

## **Muestra Académica**

### **Asignatura: Química III**

# **Tratamiento bioquímico de contaminantes**

**Curso: Química III IA330**

**Docente: Vladimir Gaviria González**

**Programa académico: Ingeniería Ambiental**

**Objetivo de la actividad:** Promover la búsqueda de artículos científicos en las bases de datos institucionales en una segunda lengua (sugerido inglés) en el que se aborden desarrollos relacionados con el tratamiento bioquímico de contaminantes destacando los procesos metabólicos y reacciones enzimáticas implícitas

**Producto a divulgar: póster**



# XXVII

SEMANA DE LA FACULTAD

## ARQUITECTURA E INGENIERÍA

### Contaminación del Suelo

#### (Fuentes, Impactos y Estrategias de Remediación)

Naffer Orejuela, Paola Guisao, Jesús Urrego

Química III

#### Introducción

En la revisión bibliográfica se analizan diferentes estrategias de remediación de suelos contaminados, desde enfoques complementarios. El primero se centra en la contaminación por arsénico (As) y las técnicas de remediación físico-químicas y biológicas; el segundo aborda la degradación de pesticidas mediante enzimas microbianas; y el tercero estudia la fitorremediación de metales pesados usando plantas hiperacumuladoras. En conjunto, los trabajos muestran que la contaminación del suelo causada por actividades agrícolas e industriales representa un grave riesgo ambiental y para la salud humana, y que las tecnologías biológicas sostenibles son actualmente las alternativas más prometedoras.

#### Metodología

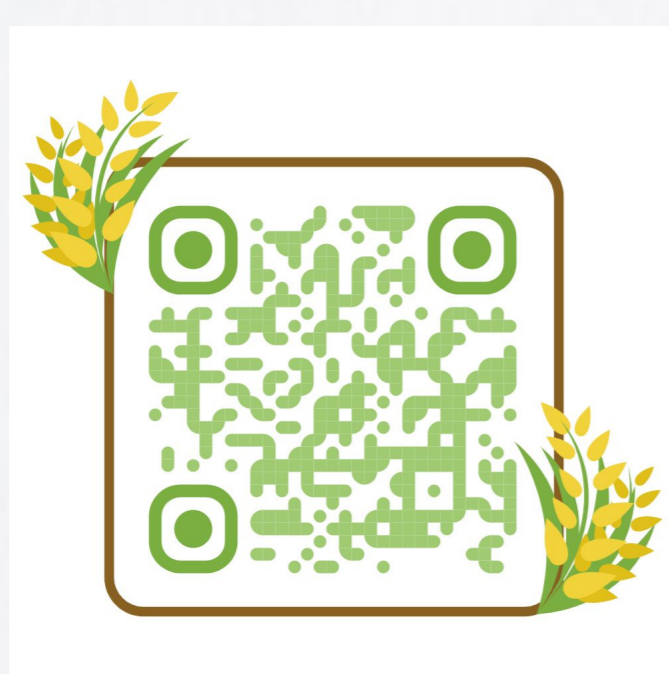
La investigación se desarrolló mediante una revisión y análisis de artículos científicos enfocados en la contaminación del suelo por pesticidas, arsénico y metales pesados, así como en las principales tecnologías biológicas utilizadas para su remediación. Los estudios analizados incluyeron investigaciones experimentales, revisiones sistemáticas y ensayos de laboratorio y campo relacionados con biorremediación, fitorremediación y uso de microorganismos degradadores.

Se evaluaron:

- Fuentes de contaminación del suelo,
- Efectos tóxicos sobre ecosistemas y salud humana,
- Mecanismos de degradación biológica,
- Acción de enzimas microbianas,
- Capacidad de plantas hiperacumuladoras,
- Influencia de factores fisicoquímicos como pH, temperatura y humedad,
- Tecnologías emergentes como ingeniería genética, biochar, encapsulación y nanopartículas.

La información recopilada permitió comparar diferentes estrategias de descontaminación y determinar las alternativas más sostenibles y eficientes para la recuperación ambiental de suelos contaminados.

#### Referencias



#### Resultados y análisis de resultados

Estos contaminantes permanecen durante largos periodos en el suelo, afectando ecosistemas, aguas subterráneas y la salud humana.

Se evidenció que los contaminantes pueden provocar:

- Toxicidad en organismos vivos, pérdida de fertilidad del suelo, estrés en las plantas, enfermedades como cáncer y trastornos respiratorios.

Los resultados mostraron que los métodos biológicos son más sostenibles y menos contaminantes que los métodos físico-químicos tradicionales.

Entre los principales hallazgos se encontró que:

- Las enzimas microbianas degradan pesticidas tóxicos, bacterias y hongos ayudan a transformar contaminantes, las plantas hiperacumuladoras absorben metales pesados, microorganismos asociados aumentan la eficiencia de fitorremediación.

#### Conclusiones:

La contaminación del suelo por compuestos tóxicos representa una amenaza importante para el ambiente, la biodiversidad y la salud humana. Los estudios analizados demuestran que las estrategias biológicas como la biorremediación y la fitorremediación constituyen alternativas sostenibles, ecológicas y eficientes para recuperar suelos contaminados.

El uso de microorganismos, enzimas y plantas hiperacumuladoras permite degradar, transformar o inmovilizar contaminantes peligrosos reduciendo su toxicidad ambiental. Además, la combinación de biotecnología con técnicas modernas como biochar, ingeniería genética y nanopartículas incrementa la eficacia de los procesos de remediación.



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
COLEGIO MAYOR  
DE ANTIOQUIA®



## Estrategias Sostenibles en el Ciclo de Vida de los Detergentes: Desde la Formulación Ecológica hasta la Biorremediación y el Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales

Luisa Fernanda Gómez Sánchez – Santiago Ruedas Duran  
Docente: Vladimir Gaviria – Química III 2026-1

### Introducción

El uso masivo de detergentes y productos de cuidado personal (PPCPs) ha generado una creciente preocupación ambiental debido a la toxicidad de los tensioactivos sintéticos y su persistencia en los ecosistemas acuáticos. Históricamente, la industria se ha enfrentado al desafío de no solo crear productos eficaces, sino también de gestionar adecuadamente los residuos que estos generan tanto en su manufactura como tras su uso doméstico. Por ende este trabajo propone un enfoque integral que abarca todo su ciclo de vida para reducir su impacto ambiental mediante tres ejes:

- [1] formulación de productos ecológicos en el origen,
- [2] tratamiento industrial avanzado de efluentes,
- [3] biorremediación ecosistémica de contaminantes persistentes.

### Metodología

El estudio se dividió en tres fases:

**Formulación Ecológica:** Síntesis de detergentes utilizando extractos naturales de *Camellia oleifera*, ácido cítrico y etanol.

**Tratamiento de Efluentes:** Operación a escala de laboratorio de un sistema híbrido EC-MBR con aguas residuales reales de una planta de detergentes.

