquida.
- Headspace: La fibra se coloca en la fase de vapor (headspace) sobre la muestra líquida o sólida, útil para compuestos volátiles.

Desorción

Después de la extracción, la fibra se transfiere a un instrumento de análisis, típicamente un cromatógrafo de gases (GC) o un cromatógrafo de líquidos (HPLC). La desorción térmica o por solvente libera los analitos de la fibra para su detección y cuantificación. En la figura 3 se muestra el procedimiento de extracción por inmersión directa en un líquido y la desorción del analito en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases.

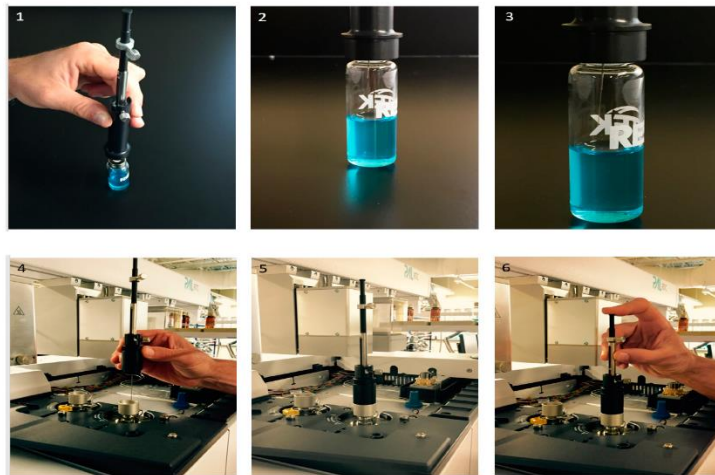


Figura 3. Procedimiento de adsorción (extracción) y desorción de una fibra SPME para análisis de cromatografía de gases (GC). Extracción manual de SPME (1–3) e inyección (4–6). Fuente: Herrington et al. (2020).

Parámetros que afectan la SPME

- Temperatura: Afecta la velocidad de difusión y la volatilidad de los analitos.
- Tiempo de extracción: Influye en el equilibrio de partición; tiempos más largos pueden aumentar la cantidad de analito extraído.
- Agitación: Mejora la transferencia de masa de los analitos hacia la fibra.
- Fuerza iónica y pH: Pueden influir en la ionización y solubilidad de los analitos.

Ventajas de la SPME

- Sin uso de solventes: Más ecológico y reduce costos.
- Simplicidad: Combina extracción y concentración en un solo paso.
- Sensibilidad: Mejora la detección de analitos en bajas concentraciones.
- Portabilidad: Las fibras SPME son fáciles de manejar y transportar.

Aplicaciones Comunes

- Análisis ambiental: Monitoreo de contaminantes en aire, agua y suelo.
- Industria alimentaria: Detección de sabores, aromas y contaminantes en alimentos y bebidas.
- Forense: Análisis de drogas y compuestos volátiles en muestras biológicas.
- Farmacéutica: Determinación de compuestos activos y metabolitos en matrices biológicas.
- Ecología química: Identificación y cuantificación de compuestos volátiles orgánicos (COVs) como feromonas y aleloquímicos.

Estudio de caso

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) involucrados en el proceso de fermentación contribuyen a la fragancia de la sidra. Se utilizó el método de microextracción en fase sólida con espacio de cabeza y la cromatografía de gases espectrometría de masas (HS-SPME GC-MS) para el análisis químico de COV de sidra. Se analizaron cuatro sidras maduras que se prepararon de manera idéntica, salvo por la cepa de levadura. Se identificaron veintisiete COVs clave, se detectaron sabores desagradables y se cuantificaron los olores en concentraciones deseables en comparación con los umbrales de percepción. Los COVs variaron considerablemente después de la fermentación con cuatro nuevas cepas de *S. cerevisiae*, lo que evidencia la importancia central de la cepa de levadura para el aroma de la sidra terminada (Bingman et al., 2020).

TIPOS DE CROMATOGRAFÍA EN BIOTECNOLOGÍA AGROPECUARIA

La cromatografía es una técnica de separación esencial en la biotecnología agropecuaria, utilizada para purificar y analizar compuestos biológicos, desde proteínas hasta metabolitos secundarios. Su capacidad para separar componentes complejos ha revolucionado la investigación y el desarrollo en la agricultura y la producción de alimentos, mejorando la calidad, la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos agropecuarios.

En la biotecnología agropecuaria se emplean diversos tipos de cromatografía, cada uno adecuado para diferentes aplicaciones y tipos de compuestos. A continuación, se describen los principales tipos:

a) Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)

La cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) es una forma de cromatografía líquida que se utiliza para separar los componentes individuales de interés presentes en una mezcla y/o disueltos en la solución de muestra. Se basa en el bombeo de la fase móvil a través de la columna empacada a alta presión. El principio básico involucrado en HPLC se basa en el fenómeno de la cromatografía en columna en el que la fase móvil se bombea a través de una columna empaquetada aplicando alta presión (Akash et al., 2020).

La HPLC permite la separación de compuestos en una mezcla mediante el uso de alta presión para forzar el paso de la fase móvil a través de una columna con fase estacionaria. Esta técnica es esencial para analizar muestras lábiles y no volátiles que no es posible analizar en cromatografía de gases. Se utiliza extensamente para la purificación de proteínas, ácidos nucleicos y metabolitos secundarios en biotecnología agropecuaria.

La HPLC es ampliamente utilizada para la separación y purificación de proteínas, péptidos, aminoácidos y otros compuestos bioactivos en plantas y animales. En el contexto agropecuario, esta técnica permite:

- **Análisis de calidad:** Determinar la pureza y composición de productos agrícolas, como aceites esenciales, flavonoides y antioxidantes.
- **Control de contaminantes:** Detectar y cuantificar residuos de pesticidas, herbicidas y otros contaminantes en productos agrícolas y alimenticios.

Principios básicos de HPLC

La HPLC funciona pasando una muestra líquida a través de una columna que contiene un material adsorbente. Diferentes componentes de la muestra se separan en función de su interacción con el material de la columna y el solvente móvil utilizado. Los detectores, como el UV-Vis o el espectrómetro de masas, identifican y cuantifican los componentes separados.

APLICACIONES DE HPLC EN PRODUCTOS AGRÍCOLAS

Aceites Esenciales

Objetivo: Identificación y cuantificación de componentes volátiles y aromáticos.

Procedimiento

Extracción: Generalmente se realiza mediante destilación por arrastre de vapor o extracción con solventes.

Preparación de la muestra: La muestra extraída se disuelve en un solvente adecuado.

Antes de realizar el análisis, las muestras de aceites esenciales deben prepararse adecuadamente:

Dilución: Los aceites esenciales suelen ser muy concentrados. Es necesario diluirlos con un solvente adecuado (como metanol o acetonitrilo) para obtener una concentración manejable.

Filtración: Filtrar la solución diluida a través de un filtro de membrana (0.45 μm) para eliminar partículas que puedan obstruir la columna HPLC.

ANÁLISIS HPLC

Elección del sistema

Columna (fase estacionaria):

- **Tipo:** Columna de fase reversa (C18) es comúnmente utilizada debido a su capacidad para separar una amplia gama de compuestos no polares y moderadamente polares presentes en los aceites esenciales.
- **Dimensiones:** Una columna típica puede tener un tamaño de partícula de 3-5 μm y dimensiones de 150-250 mm de largo por 4.6 mm de diámetro interno.

Fase móvil:

- **Composición:** Consiste en una mezcla de un disolvente polar y un semipolar miscible (ejemplo; agua: acetonitrilo) con un modificador de pH, como ácido fosfórico o trifluoroacético).
- **Gradiente:** Se suele utilizar un gradiente de elución para separar los componentes más eficientemente. Por ejemplo, comenzar con un 10% de acetonitrilo y 90% de agua, y gradualmente aumentar la proporción de acetonitrilo hasta un 90%.

Resultados: Un detector transforma los datos o señales obtenidas en cromatogramas que muestran los picos correspondientes a los diferentes componentes de los aceites esenciales, como limoneno, cineol, y linalol. El tiempo de retención (tiempo en el que eluyen los compuestos) nos indica el tipo de compuesto y la altura y ancho del pico nos indica la concentración relativa.

Detector:

- **Tipo:** Detectores de espectrofotometría UV/Vis son los más comúnmente usados. También se pueden usar detector de arreglo de diodos (DAD) y detector de masas.

- Longitud de onda: Dependiendo de los componentes específicos a analizar, la longitud de onda puede variar. Muchos componentes de aceites esenciales absorben en el rango de 200-300 nm.

Identificación y cuantificación

- Estándares: Se utilizan estándares conocidos para identificar picos en el cromatograma. Esto puede incluir compuestos específicos como linalool, eugenol, limoneno, entre otros.
- Curva de calibración: Preparar una serie de diluciones de los estándares para crear una curva de calibración que permita la cuantificación de los componentes en la muestra.
- Análisis de datos: El software del HPLC se utiliza para integrar los picos y comparar los tiempos de retención y áreas de los picos con los estándares que nos hablará del tipo de compuesto y de su concentración en la muestra.