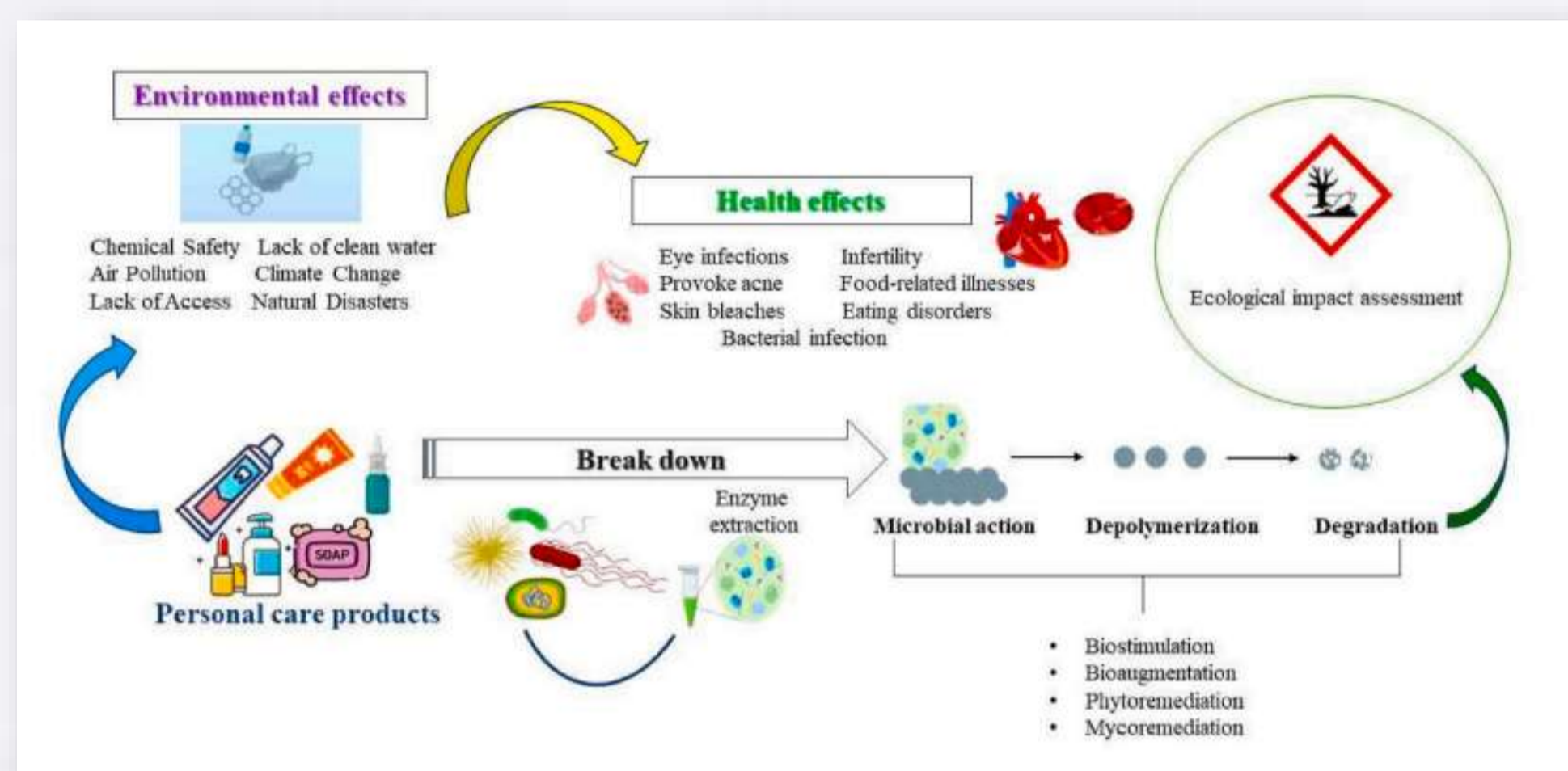
**Remediación Ambiental:** Evaluación sistemática de métodos de remediación microbiana y aplicación de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) para medir impactos ecotoxicológicos.

### Análisis de Resultados

**Detergente Sostenible:** La mezcla con extractos de *Camellia oleifera* logró una excelente formación de espuma y una eficiencia de limpieza de aceite del 93.7%, evitando químicos sintéticos.

**Biorremediación:** La acción microbiana confirmó ser económicamente viable y ecológicamente superior a los métodos químicos para degradar disruptores endocrinos en el agua.

**Depuración Industrial:** El sistema EC-MBR demostró alta eficiencia removiendo el 95.1% de la DQO y el 99.7% de surfactantes aniónicos, mitigando además el ensuciamiento de los filtros con un bajo consumo energético (1.75 kWh/m<sup>3</sup>).



### Objetivo general

Mitigar el impacto de los detergentes en su ciclo de vida integrando formulación ecológica, tratamiento de aguas residuales y biorremediación.

### Objetivo específico

- Formular detergentes biodegradables utilizando extractos naturales.
- Evaluar el sistema EC-MBR (electrocoagulación en biorreactor de membrana) para tratar efluentes industriales.
- Analizar la eficacia de la biorremediación y el Análisis de Ciclo de Vida (LCA).

### Conclusiones

- La sostenibilidad requiere un manejo holístico: desde insumos biodegradables, pasando por plantas de tratamiento eficientes, hasta la remediación biológica en la naturaleza.
- Los extractos naturales sustituyen eficazmente a los surfactantes químicos sin perder capacidad de limpieza.
- La tecnología EC-MBR soluciona el problema crítico del ensuciamiento de membranas industriales, facilitando la reutilización del agua.