Validación del método

- Repetibilidad: Realizar múltiples inyecciones de la misma muestra para verificar la consistencia de los resultados.
- Precisión y exactitud: Evaluar mediante la recuperación de estándares añadidos a la muestra.

Flavonoides

La detección de flavonoides por HPLC es un proceso crítico en la investigación y análisis de estos compuestos debido a sus importantes propiedades biológicas y farmacológicas. Los flavonoides son una clase de polifenoles presentes en muchas plantas y alimentos, y su análisis requiere una metodología adecuada para garantizar la precisión y reproducibilidad. A continuación, se detalla un esquema general del proceso de análisis de flavonoides por

Objetivo: Evaluar el contenido y la composición de flavonoides en frutas, vegetales y otras plantas.

DETECCIÓN DE FAVONOIDES POR HPLC

Preparación de la muestra

Extracción de flavonoides

Material vegetal: Tomar la muestra de planta, secar y pulverizar.

Solvente de extracción: Utilizar solventes como metanol, etanol, o una mezcla de metanol/agua.

Método de extracción: Maceración, sonicación o extracción Soxhlet.

- Maceración: Remojar el polvo vegetal en el solvente por varias horas/días a temperatura ambiente.

- Sonicación: Someter la muestra a ultrasonidos durante 30-60 minutos para mejorar la extracción.
- Soxhlet: Realizar una extracción continua con solvente calentado durante varias horas.

Preparación de la solución para HPLC:

- Filtrar la solución de extracción a través de un filtro de membrana (0.45 μm) para eliminar partículas.
- Diluir si es necesario con el solvente móvil utilizado en el HPLC.

ELECCIÓN DEL SISTEMA HPLC

Columna:

- Tipo: Las columnas de fase reversa (C18) son comúnmente utilizadas debido a su capacidad para separar una amplia gama de flavonoides.
- Dimensiones: Una columna típica puede tener un tamaño de partícula de 3-5 μm y dimensiones de 150-250 mm de largo por 4.6 mm de diámetro interno.

Fase móvil:

- Composición: Mezcla de agua (con un modificador de pH, como ácido fosfórico o ácido acético) y un solvente orgánico (como metanol o acetonitrilo).
- Gradiente: Se suele utilizar un gradiente de elución para separar los flavonoides de manera eficiente. Por ejemplo, comenzar con un 10% de acetonitrilo y 90% de agua, y gradualmente aumentar la proporción de acetonitrilo hasta un 70-80%.

Parámetros de detección

Detector:

- Tipo: Detector de arreglo de diodos (DAD) o espectrofotometría UV/Vis son comúnmente usados.
- Longitud de onda: Muchos flavonoides absorben en el rango de 250-370 nm, siendo 280 nm y 340 nm longitudes de onda típicas para detección.

Identificación y cuantificación:

- Estándares: Se utilizan estándares conocidos de flavonoides como quercetina, kaempferol, apigenina, etc., para identificar picos en el cromatograma.
- Curva de calibración: Preparar una serie de diluciones de los estándares para crear una curva de calibración que permita la cuantificación de los flavonoides en la muestra.
- Análisis de datos: El software del HPLC se utiliza para integrar los picos y comparar los tiempos de retención y áreas de los picos con los estándares.

Validación del método:

- Repetibilidad: Realizar múltiples inyecciones de la misma muestra para verificar la consistencia de los resultados.
- Precisión y exactitud: Evaluar mediante la recuperación de estándares añadidos a la muestra.

Ejemplo de procedimiento

Preparación de la muestra:

- Tomar 1 g de polvo de planta y extraer con 20 mL de metanol en un baño de ultrasonidos durante 30 minutos.
- Filtrar la solución resultante y diluir con metanol si es necesario.

Análisis por HPLC:

- Columna: C18, 150 x 4.6 mm, 5 µm.
- Fase móvil: Gradiente de acetonitrilo (A) y agua con 0.1% de ácido acético (B).
 - 0-5 min: 10% A, 90% B.
 - 5-25 min: 10-70% A, 90-30% B.
 - 25-30 min: 70-80% A, 30-20% B.
- Flujo: 1 mL/min.
- Detector: UV/Vis, 280 nm y 340 nm.

Interpretación de resultados

- Comparar los tiempos de retención de los picos con los estándares para identificar los flavonoides.
- Usar la curva de calibración para cuantificar los flavonoides identificados.

Este enfoque proporciona una base sólida para el análisis de flavonoides mediante HPLC, permitiendo la identificación y cuantificación precisa de estos compuestos en diversas muestras vegetales.

b) Cromatografía de Gases (CG)

La cromatografía de gases es una técnica de cromatografía en columna, en la que la fase móvil es un gas y la fase estacionaria es principalmente un líquido inmovilizado sobre un soporte sólido inerte en una columna empaquetada o de tipo capilar. La GC se utiliza para separar los componentes volátiles térmicamente estables de una mezcla. La cromatografía de gases, específicamente la cromatografía gas-líquido, implica vaporizar una muestra e inyectarla en la cabeza de la columna. Bajo un gradiente de temperatura controlado, la muestra se transporta a través de la columna mediante el flujo de una fase móvil gaseosa. Luego, los volátiles se separan en función de varias propiedades como son el punto de ebullición, el tamaño molecular y la polaridad. La fase móvil es un gas inerte, como helio o nitrógeno.

Los componentes de la muestra se volatilizan y son transportados por el gas portador a través de la columna, donde se separan según su afinidad con la fase estacionaria (Kumar et al., 2013).

Instrumentación y Metodología

La instrumentación moderna de CG está diseñada para proporcionar resultados rápidos y precisos. Combinada con técnicas de preparación de muestras avanzadas, como la extracción en fase sólida (SPE, por sus siglas en inglés) y la microextracción en fase sólida (SPME, por sus siglas en inglés), la CG permite la detección de contaminantes en matrices complejas con una mínima interferencia. Los desarrollos en columnas capilares, detectores selectivos y software de análisis han mejorado aún más la sensibilidad y la resolución de la técnica. La GC es empleada para separar y analizar compuestos que pueden vaporizarse sin descomponerse. Es útil para el análisis de ácidos grasos, terpenos y pesticidas en productos agropecuarios. Es ideal para la separación y análisis de compuestos volátiles y semivolátiles (Šikuten et al., 2021).

APLICACIONES

Cromatografía de gases en el análisis de aromas y sabores

La cromatografía de gases (CG) se ha establecido como una herramienta indispensable en el campo del análisis de aromas y sabores, permitiendo la separación precisa y la identificación de compuestos volátiles que contribuyen a las características sensoriales de alimentos, bebidas y otros productos (Cheng et al., 2023).

Identificación de compuestos aromáticos

En la industria alimentaria y de bebidas, la CG se utiliza extensamente para identificar los compuestos que contribuyen a los aromas característicos. Por ejemplo, en el análisis del vino, la CG puede separar y detectar los ésteres, alcoholes y aldehídos que determinan el perfil aromático único de cada variedad. La evaluación del perfil de aroma de los productos alimenticios y bebidas es crucial para mantener la consistencia y la calidad. Mediante la CG, los técnicos pueden cuantificar los compuestos aromáticos en diferentes muestras y asegurar que cumplan con los estándares de sabor esperados. También se emplea para investigar la estabilidad de los aromas en diferentes condiciones de almacenamiento y procesamiento. Esto es vital para prevenir la degradación de aromas deseables y para comprender cómo los cambios en las condiciones pueden alterar el perfil sensorial de un producto (Zhou et al., 2024).

Las fermentaciones agropecuarias representan un campo vital en la producción de alimentos y bebidas, donde microorganismos transforman sustratos naturales en productos deseables. El control preciso de estos procesos es esencial para garantizar la calidad y la eficiencia. La cromatografía de gases

(CG) se ha convertido en una herramienta indispensable para el monitoreo detallado de estos procesos. Los avances en continuos en la resolución, sensibilidad y automatización de la CG, permite un monitoreo más rápido y preciso de las fermentaciones y juega un papel crucial en el monitoreo y control de fermentaciones agropecuarias, ofreciendo herramientas poderosas para optimizar procesos, mejorar la calidad del producto final, como vinos, cervezas, quesos y productos lácteos fermentados y garantizar la seguridad alimentaria en la industria agroalimentaria global. La integración con técnicas complementarias como la espectrometría de masas ofrece resultados fiables en el análisis de metabolómica y la caracterización detallada de los productos fermentados (Zhang et al., 2024).

Las fermentaciones agropecuarias involucran una variedad de procesos que producen compuestos volátiles esenciales para la calidad del producto, por lo que la CG se utiliza para:

- **Monitoreo de Metabolitos**

Durante la fermentación, los microorganismos producen una diversidad de metabolitos, incluyendo alcoholes, ácidos orgánicos, ésteres y compuestos sulfurados. La CG permite identificar y cuantificar estos metabolitos, proporcionando información crucial sobre el progreso de la fermentación y la calidad del producto.