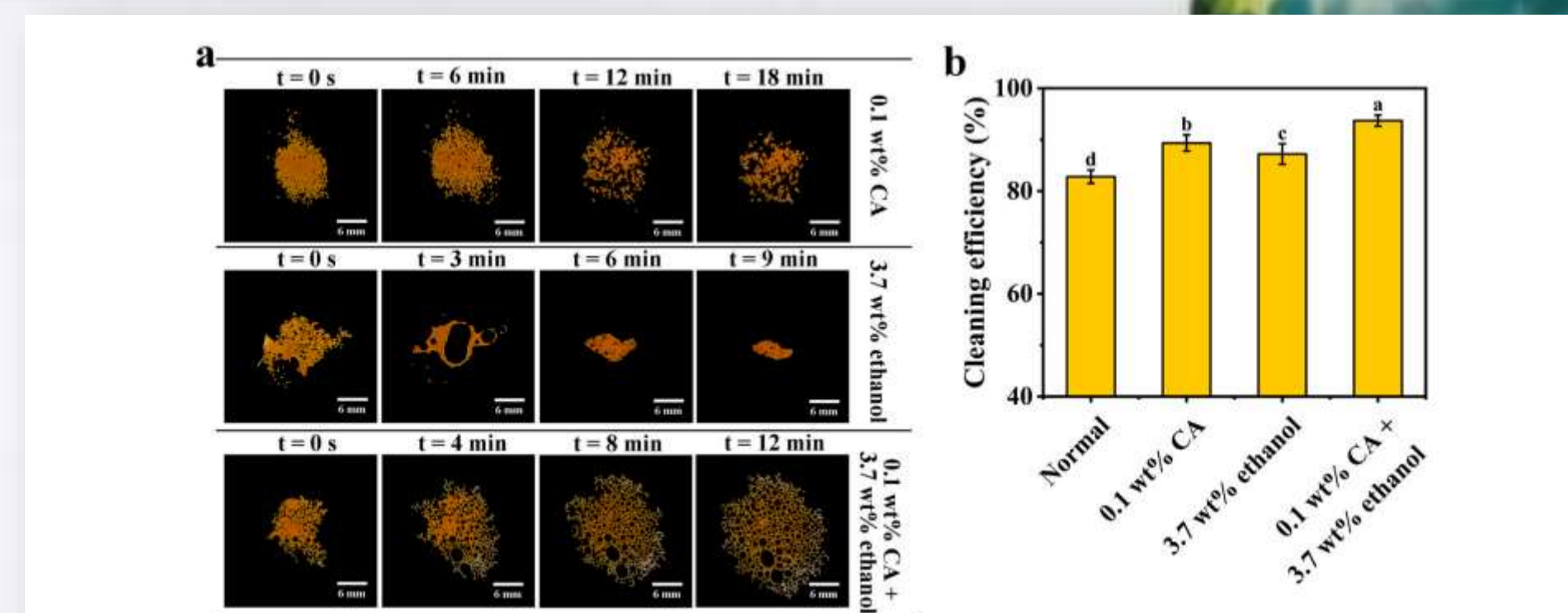
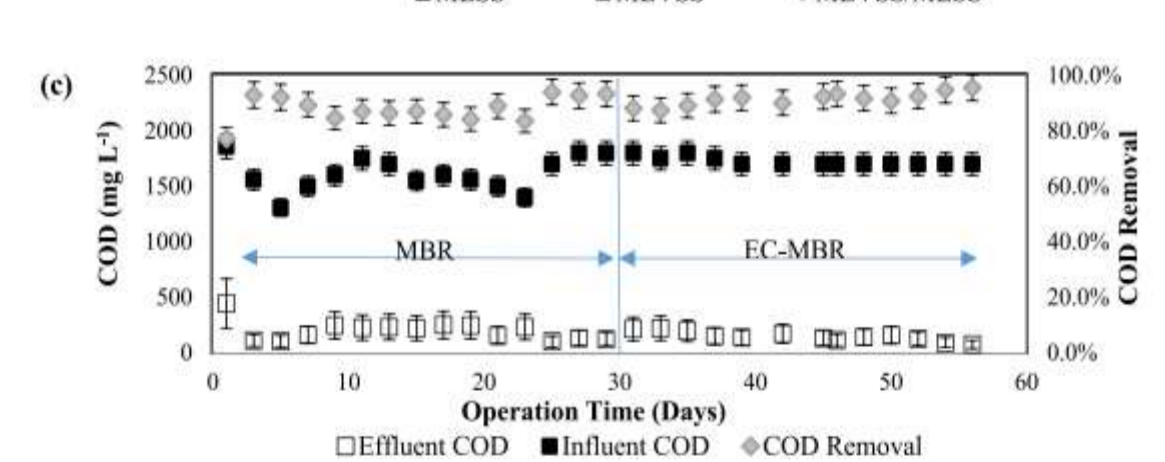
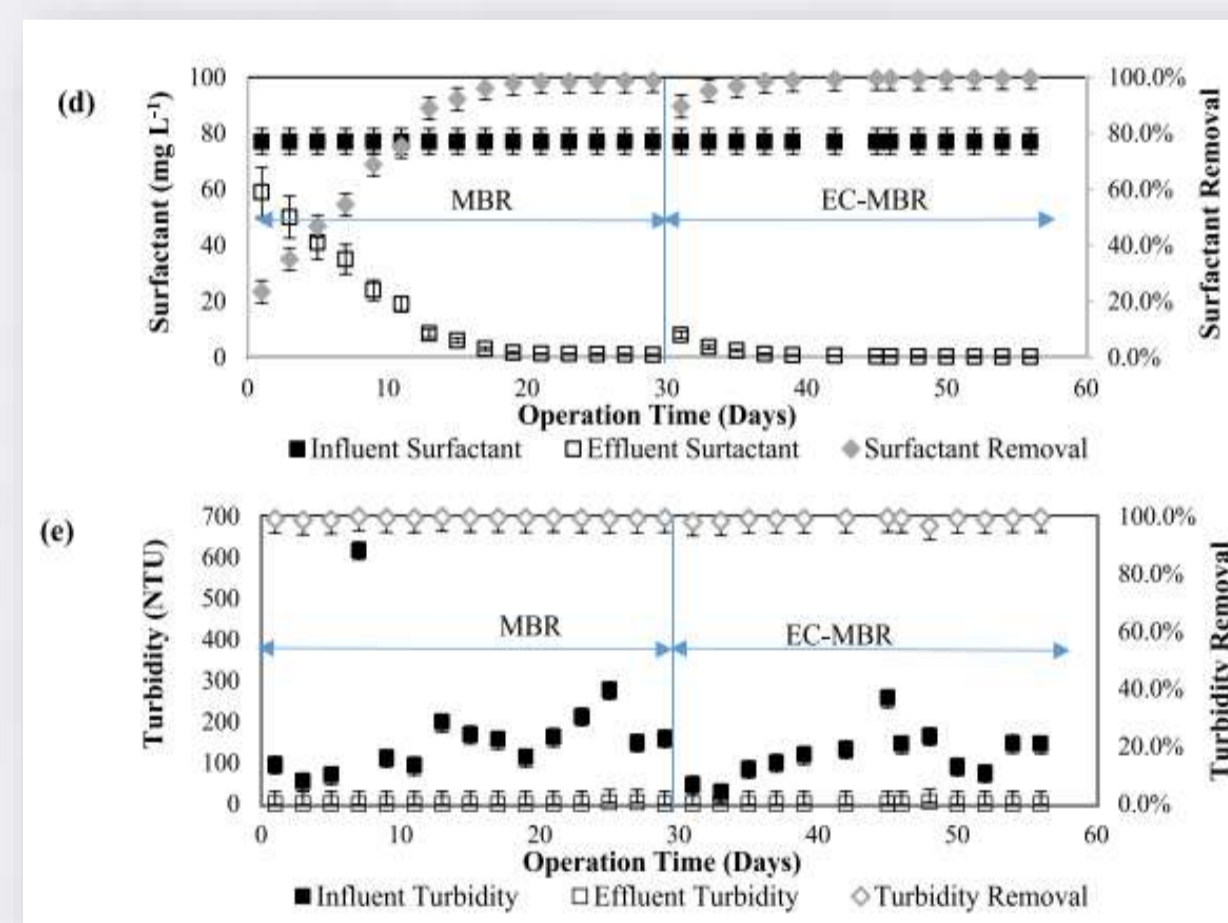
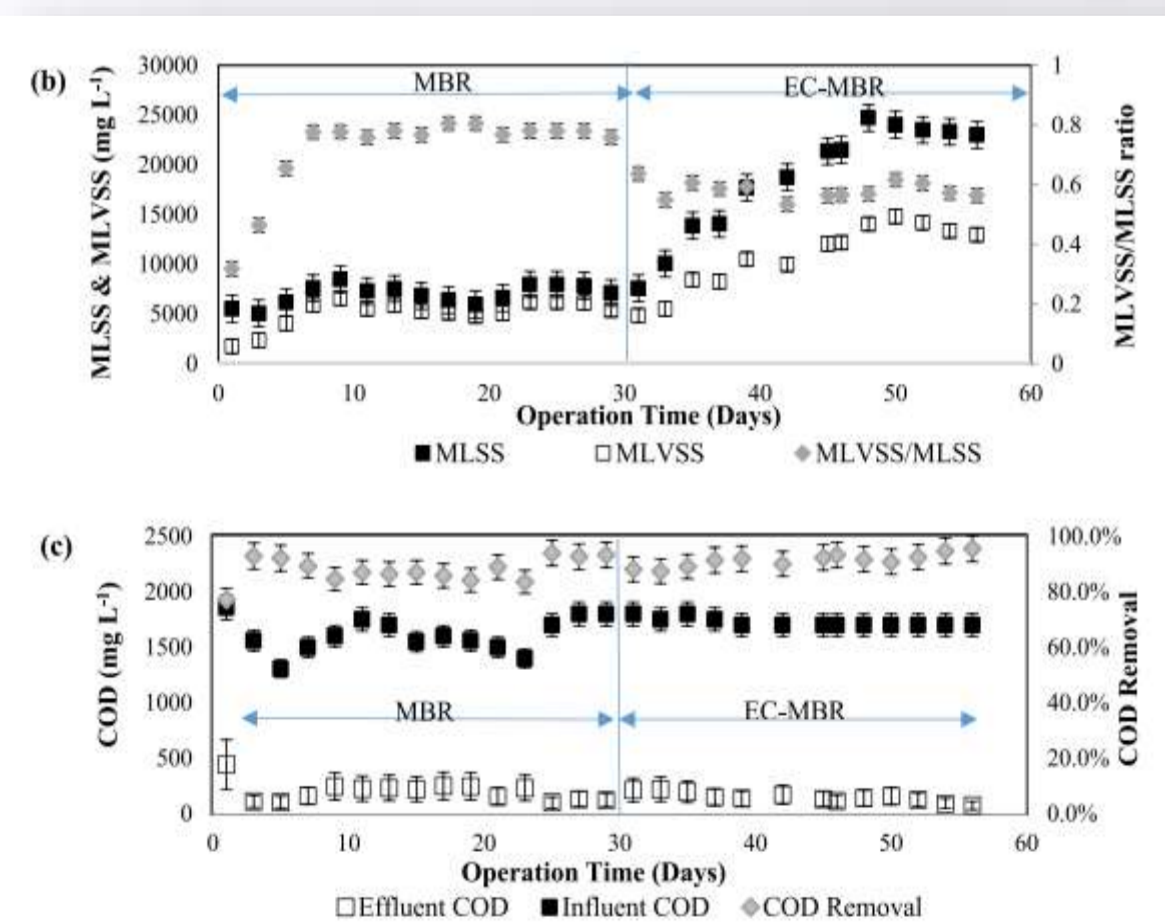


Fig. 9. Cleaning tests under different conditions. a, Photographs of the cleaning tests. b, Cleaning efficiency calculated by weighing method. Different letters indicate a significant difference at  $p < 0.05$ .