- **Control de Contaminantes**

Las fermentaciones pueden ser susceptibles a contaminaciones que afectan el perfil aromático y la seguridad alimentaria. La CG detecta trazas de contaminantes como pesticidas, residuos de antibióticos y productos de degradación, garantizando la conformidad con las normativas alimentarias y la seguridad del consumidor.

- **Optimización de procesos**

La optimización de las condiciones de fermentación es fundamental para maximizar la producción de compuestos deseables y minimizar subproductos no deseados. La CG evalúa cómo los cambios en variables como la temperatura, pH y tiempo de fermentación afectan la composición del producto final, facilitando ajustes precisos y eficientes en el proceso.

Casos destacados de aplicación de CG

- Monitoreo de fermentaciones de vinos: Identificación de ésteres y alcoholes que contribuyen al aroma y sabor del vino.
- Producción de quesos: Cuantificación de ácidos grasos volátiles y compuestos aromáticos para mejorar la calidad sensorial.
- Fermentación de cerveza: Análisis de compuestos fenólicos y volátiles que afectan el perfil de sabor y estabilidad del producto final.

Análisis de hormonas esteroides: La GC es eficaz en la separación y análisis de hormonas esteroides como la testosterona y el estradiol, que son volátiles y termolábiles.

APLICACIONES EN EL CONTROL DE CONTAMINANTES

La cromatografía de gases desempeña un papel crucial en el control de contaminantes en productos agropecuarios, proporcionando a los productores, reguladores y consumidores la tranquilidad de que los alimentos y materias primas agropecuarias cumplen con estándares rigurosos de seguridad y calidad. La demanda global de alimentos seguros y saludables sigue creciendo, por lo que la CG es una herramienta indispensable en la vigilancia y el monitoreo de la cadena alimentaria, asegurando que los productos agropecuarios lleguen al mercado libres de contaminantes nocivos.

- **Plaguicidas y herbicidas**

Uno de los usos más críticos de la CG en productos agropecuarios es la detección y cuantificación de pesticidas y herbicidas. Estos productos químicos, diseñados para proteger cultivos y ganado de plagas y malezas, pueden acumularse en los tejidos vegetales y animales si no se aplican correctamente o si se utilizan en exceso. La CG permite identificar residuos de pesticidas por debajo de los límites máximos de residuos (LMR) establecidos por las autoridades reguladoras, asegurando que los productos sean seguros para el consumo humano (Li et al., 2020).

- **Micotoxinas**

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por ciertos hongos que pueden contaminar los cultivos, especialmente granos y forrajes. La exposición a micotoxinas puede tener efectos adversos graves en la salud humana y animal. La CG se utiliza para detectar y cuantificar estas toxinas con alta sensibilidad y precisión, asegurando que los productos agropecuarios estén libres de contaminación fúngica a niveles perjudiciales (Muriana, 2023).

Cromatografía de Intercambio Iónico

La cromatografía de intercambio iónico (CII) es una técnica de separación que se basa en las diferencias de carga de los compuestos. La CII se basa en el principio de separación de iones mediante intercambio iónico reversible entre una fase estacionaria cargada y los iones presentes en la muestra líquida. Utiliza resinas con grupos cargados que interactúan con los iones de las muestras. La CII es fundamental para separar iones y moléculas polares, siendo crucial en:

- Nutrición vegetal: Análisis de suelos y soluciones nutritivas para determinar la disponibilidad de nutrientes esenciales.
- Producción de bioproductos: Purificación de enzimas y proteínas recombinantes utilizadas en la mejora genética de cultivos.

Aplicación de la CII en la nutrición vegetal

La Cromatografía de Intercambio Iónico (CII) ha revolucionado la manera en que entendemos y optimizamos la nutrición vegetal. A través de esta técnica analítica avanzada, los científicos y agrónomos

pueden caracterizar con precisión los nutrientes esenciales en el suelo y en las soluciones de nutrientes, proporcionando así una herramienta invaluable para mejorar la salud y el rendimiento de los cultivos. Esta técnica permite la determinación cuantitativa y cualitativa de macronutrientes como nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), y micronutrientes como hierro ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$), manganeso (Mn^{2+}), zinc (Zn^{2+}), entre otros (Sparks, 2003).

APLICACIONES PRÁCTICAS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

- Diagnóstico de deficiencias y excesos nutricionales

La CII permite a los agrónomos y científicos determinar con precisión la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo y en soluciones hidropónicas. Mediante la medición directa de los iones específicos, es posible identificar deficiencias o excesos que puedan afectar el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por ejemplo, una baja concentración de nitrato puede indicar la necesidad de ajustar las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. Al conocer los perfiles iónicos del suelo o de las soluciones nutritivas, los agricultores pueden ajustar las fórmulas de fertilización de manera precisa. Esto no solo mejora la eficiencia en el uso de los fertilizantes, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental, sino que también maximiza la absorción de nutrientes por parte de las plantas, mejorando su salud y rendimiento (Kozaki et al., 2021).

- Monitoreo continuo y mantenimiento de la salud nutricional de los cultivos

La capacidad de realizar análisis rápidos y repetitivos con CII permite un monitoreo continuo de la disponibilidad de nutrientes en diferentes etapas de crecimiento de los cultivos. Esto es crucial para ajustar las estrategias de fertilización a medida que cambian las condiciones ambientales o los requerimientos de los cultivos, asegurando así una nutrición óptima y reduciendo el riesgo de deficiencias o toxicidades nutricionales (Jones, 2005).

- CII en el análisis de oligonucleótidos

La cromatografía de intercambio iónico es ampliamente utilizada para purificar ácidos nucleicos, lo que es esencial para técnicas como la PCR y la secuenciación genética. Es una técnica analítica poderosa utilizada en la bioquímica y la biología molecular para separar, identificar y purificar compuestos químicos, incluidos ácidos nucleicos como el ADN y el ARN. Su aplicación en el análisis de ADN y ARN es crucial para diversas investigaciones y aplicaciones prácticas. La cromatografía de intercambio iónico separa moléculas basándose en sus cargas eléctricas.

- Separación de fragmentos de ADN: Diferentes fragmentos de ADN o ARN pueden tener diferentes cargas netas, permitiendo su separación eficiente mediante intercambio iónico.
- Purificación de ARN: Se utiliza para purificar ARN de alto peso molecular de contaminantes más pequeños o de otros tipos de ARN.

Cromatografía de Afinidad

La cromatografía de afinidad (CA) es una técnica de separación avanzada basada en la interacción específica entre una proteína objetivo y un ligando que se encuentra unido a una matriz sólida. En el contexto de la biotecnología agropecuaria, esta técnica es esencial debido a su alta especificidad y capacidad para purificar proteínas en grandes cantidades y con alta pureza (Rodríguez et al., 2020).

Tipos de ligandos utilizados

Existen diversos tipos de ligandos utilizados en la cromatografía de afinidad, dependiendo de la naturaleza de la proteína objetivo y de los objetivos específicos de purificación. Algunos ejemplos comunes incluyen:

- Anticuerpos y antígenos: Utilizados para la purificación de proteínas que tienen una interacción específica con anticuerpos, como en el caso de proteínas recombinantes utilizadas en vacunas.
- Hapténos: Ligandos que se unen a anticuerpos específicos, como en el caso de toxinas vegetales o componentes alergénicos en plantas modificadas genéticamente.
- Metaliones: Utilizados en la purificación de enzimas metalo-dependientes o proteínas que contienen sitios de unión de metales.

Aplicaciones en la Biotecnología Agropecuaria

En la producción agrícola y ganadera, la cromatografía de afinidad juega un papel crucial en varias aplicaciones:

- Purificación de enzimas: Muchas enzimas utilizadas en la modificación genética de cultivos o en la producción de biocombustibles deben ser purificadas en grandes cantidades y con alta especificidad. La cromatografía de afinidad permite la separación de estas enzimas con alta pureza, minimizando la contaminación con otras proteínas celulares.
- Producción de vacunas: La purificación de proteínas recombinantes utilizadas como antígenos en vacunas es esencial para garantizar la eficacia y seguridad de los productos finales. La cromatografía de afinidad permite la separación de estas proteínas con alta eficiencia, eliminando contaminantes que podrían afectar la respuesta inmune en los animales o humanos vacunados.
- Mejora de cultivos: En la ingeniería genética de plantas y cultivos, la purificación de proteínas clave involucradas en la resistencia a plagas o enfermedades es crucial. La cromatografía de afinidad facilita la obtención de estas proteínas en cantidades suficientes para la investigación y la aplicación práctica en el campo.

- Purificación de hormonas: La cromatografía de afinidad puede usarse para purificar hormonas específicas de una mezcla compleja, mejorando la exactitud de los análisis subsecuentes.
- Estudios de interacción Hormona-Receptor: Permite estudiar las interacciones entre hormonas y sus receptores, lo cual es crucial para entender los mecanismos de acción hormonal (Hirpessa et al., 2020).