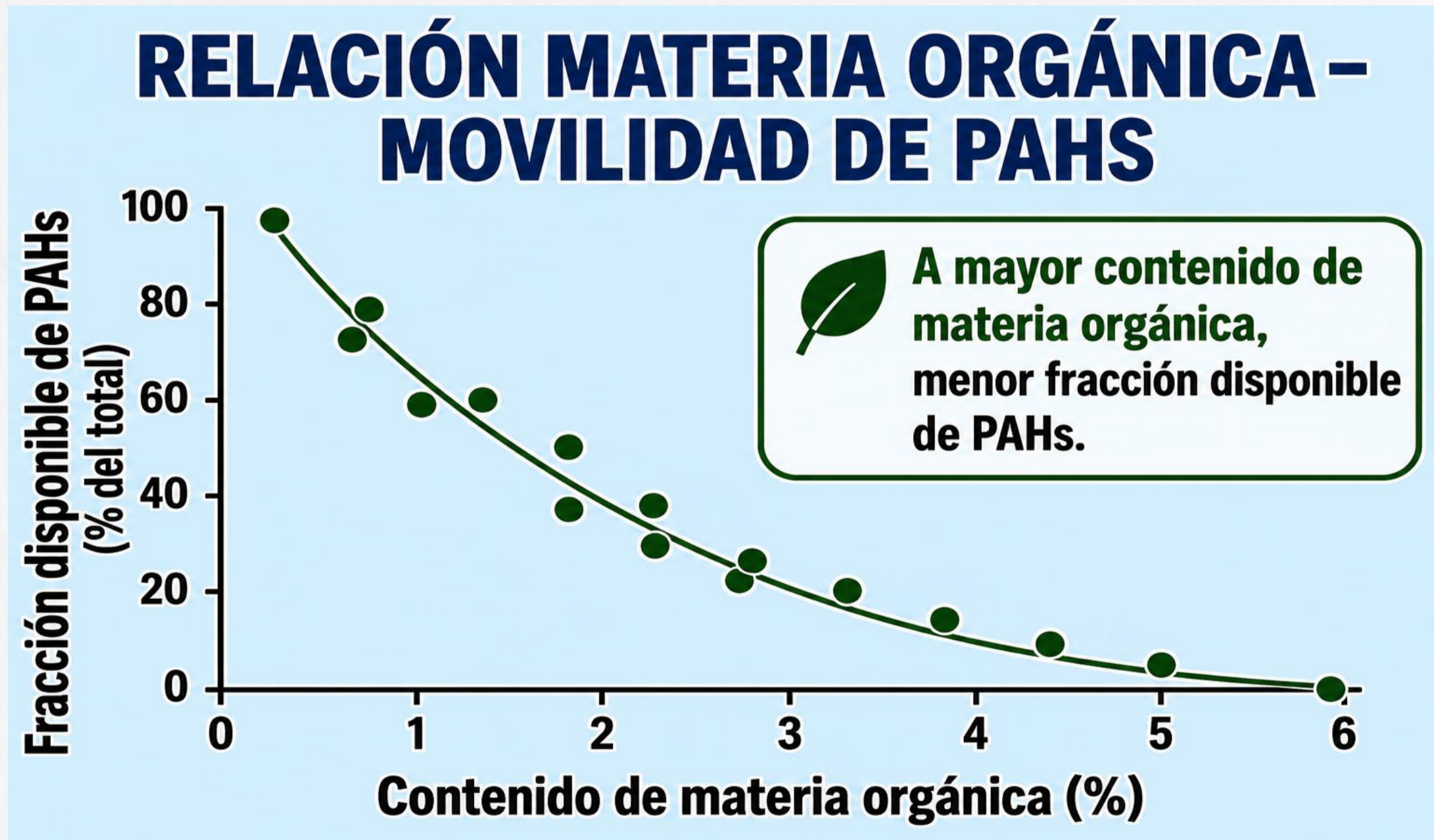
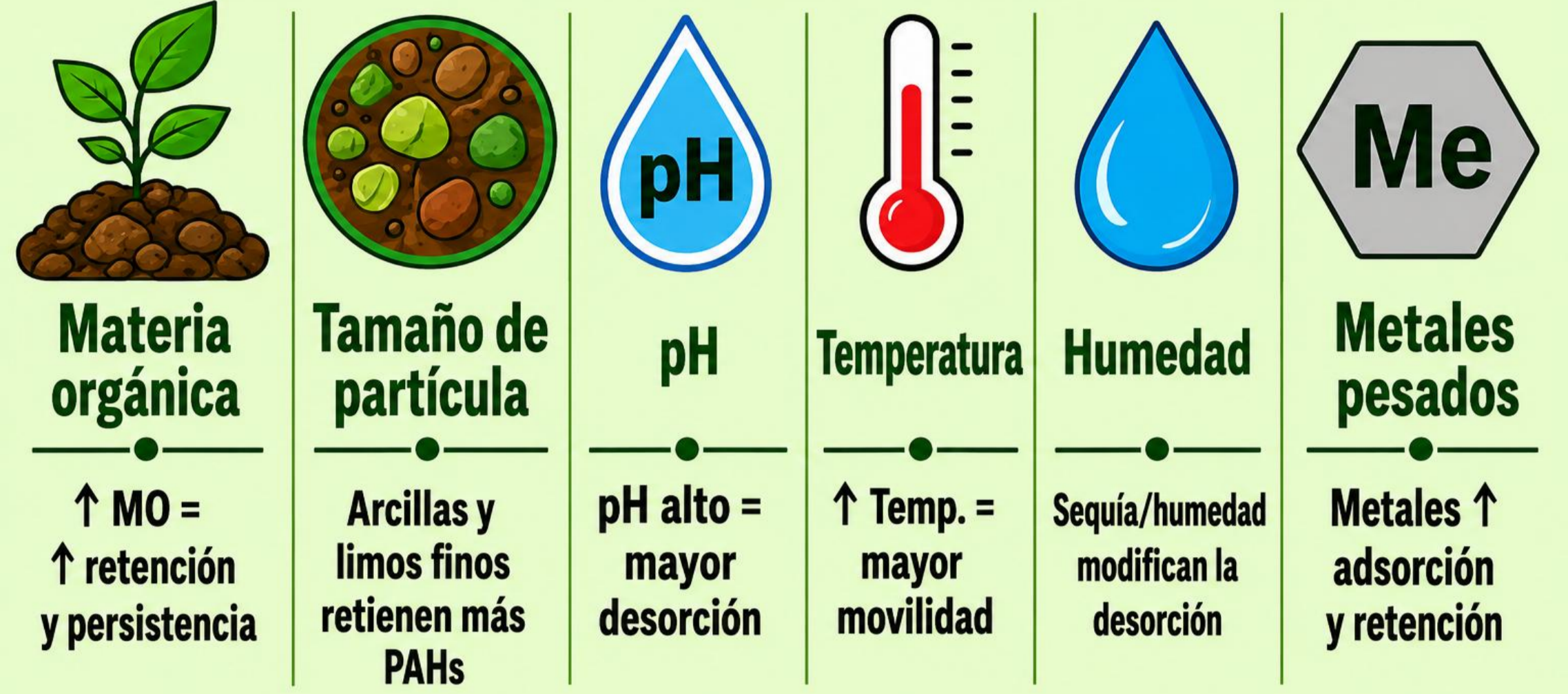
## IMPACTO DE LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAHs) EN SUELOS Y NORMATIVAS AMBIENTALES

¿Cómo afectan los PAHs las propiedades químicas del suelo y qué establecen las normativas ambientales sobre sus límites y control para mitigar sus impactos?

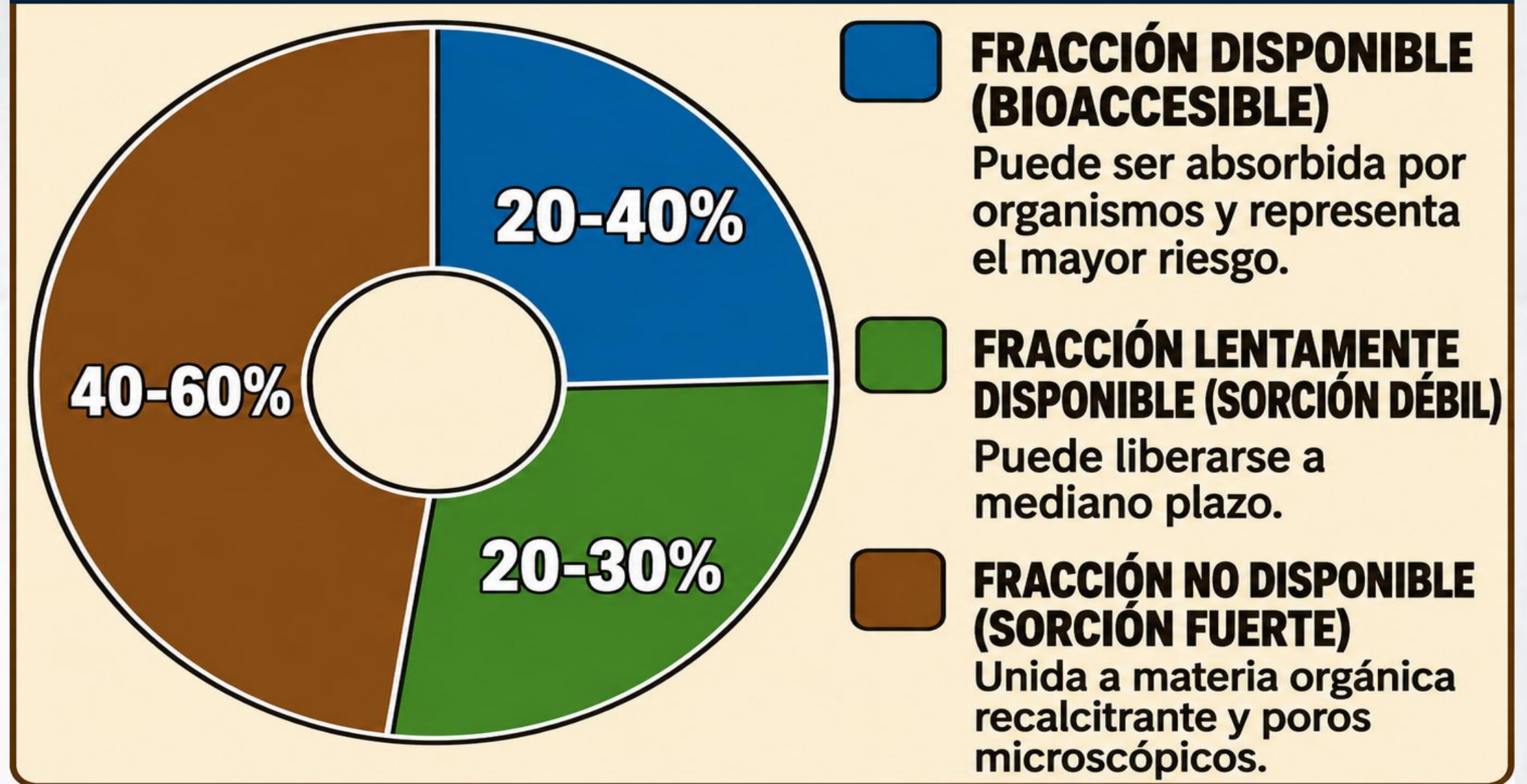
### PAHs: CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES



### FACTORES ABIÓTICOS QUE CONTROLAN LA BIOACCESIBILIDAD DE PAHs



### FRACCIONES DE PAHs EN EL SUELO



### LÍMITES Y NORMATIVAS AMBIENTALES PARA PAHs EN SUELOS

Entidad / País	Referencia Normativa	Parámetro	Uso del Suelo	Límite Máximo (µg/kg peso seco)
Unión Europea	Directiva 2006/118/CE (Protección aguas subterráneas)	Suma 16 PAHs	Valor umbral	2,0
US EPA	Regional Screening Levels (RSLs) (Actualización 2021)	Benzo[a]pireno (BaP)	Residencial	1.000
		Suma 16 PAHs	Industrial	22.000
Canadá	Canadian Soil Quality Guidelines (CCME, 2020)	Benzo[a]pireno (BaP)	Uso agrícola	1.400
Colombia	Resolución 0689 de 2016 (MADS)	Suma 16 PAHs	Industrial	10.000

\* Los límites pueden variar según el país y el uso del suelo (residencial, agrícola, industrial, conservación).

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Materia orgánica:** principal controlador de retención y persistencia
- pH, temperatura y humedad:** afectan desorción y movilidad
- Fracción disponible:** mayor riesgo ecológico y para la salud
- Metales pesados:** aumentan adsorción y toxicidad
- Bioaccessibilidad:** clave en la gestión del riesgo ambiental

### CONCLUSIONES

- PAHs alteran propiedades del suelo**
- Materia orgánica y partículas finas:** controlan persistencia
- Factores ambientales:** modifican movilidad
- Fracción disponible:** mayor riesgo
- Normativas ambientales:** establecen límites máximos para proteger salud y ecosistemas



Referencias bibliográficas

# Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos

LAURA MELISA DIAZ CORREA KAREN LONDOÑO VASQUEZ LAURA SOFIA SOTELO MAYA

La contaminación por hidrocarburos derivados del petróleo representa uno de los **principales problemas ambientales** debido a su toxicidad, persistencia y capacidad de afectar ecosistemas terrestres y acuáticos. El petróleo está compuesto por mezclas complejas de compuestos orgánicos, como **alcanos e hidrocarburos aromáticos**, muchos de ellos difíciles de degradar y capaces de bioacumularse en la cadena alimentaria. Frente a esta problemática, la biorremediación surge como una alternativa sostenible que utiliza microorganismos capaces de transformar estos contaminantes en sustancias menos tóxicas mediante diversas rutas metabólicas.

## Mediante degradación microbiana

Los microorganismos degradadores poseen enzimas especializadas capaces de romper las complejas estructuras químicas de los hidrocarburos. En condiciones aeróbicas, el primer paso suele ser la incorporación de oxígeno a la molécula mediante enzimas como monooxigenasas y dioxigenasas. Los microorganismos utilizan hidrocarburos como fuente de carbono y energía

### Degradación de hidrocarburos alifáticos (alcanos)

En los alcanos, la degradación inicia con la oxidación del grupo metilo terminal:

**Alcano** → **Alcohol** → **Aldehído** → **Ácido graso** → **Acetil-CoA** → **Ciclo de Krebs** → Al llegar al ciclo de Krebs se genera energía para el microorganismo. Además parte de ese **Acetil-CoA** se puede dirigir a rutas anabólicas como *gluconeogenesis* y la síntesis de *ácidos grasos*.

### Degradación de hidrocarburos aromáticos

Los hidrocarburos aromáticos *policíclicos (PAHs)* son más difíciles de degradar debido a su complejidad y estabilidad química. Los microorganismos primero oxidan el anillo aromático mediante **enzimas hidroxilasas**, formando compuestos intermedios como *dihidrodióles* y *catecoles*. Luego ocurre la ruptura del anillo aromático y los productos generados terminan integrándose al metabolismo celular hasta convertirse en **CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O**.

### Microorganismos degradadores:

Bacterias	Hongos
✓ <i>Pseudomonas</i>	✓ <i>Aspergillus</i>
✓ <i>Rhodococcus</i>	✓ <i>Penicillium</i>
✓ <i>Mycobacterium</i>	✓ <i>Phanerochaete</i>
✓ <i>Bacillus</i>	<i>chryso sporium</i>
✓ <i>Alcanivorax</i>	

### Tecnologías "ex situ"

Consiste en la excavación del suelo contaminado y su traslado a una zona de tratamiento, donde se acondiciona mediante trituración y clasificación, ya que los contaminantes suelen concentrarse en las partículas más finas. Posteriormente, se busca activar la degradación biológica mediante la bioestimulación, que consiste en añadir nutrientes y ajustar condiciones como pH, humedad y temperatura, y en algunos casos mediante bioaumentación, incorporando microorganismos específicos.

✓ **Landfarming:** el suelo se extiende y se trata en capas.

✓ **Biopilas o bioceldas:** acumulación controlada del suelo con condiciones optimizadas.

✓ **Biosuspensión:** tratamiento en medio líquido

### Fitorremediación

Es una técnica de biorremediación que utiliza plantas y los microorganismos asociados a sus raíces para degradar, estabilizar o remover contaminantes del suelo, especialmente hidrocarburos.

✓ Estimular la biodegradación de contaminantes en la zona de las raíces (**rizosfera**).

Uso de plantas para:

✓ Absorber contaminantes.

✓ Transformarlos.

✓ Inmovilizarlos o contenerlos.

Puede apoyarse en:

✓ Microorganismos del suelo (rizosfera).

✓ Enmiendas del suelo.

✓ Técnicas agronómicas

## CONCLUSION

La biorremediación surge como una alternativa sostenible y eficiente, basada en la capacidad metabólica de microorganismos y plantas para degradar o transformar estos contaminantes en compuestos menos tóxicos. Procesos como la bioestimulación, bioaumentación, fitorremediación y las tecnologías ex situ permiten optimizar la degradación de hidrocarburos dependiendo de las características del suelo y del contaminante. Además, comprender las rutas metabólicas microbianas, la biodisponibilidad y los factores ambientales que influyen en la biodegradación es fundamental para desarrollar estrategias de remediación más efectivas y amigables con el medio ambiente.

## Referencias:

- [1] E. Koshlaf and A. S. Ball, "Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments," *AIMS Microbiology*, vol. 3, no. 1, pp. 25–49, Jan. 2017, doi: 10.3934/microbiol.2017.1.25.
- [2] M. Romantschuk et al., "Bioremediation of contaminated soil and groundwater by in situ biostimulation," *Frontiers in Microbiology*, vol. 14, p. 1258148, Nov. 2023, doi: 10.3389/fmicb.2023.1258148.
- [3] M. C. Tomei and A. J. Daugulis, "Ex Situ Bioremediation of Contaminated Soils: An Overview of Conventional and Innovative Technologies," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 43, no. 20, pp. 2107–2139, 2013, doi: 10.1080/10643389.2012.672056. [1] E. Koshlaf and A. S. Ball, "Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments," *AIMS Microbiology*, vol. 3, no. 1, pp. 25–49, Jan. 2017, doi: 10.3934/microbiol.2017.1.25.



## HETEROGENEOUS PHOTOCATALYSIS: AN ADVANCED OXIDATION PROCESS FOR WATER TREATMENT AND DISINFECTION OF EMERGING POLLUTANTS

Ana Sofia López, Samuel Restrepo, Ana Sofia Guzman



### 1. INTRODUCTION & SCIENTIFIC INTEREST



The rapid growth of urbanization and industrialization has led to the release of **Emerging Pollutants (EPs)**, such as pharmaceuticals, into aquatic environments.