CII en el desarrollo de vacunas y antígenos en Biotecnología Agropecuaria

La cromatografía de afinidad ha revolucionado el campo de la biotecnología agropecuaria al facilitar el desarrollo eficiente y preciso de vacunas y antígenos. Este método se ha convertido en una herramienta indispensable para la purificación de proteínas específicas, permitiendo a los investigadores y científicos obtener productos de alta pureza y biológicamente activos para su aplicación en la industria agrícola y ganadera.

- Desarrollo de vacunas

En el contexto de la biotecnología agropecuaria, la cromatografía de afinidad desempeña un papel crucial en la producción de vacunas recombinantes. Las vacunas recombinantes se basan en la expresión de proteínas virales o bacterianas clave en sistemas de expresión heterólogos, como bacterias o levaduras. Una vez producidas, estas proteínas necesitan ser purificadas para eliminar impurezas y otros componentes celulares que podrían ser inmunogénicos o causar efectos adversos. La cromatografía de afinidad permite la purificación rápida y eficiente de antígenos recombinantes mediante la captura selectiva de la proteína de interés utilizando ligandos específicos. Esto no solo aumenta la pureza del antígeno, sino que también asegura que la vacuna resultante sea segura y efectiva, minimizando la presencia de contaminantes que podrían inducir respuestas inmunitarias no deseadas en los animales o humanos vacunados (Razak et al., 2023).

- Producción de antígenos para diagnóstico y tratamiento

Además de las vacunas, la cromatografía de afinidad se utiliza ampliamente en la producción de antígenos para diagnóstico y tratamiento en el campo agropecuario. Los antígenos purificados se emplean en pruebas diagnósticas para detectar enfermedades específicas en animales y en la evaluación de la inmunidad en poblaciones ganaderas. La alta pureza obtenida mediante este método asegura resultados precisos y confiables en las pruebas de diagnóstico, mejorando así la salud y la productividad animal.

Cromatografía de exclusión por tamaño

La cromatografía de exclusión por tamaño (SEC, por sus siglas en inglés) ha emergido como una herramienta indispensable en la biotecnología agropecuaria, proporcionando métodos precisos para la separación y purificación de biomoléculas clave utilizadas en diversos procesos agrícolas y ganaderos.

Esta técnica se fundamenta en la capacidad de separar moléculas según su tamaño y forma, independientemente de su carga o afinidad por el soporte estacionario, lo que la convierte en una opción versátil para la industria biotecnológica. La SEC se basa en el principio de que las moléculas más grandes son excluidas de los poros internos del material de empaque, permitiendo que las moléculas más pequeñas entren en esos poros y, por lo tanto, se retarden en su movimiento a través de la columna (Kumari et al., 2023).

APLICACIONES DE LA SEC

Purificación de proteínas y enzimas

En la biotecnología agrícola y ganadera, la purificación de proteínas y enzimas es crucial para el desarrollo de productos y procesos mejorados. La SEC permite la separación eficiente de proteínas de interés a partir de complejas mezclas biológicas, como extractos celulares o fluidos corporales de animales, asegurando que los productos finales sean altamente purificados y funcionales (Wongngam et al., 2023).

Caracterización de vacunas y antígenos

En la producción de vacunas y antígenos para uso en animales, la SEC desempeña un papel esencial en la caracterización de estos productos biológicos. Permite evaluar la homogeneidad y la pureza de las formulaciones vacunales al separar las proteínas virales o bacterianas de los contaminantes potenciales, garantizando la seguridad y eficacia de los productos finales utilizados en la inmunización del ganado y otros animales (Hossienizadeh et al., 2021).

Análisis de polisacáridos y ácidos nucleicos

Los polisacáridos y ácidos nucleicos son componentes fundamentales en la biotecnología agropecuaria, ya sea como moduladores de la respuesta inmune en plantas o como vectores para la entrega de genes en la ganadería. La SEC facilita la separación y purificación de estos compuestos según su tamaño molecular, lo que permite investigaciones más precisas sobre sus propiedades bioquímicas y su interacción con otros componentes biológicos (Jiang et al., 2020).

Cromatografía en columna

La cromatografía en columna (CC) es una técnica de separación basada en la distribución diferencial de los componentes de una mezcla entre una fase móvil (eluyente) y una fase estacionaria (columna). La elección de la fase estacionaria y el eluyente es crucial para el éxito de la separación. Se utilizan columnas rellenas con materiales como sílica gel, alúmina o resinas poliméricas, que interactúan selectivamente con los compuestos basándose en sus propiedades físico-químicas. El solvente eluyente

debe ser compatible con los compuestos a separar y tener propiedades adecuadas de solubilidad y polaridad (Robards & Ryan, 2021).

Preparación de la muestra y carga de la columna

Antes de cargar la muestra en la columna, es esencial prepararla adecuadamente. Esto puede implicar la extracción de los compuestos de interés utilizando solventes orgánicos apropiados y concentrando la muestra para aumentar la eficiencia de la separación. La muestra disuelta se carga cuidadosamente en la parte superior de la columna, generalmente mediante una técnica de gravedad para evitar la perturbación de la fase estacionaria.

Proceso de elución y recolección de fracciones

Una vez que la muestra está cargada, se procede con la elución, donde el eluyente se pasa a través de la columna. Durante este proceso, los compuestos se separan según sus afinidades con la fase estacionaria y la fase móvil. Se recolectan fracciones individuales en tubos de ensayo o frascos, monitorizando la elución mediante técnicas analíticas como la cromatografía en capa fina (TLC) para determinar la composición de cada fracción.

Análisis y caracterización de los compuestos

Finalmente, las fracciones recolectadas se analizan para determinar la presencia y pureza de los compuestos de interés. Técnicas avanzadas como la espectroscopía UV-Vis, espectrometría de masas y resonancia magnética nuclear (RMN) se utilizan para caracterizar estructuralmente los compuestos aislados. Este proceso es crucial para identificar nuevas moléculas bioactivas con potencial farmacológico o industrial.

Aplicación de la CC en fitoquímica

La fitoquímica, el estudio de los productos químicos naturales encontrados en las plantas, ha experimentado un notable avance gracias a técnicas analíticas como la cromatografía en columna. Esta técnica, fundamental en el arsenal del fitoquímico moderno, permite la separación y purificación de compuestos bioactivos de manera eficiente y precisa. La CC ha revolucionado la fitoquímica al permitir la purificación de compuestos bioactivos a partir de plantas con fines terapéuticos y biotecnológicos. Los avances recientes en técnicas de columnas automatizadas y el desarrollo de fases estacionarias más selectivas han mejorado la eficiencia y la resolución de esta técnica, ampliando así su aplicación en la investigación fitoquímica (Cheng et al., 2023).

Estudio de caso:

Se extrajeron los principios activos de la *Nigella sativa* L., una poderosa planta medicinal y antioxidante con muchas aplicaciones terapéuticas. La extracción se realizó mediante Soxhlet y extractos madre y los principios activos se separó mediante cromatografía en columna de sílice con los eluyentes adecuados. Se determinaron las propiedades antioxidantes todas las fracciones recolectadas. A las fracciones se les realizaron pruebas fitoquímicas cualitativas para determinar las familias químicas a las que pertenecen, identificados y caracterizados por GC-MS y HPLC-DAD. El análisis fitoquímico reveló metabolitos secundarios como polifenoles, flavonoides, alcaloides, esteroides, terpenos, cumarinas, taninos y saponinas. Solo dos disolventes (hexano, acetona) de diferentes polaridades podían extraer y separar fácilmente los componentes de *Nigella sativa* L. Por lo tanto, la actividad antioxidante de *Nigella sativa* L. se atribuyó más a los flavonoides y polifenoles que a los ácidos grasos (Tiji et al., 2021).

APLICACIONES ESPECÍFICAS DE LA CROMATOGRAFÍA EN LA BIOTECNOLOGÍA AGROPECUARIA

Mejora genética de cultivos

La cromatografía juega un papel crucial en la identificación y cuantificación de metabolitos secundarios y compuestos bioactivos en plantas y en plantas transgénicas mejoradas genéticamente (Kaur et al., 2021; Ojiewo et al., 2020; Yang et al., 2021). Esto permite:

- Selección de variedades superiores: Detectar marcadores químicos asociados con rasgos deseables, como resistencia a enfermedades y mayor contenido nutricional.
- Evaluación de la seguridad alimentaria: Asegurar que los cultivos transgénicos no contienen compuestos tóxicos o alérgenos.

La cromatografía, una técnica analítica utilizada para separar y analizar compuestos químicos, tiene aplicaciones significativas en la mejora genética de cultivos. Aquí se describen algunas formas en las que esta técnica se emplea en este campo:

Análisis de metabolitos secundarios

La cromatografía, especialmente la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), se utiliza para identificar y cuantificar metabolitos secundarios en las plantas. Estos compuestos, como alcaloides, flavonoides y terpenoides, pueden influir en la resistencia a plagas y enfermedades, así como en la calidad nutricional y organoléptica de los cultivos.