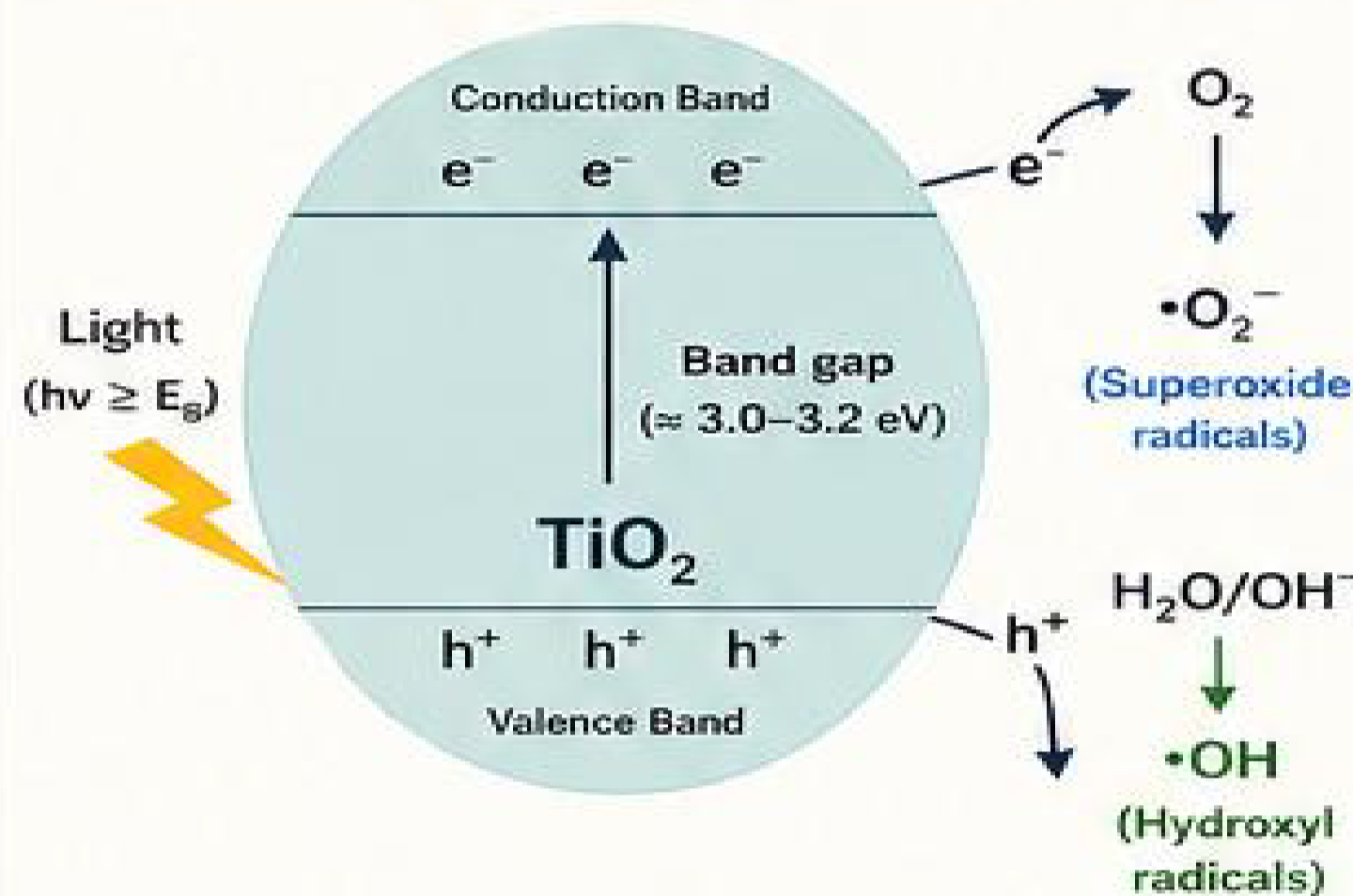
**Conventional sewage treatment plants** are not designed to remove these persistent and biologically active micro-contaminants, which pose risks to human health and ecosystems.



**Heterogeneous photocatalysis** is a promising Advanced Oxidation Process (AOP) capable of the complete mineralization of these pollutants into innocuous products like  $\text{CO}_2$  and water.

### 2. THEORETICAL FRAMEWORK

The process utilizes a semiconductor (typically  $\text{TiO}_2$ ) activated by radiation with energy equal to or greater than its **band gap** (approx. 3.0–3.2 eV for anatase). This activation generates **electron-hole pairs** ( $e^-/h^+$ ):



- **Holes ( $h^+$ ):** Migrate to the surface to react with water, producing **hydroxyl radicals ( $\cdot\text{OH}$ )**, the primary non-selective oxidants.
- **Electrons ( $e^-$ ):** React with dissolved oxygen to form **superoxide radicals ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ )**, preventing charge recombination and contributing to degradation.

### 3. MODELS & CHEMICAL EQUATIONS

The fundamental chemical steps for generating reactive oxygen species (ROS) are:

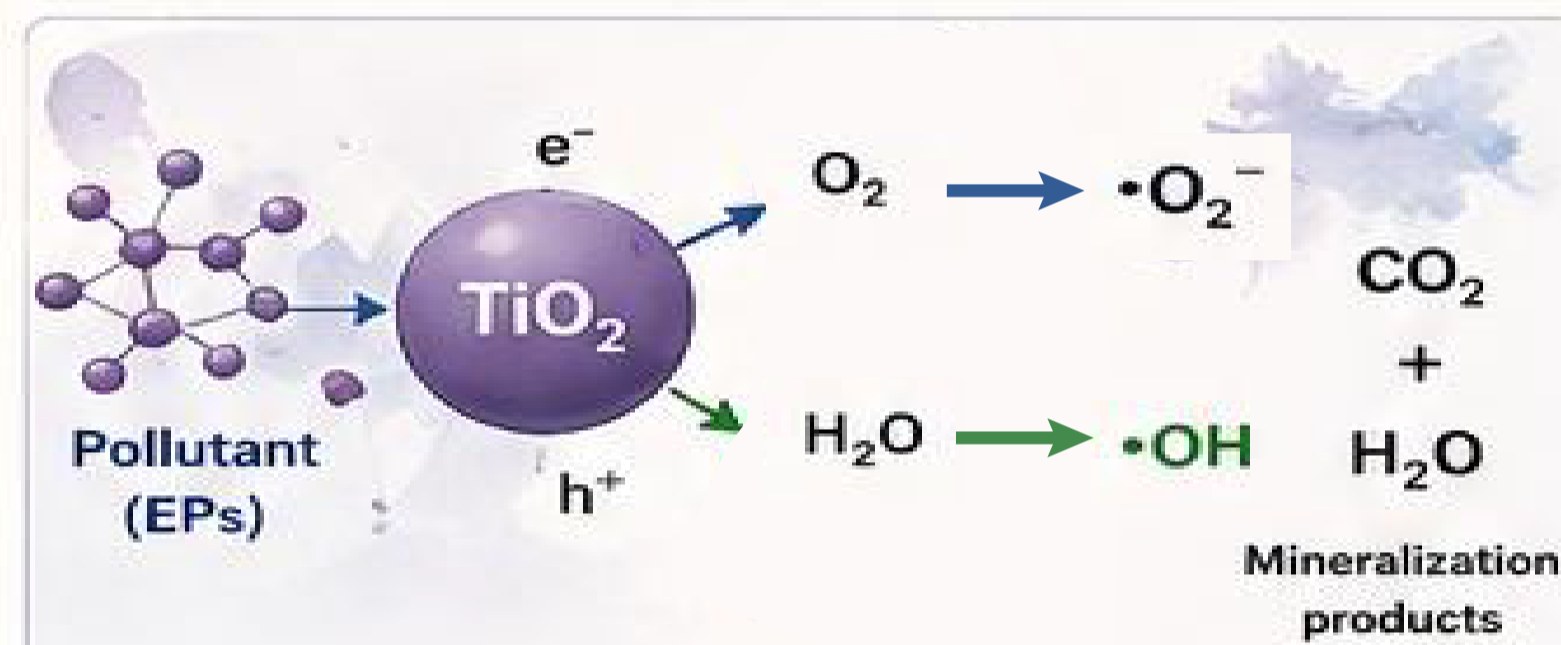
#### 1. Photo-activation:



#### 2. Oxidative step:

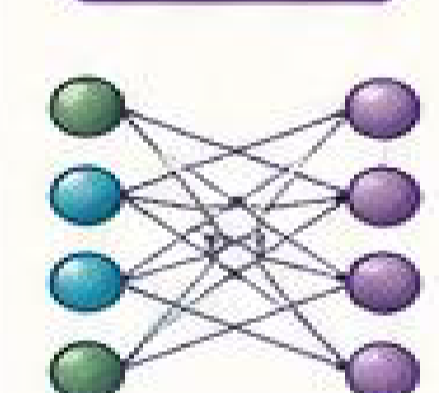


#### 3. Reductive step:



### 4. ADVANCED MODELING TECHNIQUES

#### ANN



**Artificial Neural Networks (ANN)** to predict performance based on complex interactions.

#### CFD



**Computational Fluid Dynamics (CFD)** to optimize mass transport and reactor geometry.

### 5. REPORTED METHODOLOGIES



**Reactor Types:** Slurry systems (suspended particles) provide high surface area but require catalyst recovery, whereas **fixed-bed reactors** (immobilized on glass, ceramics, or membranes) eliminate post-treatment separation.