Selección de variedades con características deseadas

La cromatografía de gases (GC) y HPLC se emplean para analizar perfiles de metabolitos en diferentes variedades de cultivos. Esto permite a los mejoradores seleccionar aquellas variedades que presentan concentraciones óptimas de compuestos beneficiosos, contribuyendo a la creación de cultivos con mejores propiedades nutritivas, sabor y aroma.

Identificación de marcadores bioquímicos

La cromatografía puede ayudar a identificar marcadores bioquímicos asociados con rasgos agronómicos importantes, como la resistencia a enfermedades, tolerancia a estrés ambiental y eficiencia en el uso de nutrientes. Estos marcadores pueden utilizarse en programas de selección asistida por marcadores (MAS) para acelerar el desarrollo de nuevas variedades.

Desarrollo de cultivos con propiedades nutricionales mejoradas

Mediante la cromatografía, se puede evaluar la presencia y concentración de vitaminas, aminoácidos esenciales y otros nutrientes en las plantas como la composición de ácidos grasos en cultivos oleaginosos como soja, canola y girasol. Esto permite a los mejoradores genéticos trabajar en la mejora del contenido nutricional de los cultivos, abordando problemas de desnutrición y deficiencias alimentarias.

Estudio de la respuesta al estrés

La cromatografía se utiliza para estudiar los cambios en el perfil de metabolitos en respuesta a diferentes tipos de estrés, como la sequía, la salinidad y el ataque de patógenos. Estos estudios ayudan a entender los mecanismos de resistencia y a desarrollar cultivos más resilientes.

Detección de compuestos no deseados

La cromatografía puede detectar la presencia de compuestos tóxicos o alérgenos en los cultivos. Esto es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y desarrollar variedades que no acumulen estos compuestos.

Estudio de caso

Se realizó retrocruzamiento asistido por marcadores entre variedades endogámicas de maíz dulce pobres en β -caroteno y líneas endogámicas ricas en β -caroteno para mejorar la concentración de carotenoides. Por técnicas cromatográficas (HPLC), se midió la concentración de carotenoides y se determinó que los híbridos producidos mediante el cruce de líneas mejoradas estaban a la par de los híbridos originales en cuanto al contenido de β -caroteno (Rathinavel et al., 2023).

Producción animal

En la producción animal, la cromatografía desempeña un papel crucial en la mejora de la salud animal, la seguridad alimentaria y la eficiencia de la producción. Esta técnica permite la separación, identificación y cuantificación de los componentes de mezclas complejas, facilitando el análisis de sustancias como hormonas, antibióticos, vitaminas, ácidos grasos y toxinas (Hirpessa et al., 2020; Kumar et al., 2020; Stachnjuk et al., 2021). En la producción animal, la cromatografía se utiliza para:

- **Monitoreo de la alimentación animal:** Analizar la composición de piensos y suplementos para asegurar una nutrición equilibrada.
- **Diagnóstico de enfermedades:** Detectar biomarcadores específicos en sueros y tejidos animales para un diagnóstico temprano y preciso de enfermedades.
- **Detección de residuos de antibióticos:** Uno de los usos más críticos de la cromatografía en la producción animal es la detección de residuos de antibióticos en productos cárnicos y lácteos. Los antibióticos son ampliamente utilizados en la producción animal para prevenir enfermedades y promover el crecimiento. Sin embargo, el uso indebido o excesivo puede resultar en residuos en los productos animales, lo que puede ser perjudicial para la salud humana.

Análisis de contaminantes y toxinas: Además de los residuos de antibióticos, la cromatografía se utiliza para detectar otros contaminantes y toxinas, como micotoxinas, pesticidas y metales pesados. Estos contaminantes pueden entrar en la cadena alimentaria animal a través del pienso contaminado o del medio ambiente. La HPLC y la GC, a menudo en combinación con MS, son herramientas esenciales para el análisis de estas sustancias. Por ejemplo, la cromatografía de gases acoplada con espectrometría de masas (GC-MS) es extremadamente eficaz para la detección de pesticidas, mientras que la HPLC-MS es ideal para el análisis de micotoxinas.

Análisis de hormonas y metabolitos

La monitorización de hormonas y metabolitos en los animales es vital para evaluar su estado de salud y bienestar. Las hormonas, como el cortisol, pueden indicar niveles de estrés, mientras que otros metabolitos pueden reflejar el estado nutricional y metabólico. La HPLC es una técnica dominante en el análisis de hormonas debido a su capacidad para separar compuestos complejos y su compatibilidad con diversos detectores, como el detector UV y el MS. Por otro lado, la GC es útil para el análisis de metabolitos volátiles.

Diagnóstico de Enfermedades

La cromatografía se emplea en el diagnóstico de enfermedades mediante el análisis de biomarcadores específicos en muestras biológicas como sangre, orina y tejidos.

Estudios de Digestibilidad

La cromatografía se utiliza para estudiar la digestibilidad y el metabolismo de los nutrientes en los animales. Esto incluye el análisis de ácidos grasos, aminoácidos y otros componentes del alimento a lo largo del tracto digestivo.

Mejora reproductiva (detección de ciclos estrales): El análisis de hormonas reproductivas permite la detección precisa de los ciclos estrales en hembras, lo que es fundamental para la sincronización de la inseminación artificial y la mejora de las tasas de concepción.

Producción de hormonas y bioensayos

- **Producción de hormonas recombinantes:** La cromatografía se utiliza en la purificación de hormonas recombinantes utilizadas en tratamientos de fertilidad y en la producción ganadera.
- **Bioensayos de actividad hormonal:** Se emplea para desarrollar bioensayos que miden la actividad biológica de las hormonas en diferentes condiciones experimentales.

Biocombustibles y bioenergía

La cromatografía es una técnica analítica que se utiliza ampliamente en la investigación y producción de biocombustibles y bioenergía. Su uso en este campo abarca varias etapas, desde la caracterización de materias primas hasta el análisis de productos finales y subproductos (Beccaria et al., 2021; Singh et al., 2022; Vinoth-Kumar et al., 2020). A continuación, se detallan algunos de los usos específicos de la cromatografía en la generación de biocombustibles y bioenergía:

Optimización de procesos de fermentación: Monitorear la producción de etanol, biogás y otros biocombustibles a partir de biomasa agrícola.

Análisis de subproductos: Identificar y cuantificar compuestos secundarios que puedan afectar la eficiencia del biocombustible.

Caracterización de materias primas

Las materias primas para biocombustibles incluyen biomasa como algas, residuos agrícolas, y aceites vegetales. La cromatografía, especialmente la cromatografía de gases (GC) y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), se utilizan para:

- **Identificación y cuantificación de componentes:** Determinar la composición química de las materias primas, incluyendo lípidos, azúcares, lignina y celulosa.
- **Análisis de impurezas:** Identificar y cuantificar impurezas que podrían afectar la eficiencia de la conversión a biocombustibles.

Monitoreo del proceso de producción

Durante la producción de biocombustibles, la cromatografía es esencial para monitorear y optimizar las reacciones químicas involucradas. Esto incluye:

- **Fermentación:** Seguimiento de la fermentación de azúcares a etanol o butanol mediante HPLC para cuantificar la concentración de productos y subproductos.
- **Transesterificación:** En la producción de biodiésel a partir de aceites vegetales, la GC se utiliza para analizar los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) y asegurar la calidad del biodiésel.
- **Pirólisis y gasificación:** Análisis de los productos gaseosos y líquidos obtenidos mediante pirólisis y gasificación de biomasa utilizando GC para evaluar la eficiencia del proceso y la composición del gas de síntesis.

Control de calidad del producto final

Para asegurar que los biocombustibles cumplen con las normas y especificaciones, la cromatografía se emplea en el control de calidad:

- **Pureza del producto:** Determinación de la pureza del biodiésel, bioetanol, biobutanol, etc., mediante GC y HPLC.
- **Detección de contaminantes:** Identificación de contaminantes como glicerol, metanol, y otros subproductos que puedan afectar el rendimiento del motor y las emisiones.

Análisis de subproductos y residuos

La producción de biocombustibles genera varios subproductos y residuos que también necesitan ser analizados como:

- **Valoración de subproductos:** La cromatografía permite analizar subproductos como glicerol (en la producción de biodiésel) para su posible uso en otros procesos industriales.
- **Tratamiento de residuos:** Identificación de compuestos presentes en residuos para su tratamiento adecuado y minimización de impactos ambientales.

Ejemplos de aplicaciones en la producción de biocombustibles

- **Análisis de lípidos en algas:** La HPLC se utiliza para analizar el contenido de lípidos en algas, que son una fuente potencial de biodiésel.
- **Determinación de azúcares en biomasa lignocelulósica:** La GC y HPLC permiten cuantificar los azúcares liberados durante la hidrólisis de la biomasa lignocelulósica, crucial para la producción de bioetanol.
- **Caracterización de biocombustibles avanzados:** Para biocombustibles de segunda y tercera generación, la cromatografía ayuda a caracterizar y optimizar nuevos procesos de producción.

Aplicaciones en ecología química

La ecología química estudia las interacciones químicas entre organismos y su entorno. La cromatografía es una herramienta clave para identificar y caracterizar los compuestos químicos implicados en estas interacciones (Mbaluto et al., 2020).

Identificación de semioquímicos

Los semioquímicos son sustancias químicas que median la comunicación entre organismos. Estos incluyen feromonas, aleloquímicos y kairomonas, entre otros.

- **Feromonas:** Son sustancias químicas emitidas por un individuo que afectan el comportamiento o la fisiología de otro individuo de la misma especie. Por ejemplo, las feromonas sexuales en insectos que se utilizan para el monitoreo y control de plagas.

Aplicación de GC-MS: La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) permite la identificación precisa de feromonas en mezclas complejas, facilitando el desarrollo de trampas y cebos específicos para el control de plagas.

- **Aleloquímicos:** Son compuestos químicos que influyen en organismos de diferentes especies. Estos pueden ser alelopáticos, que inhiben el crecimiento de otras plantas, o atractivos para polinizadores y otros organismos beneficiosos.

Uso de HPLC: La HPLC se utiliza para aislar y cuantificar aleloquímicos en extractos de plantas, ayudando en el desarrollo de cultivos con propiedades alelopáticas para el control de malezas.

- **Kairomonas:** Son sustancias químicas emitidas por un organismo y detectadas por un organismo de otra especie, beneficiando al receptor, pero no al emisor. Un ejemplo es el uso de kairomonas en trampas para el manejo de insectos plaga. El identificar kairomonas activas en insectos plaga, mejora las estrategias de manejo integrado de plagas. La CG es ideal para este tipo de análisis (Montagné et al., 2022).

Beneficios de la cromatografía en la Biotecnología Agropecuaria

La integración de técnicas cromatográficas en la biotecnología agropecuaria ofrece múltiples beneficios:

- Mejora en el manejo de plagas: La identificación de semioquímicos específicos permite desarrollar métodos de control de plagas más efectivos y ambientalmente amigables.
- Optimización de producción agrícola: El análisis de compuestos bioactivos en plantas contribuye a la selección de cultivos con características deseables, como resistencia a enfermedades o mayor eficiencia en el uso de nutrientes.
- Sostenibilidad ambiental: La cromatografía ayuda a detectar y monitorizar contaminantes y residuos químicos en el medio ambiente, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles (Bandeira et al., 2021).

Cromatografía en la detección de plaguicidas en el campo agropecuario

La cromatografía es una técnica esencial en la detección y análisis de plaguicidas en el campo agropecuario. Los plaguicidas son sustancias químicas utilizadas para proteger los cultivos de plagas, enfermedades y malezas, pero su uso indebido puede tener efectos perjudiciales en la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, el monitoreo preciso y eficiente de los residuos de plaguicidas es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental (Narendran et al., 2020).

La detección de plaguicidas mediante cromatografía implica varios pasos clave: la extracción de los plaguicidas de las muestras agropecuarias, la separación de los componentes mediante técnicas cromatográficas, y la identificación y cuantificación de los plaguicidas mediante detectores adecuados.

Extracción de plaguicidas: La extracción es el primer paso crucial y puede realizarse mediante diversos métodos como la extracción en fase sólida (SPE), la extracción líquido-líquido (LLE), y la microextracción en fase sólida (SPME). Estos métodos buscan aislar y concentrar los plaguicidas presentes en las muestras.

Separación Cromatográfica: Una vez extraídos, los plaguicidas se separan utilizando técnicas cromatográficas. La elección de la técnica depende de las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas. La GC es preferida para plaguicidas volátiles, mientras que la HPLC es adecuada para aquellos que no son volátiles.

Detección y Cuantificación: Los plaguicidas separados se detectan y cuantifican utilizando diversos detectores. Los detectores de espectrometría de masas (MS) acoplados a GC o HPLC son altamente sensibles y específicos, permitiendo la identificación y cuantificación precisa de los plaguicidas. Otros detectores incluyen el detector de captura de electrones (ECD) y el detector de fotometría de llama (FPD) (Mandal et al., 2023).

Tipos de Cromatografía utilizada

Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC):

- Principio: Separación de compuestos basada en su interacción con una fase estacionaria y una fase móvil líquida.
- Aplicaciones: Utilizada para plaguicidas polares y no volátiles.
- Ventajas: Alta resolución, precisión y capacidad de manejar una amplia gama de compuestos.

Cromatografía de Gases (GC):

- Principio: Separación de compuestos volátiles en una fase gaseosa a través de una columna.
- Aplicaciones: Ideal para plaguicidas volátiles y semi-volátiles.
- Ventajas: Alta sensibilidad y selectividad, especialmente cuando se acopla con detectores específicos.

Métodos de Detección

Detección por Espectrometría de Masas (MS):

- Principio: Ionización de moléculas y análisis de su relación masa/carga (m/z).
- Aplicaciones: Usado conjuntamente con HPLC o GC (HPLC-MS, GC-MS) para identificar y cuantificar plaguicidas.
- Ventajas: Alta sensibilidad y especificidad, capaz de identificar compuestos en concentraciones muy bajas.

Detección por Fotometría de Llama (FID):

- Principio: Detección basada en la ionización de compuestos orgánicos en una llama de hidrógeno.
- Aplicaciones: Frecuentemente usado en GC.
- Ventajas: Alta sensibilidad para compuestos orgánicos, simple y robusto.

Detección por Captura de Electrones (ECD):

- Principio: Detecta compuestos que capturan electrones, típicamente halogenados.
- Aplicaciones: Adecuado para detectar plaguicidas organoclorados.
- Ventajas: Muy sensible para compuestos con alta afinidad electrónica.

Procedimiento general

a) Muestreo y preparación de la muestra:

- Las muestras de frutas y vegetales son recolectadas y preparadas (lavadas, peladas, cortadas) según protocolos estandarizados.
 - Se realiza una extracción de plaguicidas utilizando disolventes apropiados, seguido de una limpieza del extracto (p.ej., mediante técnicas de QuEChERS).
- b) Análisis cromatográfico:
- El extracto purificado se inyecta en el sistema cromatográfico (HPLC o GC).
 - Se procede a la separación de los compuestos de interés en la columna cromatográfica.
- c) Detección y cuantificación:
- Los compuestos separados son detectados mediante los detectores mencionados (MS, FID, ECD).
 - Los resultados son comparados con estándares conocidos para identificar y cuantificar los plaguicidas presentes en la muestra.

Ventajas y Desafíos

- Ventajas: Alta sensibilidad, especificidad y capacidad para analizar múltiples plaguicidas simultáneamente.
- Desafíos: Necesidad de equipamiento especializado y personal capacitado, costos elevados y la complejidad de la preparación de muestras.

Normativas y Regulaciones

El análisis de plaguicidas en frutas y vegetales está regulado por organismos internacionales y nacionales (COFEPRIS, EFSA, EPA, FDA). Estas entidades establecen límites máximos de residuos (LMRs) y proporcionan directrices para los métodos analíticos aceptables.

En resumen, la cromatografía y la detección de plaguicidas son esenciales para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud pública. La combinación de técnicas avanzadas de separación y detección permite un análisis preciso y confiable de residuos de plaguicidas en frutas y vegetales.

CONCLUSIONES

La cromatografía es una herramienta indispensable en la biotecnología agropecuaria, proporcionando métodos precisos y fiables para el análisis y purificación de una amplia variedad de compuestos biológicos. Su aplicación en la producción de proteínas, el análisis de metabolitos secundarios, la detección de contaminantes, el mejoramiento genético y la evaluación de la composición nutricional es crucial para el avance y la sostenibilidad de la agricultura y la ganadería. Con el continuo desarrollo de nuevas tecnologías y métodos, la cromatografía seguirá siendo un pilar fundamental en la biotecnología agropecuaria, contribuyendo a la mejora de la productividad y la calidad en este sector vital.