**Solar Technology:** Use of **Compound Parabolic Collectors (CPC)** to maximize the capture of solar UVA radiation in pilot-scale plants.



**Healthcare Applications:** Development of self-disinfecting coatings for medical devices (catheters, implants) to reduce hospital-acquired infections.

### 6. SUMMARY OF RESULTS



**Degradation Efficiency:** Near 100% removal achieved for compounds like paracetamol, diclofenac, and ibuprofen under optimized conditions.



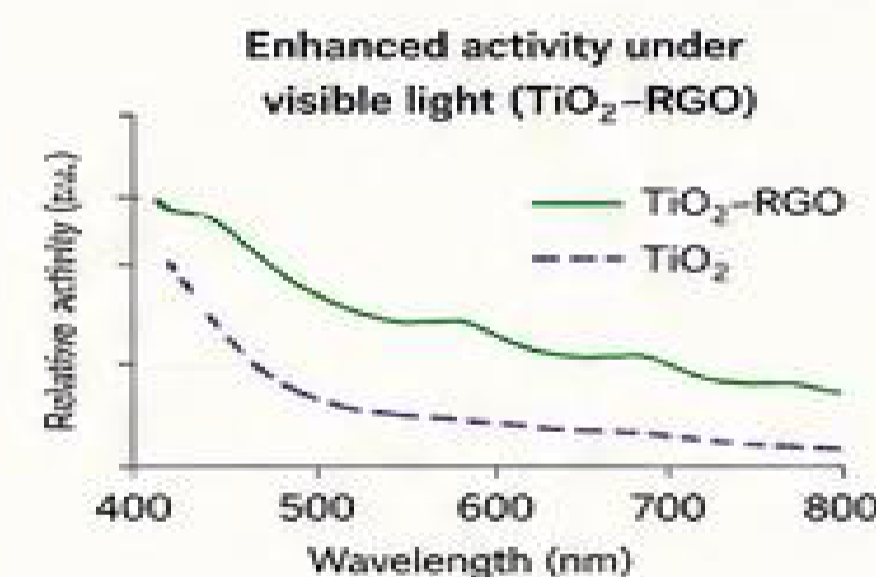
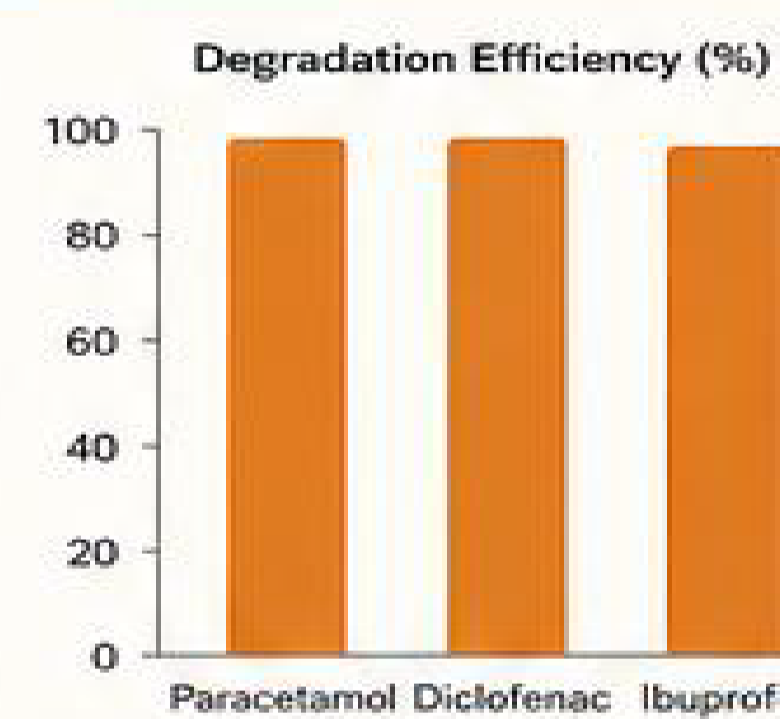
**Disinfection:** Complete inactivation of resistant pathogens such as *E. coli*, *Fusarium* spores, and even prion proteins.



**Matrix Effects:** Wastewater constituents like carbonates and natural organic matter (NOM) generally inhibit reaction rates by scavenging radicals or blocking active sites.



**Material Enhancements:**  $\text{TiO}_2$ -Reduced Graphene Oxide (RGO) composites demonstrate significantly higher activity under visible light compared to pure  $\text{TiO}_2$ .



### 7. CONCLUSIONS



Heterogeneous photocatalysis is a sustainable and effective tool for pharmaceutical remediation, especially when utilizing solar energy.

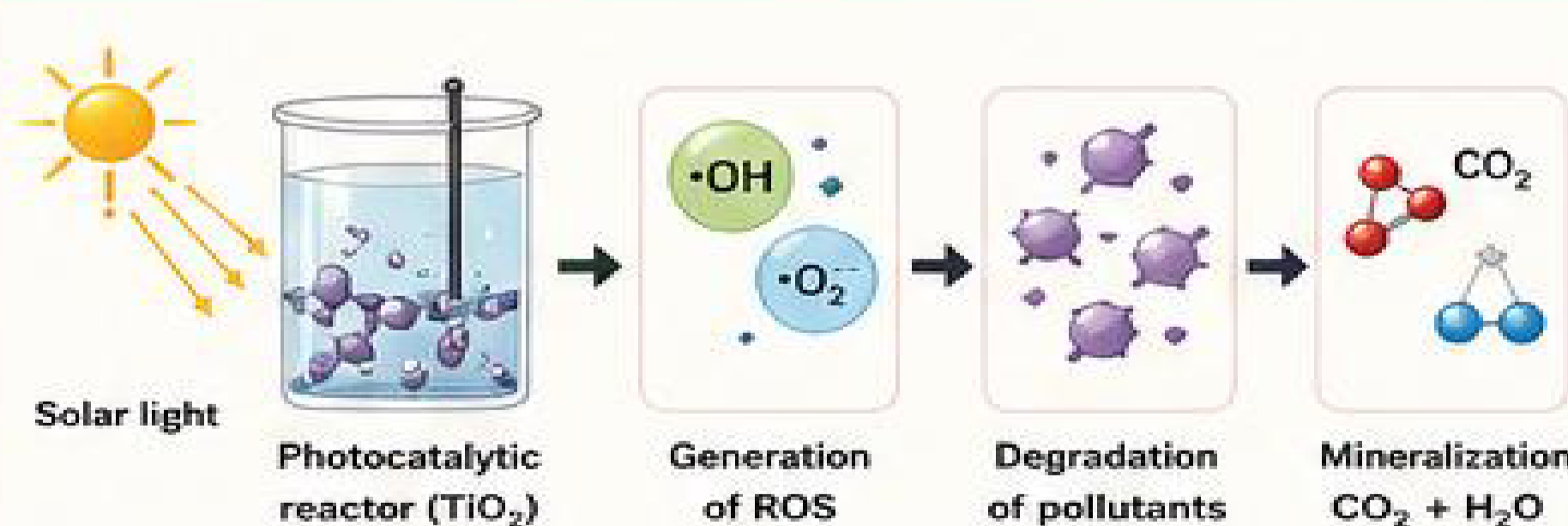


However, researchers must monitor for toxic **by-products**, as some intermediates can be more harmful than parent compounds.



The most effective path forward for large-scale application is the use of **integrated systems**, coupling photocatalysis with **biological treatments** or membrane filtration.

### 8. PROCESS OVERVIEW (SCHEMATIC)



### 9. BIBLIOGRAPHIC REFERENCES



- Jari, Y., et al. "A comprehensive review on  $\text{TiO}_2$ -based heterogeneous photocatalytic technologies..." (Source 1).
- Byrne, J. A., et al. "A Review of Heterogeneous Photocatalysis for Water and Surface Disinfection." *Molecules* 2015, 20 (Source 2).
- Friedmann, D. "A General Overview of Heterogeneous Photocatalysis as a Remediation Technology..." *Water* 2022, 14 (Source 3).