BIBLIOGRAFÍA

- Akash, M. S. H., Rehman, K., Akash, M. S. H., & Rehman, K. (2020). High performance liquid chromatography. *Essentials of pharmaceutical analysis*, 175-184.
- Andrade-Eiroa, A., Canle, M., Leroy-Cancellieri, V., & Cerda, V. (2016). Solid-phase extraction of organic compounds: A critical review (Part I). *TrAC-Trends in Analytical Chemistry*, 80, 641–654. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.08.015>.
- Bandeira, P. T., Fávoro, C. F., Francke, W., Bergmann, J., & Zarbin, P. H. G. (2021). Aggregation pheromones of weevils (Coleoptera: Curculionidae): advances in the identification and potential uses in semiochemical-based pest management strategies. *Journal of Chemical Ecology*, 1-19.
- Beccaria, M., Siqueira, A. L. M., Maniquet, A., Giusti, P., Piparo, M., Stefanuto, P. H., & Focant, J. F. (2021). Advanced mono-and multi-dimensional gas chromatography–mass spectrometry techniques for oxygen-containing compound characterization in biomass and biofuel samples. *Journal of Separation Science*, 44(1), 115-134.
- Bharani, K. S. V., Khatoon, R., Lalchandani, D. S., Chenkual, L., & Porwal, P. K. (2024). Determination of α -oxo-aldehydes and furfurals using HPLC-PDA-ELSD method in sugar-containing food products. *Food Chemistry Advances*, 4, 100614.
- Bingman, M. T., Stellick, C. E., Pelkey, J. P., Scott, J. M., & Cole, C. A. (2020). Monitoring cider aroma development throughout the fermentation process by headspace solid phase microextraction (HS-SPME) gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) analysis. *Beverages*, 6(2), 40.
- Castro-Mejías, R., Natera-Marín, R., Durán-Guerrero, E., & García-Barroso, C. (2008). Application of solid phase extraction techniques to analyse volatile compounds in wines and other enological products. *European Food Research and Technology*, 228(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0900-4>.
- Cheng, Y., Han, L., Huang, L., Tan, X., Wu, H., & Li, G. (2023). Association between flavor composition and sensory profile in thermally processed mandarin juices by multidimensional gas chromatography and multivariate statistical analysis. *Food Chemistry*, 419, 136026.
- Costa Freitas, A. M., Gomes da Silva, M. D. R., & Cabrita, M. J. (2012). Sampling techniques for the determination of volatile components in grape juice, wine and alcoholic beverages. In *Comprehensive sampling and sample preparation* (Vol. 4, pp. 27–41). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381373-2.00126-5>.
- Dayani, M. T., Ambagaspitiya, A. W. T. D., Atapattu, S. N., & Ariyasena, T. C. (2024). Determination of experimental solute descriptor values for safrole by liquid-liquid partitioning and gas chromatography. *Physics and Chemistry of Liquids*, 1-7.

- Dongare, M. V. S., Kohale, N. B., & Rathod, S. B. (2023). A review of chromatograph: Principal, classification, application. *Int. J. Humanit. Soc. Sci. Manag*, 3(2), 367-373.
- Gupta, M. K., & Biswas, P. K. (2023). Chromatography: Basic principle, types, and applications. In *Basic Biotechniques for Bioprocess and Bioentrepreneurship* (pp. 173-182). Academic Press.
- Heftmann, E. (2004) *Chromatography, 6th edn. Fundamentals and applications of chromatography and related differential migration methods. Part A: fundamentals and techniques. Part B: applications. J. Chromatog Library Ser vols 69A and 69B.* Elsevier, Amsterdam.
- Hirpessa, B. B., Ulusoy, B. H., & Hecer, C. (2020). Hormones and hormonal anabolics: residues in animal source food, potential public health impacts, and methods of analysis. *Journal of Food Quality*, 2020(1), 5065386.
- Herrington, J. S., Gómez-Ríos, G. A., Myers, C., Stidsen, G., & Bell, D. S. (2020). Hunting molecules in complex matrices with spme arrows: A review. *Separations*, 7(1), 12.
- Hossienizadeh, S. M. J., Bagheri, M., Alizadeh, M., Rahimi, M., Azimi, S. M., Kamalzade, M., ... & Ghassempour, A. (2021). Two dimensional anion exchange-size exclusion chromatography combined with mathematical modeling for downstream processing of foot and mouth disease vaccine. *Journal of Chromatography A*, 1643, 462070.
- Ismail, B. P. (2017). *Basic Principles of Chromatography.* Food Analysis, 185-211.
- Jiang, Q., Wang, Y., Li, H., & Chen, D. D. (2020). Combining online size exclusion chromatography and electrospray ionization mass spectrometry to characterize plant polysaccharides. *Carbohydrate polymers*, 246, 116591.
- Jisha, K. J., Athira, K. K., Priyanka, V. P., & Gardas, R. L. (2023). Liquid-liquid extraction. In *Handbook of Biomolecules* (pp. 227-239). Elsevier.
- Jones Jr, J. B. (2005). *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower.* CRC Press.
- Kanu, A. B. (2021). Recent developments in sample preparation techniques combined with high-performance liquid chromatography: A critical review. *Journal of Chromatography A*, 1654, 462444.
- Kaur, B., Sandhu, K. S., Kamal, R., Kaur, K., Singh, J., Röder, M. S. & Muqaddasi, Q. H. (2021). Omics for the improvement of abiotic, biotic, and agronomic traits in major cereal crops: Applications, challenges, and prospects. *Plants*, 10(10), 1989.
- Kozaki, D., Sago, Y., Fujiwara, T., Mori, M., Kubono, C., Koga, T. & Tachibana, T. (2021). Ion-exclusion/cation-exchange chromatography using dual-ion-exchange groups for simultaneous determination of inorganic ionic nutrients in fertilizer solution samples for the management of hydroponic culture. *Agronomy*, 11(9), 1847.
- Kumar, A., Bhattacharyya, A., Shinde, R., Dhanshetty, M., Elliott, C. T., & Banerjee, K. (2020). Development and validation of a multiresidue method for pesticides and selected veterinary drugs

in animal feed using liquid-and gas chromatography with tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1627, 461416.

- Kumar, S., Jyotirmayee, K., & Sarangi, M. (2013). Thin layer chromatography: a tool of biotechnology for isolation of bioactive compounds from medicinal plants. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 18(1), 126-132.
- Kumari, P., Saldanha, M., Jain, R., & Dandekar, P. (2023). Controlling monoclonal antibody aggregation during cell culture using medium additives facilitated by the monitoring of aggregation in cell culture matrix using size exclusion chromatography. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 115575.
- Li, C., Begum, A., & Xue, J. (2020). Analytical methods to analyze pesticides and herbicides. *Water Environment Research*, 92(10), 1770-1785.
- Li, K. M., Rivory, L. P., & Clarke, S. J. (2006). Solid-phase extraction (SPE) techniques for sample preparation in clinical and pharmaceutical analysis: a brief overview. *Current Pharmaceutical Analysis*, 2(2), 95-102.
- Li, Z., Yu, B., Cong, H., Yuan, H., & Peng, Q. (2017). Recent Development and Application of Solid Phase Extraction Materials. *Rev. Adv. Mater. Sci*, 48, 87–111.
- Mandal, S., Poi, R., Hazra, D. K., Ansary, I., Bhattacharyya, S., & Karmakar, R. (2023). Review of extraction and detection techniques for the analysis of pesticide residues in fruits to evaluate food safety and make legislative decisions: Challenges and anticipations. *Journal of Chromatography B*, 1215, 123587.
- Martins, L. C., Acevedo, M. S. M., Gama, M. R., & Rocha, F. R. (2024). Salt-assisted liquid-liquid extraction and on-column concentration for chromatographic determination of phenolic compounds in beer. *Advances in Sample Preparation*, 100107.
- Mbaluto, C. M., Ayelo, P. M., Duffy, A. G., Erdei, A. L., Tallon, A. K., Xia, S., & Becher, P. G. (2020). Insect chemical ecology: chemically mediated interactions and novel applications in agriculture. *Arthropod-plant interactions*, 14, 671-684.
- Moein, M. M., Said, R., Bassyouni, F., and AbdelRehim, M., (2014), Solid Phase Microextraction and Related Techniques for Drugs in Biological Samples. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 921350. <http://dx.org/10.1155/2014/921350>.
- Moniente, M., Botello-Morte, L., García-Gonzalo, D., Virto, R., Pagán, R., Ferreira, V., & Ontañón, I. (2023). Combination of SPE and fluorescent detection of AQC-derivatives for the determination at sub-mg/L levels of biogenic amines in dairy products. *Food Research International*, 165, 112448.
- Montagné, N., Gévar, J., & Lucas, P. (2022). Semiochemicals and communication in insects. In *Extended Biocontrol* (pp. 173-181). Dordrecht: Springer Netherlands.

- Muriana, M. D. M. A. (2023). Evaluation of Advanced Analytical Methodologies for the Control of Pesticides and Natural Toxins in Waters, Food and Nutraceuticals (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).
- Narendran, S. T., Meyyanathan, S. N., & Babu, B. J. F. R. I. (2020). Review of pesticide residue analysis in fruits and vegetables. Pre-treatment, extraction and detection techniques. *Food Research International*, 133, 109141.
- Nováková, L., & Vlčková, H. (2009). A review of current trends and advances in modern bio-analytical methods: chromatography and sample preparation. *Analytica chimica acta*, 656(1-2), 8-35.
- Ojiewo, C. O., Janila, P., Bhatnagar-Mathur, P., Pandey, M. K., Desmae, H., Okori, P., & Varshney, R. K. (2020). Advances in crop improvement and delivery research for nutritional quality and health benefits of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Frontiers in Plant Science*, 11, 29.
- Pati, S., Tufariello, M., Crupi, P., Coletta, A., Grieco, F. & Losito, I. (2021). Quantification of volatile compounds in wines by HS-SPME-GC/MS: Critical issues and use of multivariate statistics in method optimization. *Processes*, 9(4), 662.
- Rathinavel, K., Chandran, S., Chellamuthu, A., Adhimoolam, K., Sampathrajan, V., Rajasekeran, R. & Natesan, S. (2023). Marker-Assisted Genetic Enhancement of Provitamin A in Parental Lines of Sweet Corn Hybrids. *ACS Agricultural Science & Technology*, 4(1), 34-42.
- Razak, A., Altaf, I., Anjum, A. A., & Awan, A. R. (2023). Preparation of purified vaccine from local isolate of foot and mouth disease virus and its immune response in bovine calves. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(7), 103709.
- Robards, K., & Ryan, D. (2021). Principles and practice of modern chromatographic methods. Academic Press.
- Rodríguez, E. L., Poddar, S., Iftexhar, S., Suh, K., Woolfork, A. G., Ovbude, S., ... & Hage, D. S. (2020). Affinity chromatography: A review of trends and developments over the past 50 years. *Journal of Chromatography B*, 1157, 122332.
- Šikuten, I., Štambuk, P., Karoglan Kontić, J., Maletić, E., Tomaz, I., & Preiner, D. (2021). Optimization of SPME-Arrow-GC/MS method for determination of free and bound volatile organic compounds from grape skins. *Molecules*, 26(23), 7409.
- Singh, A. R., Singh, S. K., & Jain, S. (2022). A review on bioenergy and biofuel production. *Materials today: proceedings*, 49, 510-516.
- Snyder, L. R., & Dolan, J. W. (2023). Liquid–solid chromatography. In *Liquid Chromatography* (pp. 75-87). Elsevier.
- Sparks, D. L. (Ed.). (2003). *Advances in Agronomy* (Vol. 79). Academic Press.
- Stachniuk, A., Sumara, A., Montowska, M., & Fornal, E. (2021). Liquid chromatography–mass spectrometry bottom-up proteomic methods in animal species analysis of processed meat for food authentication and the detection of adulterations. *Mass spectrometry reviews*, 40(1), 3-30.

- Tiji, S., Benayad, O., Berrabah, M., El Mounsi, I., & Mimouni, M. (2021). Phytochemical profile and antioxidant activity of *Nigella sativa* L growing in Morocco. *The Scientific World Journal*, 2021(1), 6623609.
- Vinoth-Kumar, R., Ganesh Moorthy, I., Goswami, L., Pugazhenthii, G., Pakshirajan, K., Silva, A. M., & Morales-Torres, S. (2020). Analytical methods in biodiesel production. *Biomass valorization to bioenergy*, 197-219.
- Wongngam, W., Hamzeh, A., Tian, F., Roytrakul, S., & Yongsawatdigul, J. (2023). Purification and molecular docking of angiotensin converting enzyme-inhibitory peptides derived from corn gluten meal hydrolysate and from in silico gastrointestinal digestion. *Process Biochemistry*, 129, 113-120.
- Yang, Y., Saand, M. A., Huang, L., Abdelaal, W. B., Zhang, J., Wu, Y. & Wang, F. (2021). Applications of multi-omics technologies for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 12, 563953.
- Yao, H., Xu, Y. L., Liu, W., Lu, Y., Gan, J. H., Liu, Y., & Xu, C. H. (2022). Taste compounds generation and variation of broth in pork meat braised processing by chemical analysis and an electronic tongue system. *Journal of Food Biochemistry*, 46(6), e13766.
- Zhang, Q. H., Zhou, L. D., Chen, H., Wang, C. Z., Xia, Z. N., & Yuan, C. S. (2016). Solid-phase microextraction technology for in vitro and in vivo metabolite analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 80, 57-65.
- Zhang, W., Yu, X., Xin, L., Xu, S., & Meng, X. (2024). Effect of rapid fermentation on the quality of northeastern sauerkraut analyzed based on HSSPME-GC-MS and LC-MS. *LWT*, 198, 116005.
- Zhou, B., Liu, X., Lan, Q., Wan, F., Yang, Z., Nie, X., & Laghi, L. (2024). Comparison of Aroma and Taste Profiles of Kiwi Wine Fermented with/without Peel by Combining Intelligent Sensory, Gas Chromatography-Mass Spectrometry, and Proton Nuclear Magnetic Resonance. *Foods*, 13(11), 1729.

Índice Remissivo

A

agar, 194, 203
agaváceas, 191, 192, 203
Análisis proximal, 91

B

Bahía de Lobos, 8, 9, 10, 13
biofertilización, 6, 14

C

cactáceas, 191, 192, 193, 194, 201, 203
Convolvulus arvensis, 73, 74
Cromatografía de gases, 168

E

Extracción por arrastre de vapor, 28, 29
Extracción por maceración, 29, 30
extractos de plantas, 139, 146, 148

F

feromonas, 139, 142
fitoestabilización, 197, 203
Formulación, 206

I

in vitro, 139, 140, 141

M

metales pesados, 191, 192, 193, 194, 195, 196,
197, 198, 199, 200, 201, 202, 203
México, 208

P

Parkinsonia aculeata, 6, 8
Pleurotus, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56
Proteína cruda, 92
Pulsos ultrasónicos, 32

Q

Quitinasas, 63

S

semi-desierto, 9
semioquímicos, 139, 149

T

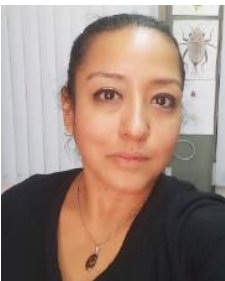
transgénicos, 139



Dr. Leandris Argente-Martínez. Profesor Investigador Titular C, del Tecnológico Nacional de México, Campus valle del Yaqui. Doctorado en Ciencias Biotecnológicas por el Instituto Tecnológico de Sonora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel 1. Profesor Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Líder del Cuerpo Académico ITVAYA-CA-3. Línea de investigación: Agricultura sustentable, Fisiología, Bioquímica, Biología Celular y Molecular del estrés.



Dra. Ofelda Peñuelas-Rubio. Profesora Investigadora Titular C, del Tecnológico Nacional de México, Campus valle del Yaqui. Doctorado en Ciencias Biotecnológicas por el Instituto Tecnológico de Sonora. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel 1. Profesora Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Miembro del Cuerpo Académico ITVAYA-CA-3. Línea de investigación: Agricultura sustentable, Fisiología, Bioquímica, Biología Celular y Molecular de sistemas terrestres y costeros.



Dra. Lucila Perales-Aguilar. Profesora Investigadora del Tecnológico Nacional de México, miembro del S.N.I. candidata, con experiencia en biotecnología de plantas del semidesierto y remediación de suelos contaminados con metales pesados. Profesor con perfil deseable de la Secretaría de Educación Pública. Línea de investigación sobre Producción de Cactáceas y Agavaceas *in vitro* y remediación de suelos del semidesierto



Dr. Ugur Azizoglu es profesor asociado en el Departamento de Producción Agrícola y Animal de la Universidad de Kayseri y actualmente continúa su investigación en el Centro de Células Madre y Genoma de la Universidad Erciyes (GENKÖK), Türkiye. Se graduó de la Facultad de Ciencias y del Departamento de Biología de la Universidad Erciyes en julio de 2007 y obtuvo una Maestría en Ciencias en Biología en junio de 2009. Completó su doctorado en el Departamento de Biología de la Universidad Erciyes en 2014. El enfoque de sus estudios es la biotecnología microbiana, el control biológico, las bacterias genéticamente modificadas y las

bacterias promotoras del crecimiento de las plantas. El Dr. Azizoglu ha participado en numerosas conferencias y talleres y se ha desempeñado como revisor de revistas internacionales.



El presente compendio científico “Biotecnología agropecuaria aplicada” aborda temas relevantes del área agropecuaria. Se hace énfasis en el aprovechamiento de microorganismos bacterianos y fúngicos y su potencial uso en los agroecosistemas. Estas aplicaciones con la finalidad de promover prácticas sustentables de producción, desde la promoción del crecimiento vegetal en condiciones ambientales adversas, el biocontrol de fitopatógenos y malezas, así como la biorremediación. También se exploran metodologías novedosas para la obtención de compuestos antioxidantes y antifúngicos. Además, se presentan avances en la elaboración de nuevos alimentos para la producción acuícola, como alternativas para la nutrición efectiva.

Los trabajos aquí presentados constituyen evidencias de los pasos sólidos que dan los diferentes grupos de investigación nacionales e internacionales del área de la biotecnología agropecuaria. Se agradece la participación de los autores que pertenecen al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII-CONAHCYT) de los Estados Unidos Mexicanos.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br