CLEAN WATER

ADVANCED OXIDATION PROCESSES

SUSTAINABLE FUTURE



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
COLEGIO MAYOR  
DE ANTIOQUIA®



## Emisión de compuestos orgánicos volátiles COV

**Autores:**

**Cristian Domínguez, Daniela Gómez, Diana Hoyos.**

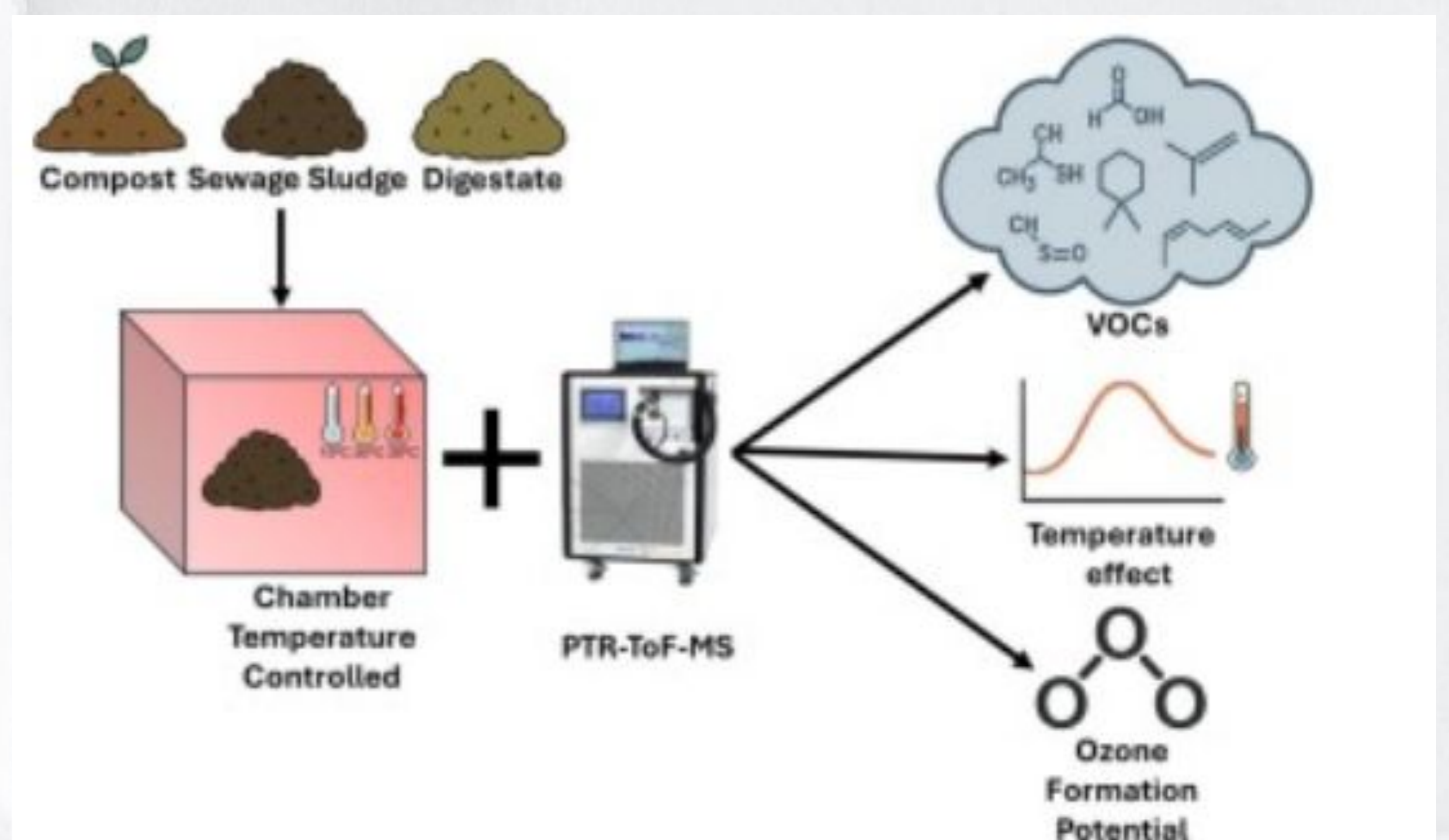
Los **COV** son sustancias que se evaporan fácilmente y pueden reaccionar en la atmósfera formando ozono troposférico y aerosoles secundarios, contaminantes que afectan la salud humana, contribuyen al smog fotoquímico y deterioran la calidad del aire.

### COV en fertilizantes orgánicos

Se enfoca el estudio en tres tipos de fertilizantes. Compost de residuos verdes, lodos de depuradora y digestato de estiércol de bovino.

El estudio tenía tres objetivos de estudio:

- Identificar que compuesto emiten
- Cuantificar la emisiones generadas
- Evaluar la influencia la temperatura en su liberación.
- El impacto sobre la calidad del aire



### Composición química de los COV emitidos en las distintas muestras

La imagen demuestra que cada fertilizante orgánico libera diferentes tipos de compuestos químicos al aire. En todos predominan los compuestos oxigenados, pero:

- el compost tiene mayor diversidad química,
- los lodos generan más sustancias relacionadas con olores,
- y el digestato libera más compuestos nitrogenados.

Esto indica que los fertilizantes orgánicos pueden afectar la calidad del aire y producir contaminación atmosférica dependiendo de su composición química.

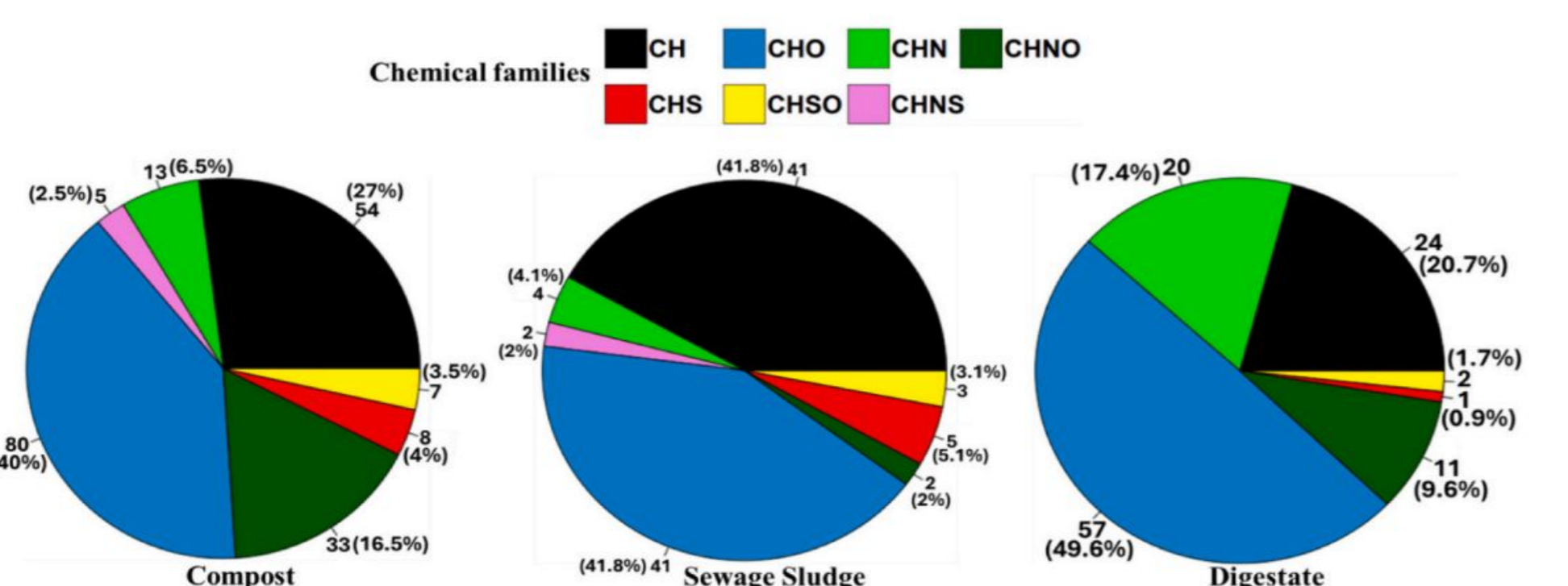


Fig. 1. Number of VOCs and percentage detected in each chemical group for the 3 organic fertilizers (compost, SS, and Digestate).

El estudio demostró que los fertilizantes orgánicos emiten diferentes tipos de compuestos orgánicos volátiles (COV), siendo el compost de residuos verdes (GWC) el mayor emisor y el digestato el menor. Además, el aumento de la temperatura incrementa las emisiones de COV y su potencial de formación de ozono, afectando la calidad del aire.

Para reducir las emisiones de COV, se recomienda aplicar los fertilizantes en periodos más fríos, mejorar las condiciones de almacenamiento y tratamiento (como aireación y control de maduración) y priorizar el uso de digestato, ya que combina menores emisiones con buena eficiencia agrícola.

Referencias:

