



# Tomo 03

## *Matemáticas y Ciencias Exactas*

Paper	Título	Autores	Primer Autor	Página
CPS101	Estudio Cuantitativo sobre la Calidad de Vida de Estudiantes Foráneos en Tuxtla	Mtro. Roberto Adrián González Domínguez Dr. Víctor Andrés González Domínguez Kevin Mancilla Chávez Enrique Jiménez Hernández Yarek David García Ruíz Víctor Manuel Gómez Pérez Nicté Abril Espinoza Molina Xenia Crisol González Méndez	González Domínguez	3.1
CPS102	Investigar, Analizar y Comparar la Calidad de Higiene en los Baños de Universidades	Mtro. Roberto Adrián González Domínguez Dr. Víctor Andrés González Domínguez Jorge Márquez Díaz Erik Álvarez Nuriulú Alan Uriber Pérez Méndez Emanuel Cruz López Kevin Emmanuel Lázaro López Cristian Iván López Vidal	González Domínguez	3.7
CPS027	Aislamiento de Organismos de Micorrizas Extraídos de la Rizosfera de Moringa oleífera	Ing. Roberto Alexander Mendez Moreno Dra. Orquídea Pérez González Dr. Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena Dra. Julia Mariana Márquez Reyes Dr. Victor Eustorgio Aguirre Arzola	Mendez Moreno	3.12
CPS023	Evaluación de la Reacción Fenton como Tratamiento para la Degradación de Residuos de Tereftalato de Polietileno	Dr. Daryl Rafael Osuna Laveaga Dr. Edgar David Moreno Medrano	Osuna Laveaga	3.16
CPS043	Evaluación de un Nanocompuesto Plata-Epoxi Impreso en Papel para la Detección Selectiva de Aniones Yoduro en Agua	Dr. Víctor Manuel Rentería Tapia Dr. Enrique Barrera Calva	Rentería Tapia	3.21

# Estudio Cuantitativo sobre la Calidad de Vida de Estudiantes Foráneos en Tuxtla

Mtro. Roberto Adrián González Domínguez<sup>1</sup>, Dr. Víctor Andrés González Domínguez<sup>2</sup>, Kevin Mancilla Chávez<sup>3</sup>, Enrique Jiménez Hernández<sup>4</sup>, Yarek David García Ruíz<sup>5</sup>, Víctor Manuel Gómez Pérez<sup>6</sup>, Nicté Abril Espinoza Molina<sup>7</sup>, Xenia Crisol González Méndez<sup>8</sup>.

**Resumen**— Este estudio cuantitativo examinó la calidad de vida de estudiantes foráneos en Tuxtla. El objetivo fue identificar los factores que influyen en su bienestar y su relación con la experiencia académica y social. Se utilizó un muestreo estratificado y de bola de nieve para seleccionar a 1000 estudiantes de cuatro universidades. La recopilación de datos se realizó mediante forms de preguntas administrados en las escuelas. Los resultados indicaron que la calidad de vida se ve afectada por la vivienda, acceso a servicios de salud y redes de apoyo social. Hubo una relación positiva entre una buena calidad de vida, el desempeño académico satisfactorio y una adaptación exitosa. Se concluyó que mejorar las condiciones de vida contribuye al éxito educativo e integración de los estudiantes foráneos en Tuxtla. Este estudio proporciona información valiosa para desarrollar estrategias que promuevan el bienestar y rendimiento académico de estos estudiantes.

**Palabras clave**— Estudiantes foráneos, calidad de vida, Estadística, bienestar, rendimiento académico.

## Introducción

En los últimos años, el fenómeno de la movilidad estudiantil ha experimentado un notable incremento, especialmente en entornos universitarios. Cada vez más estudiantes deciden buscar oportunidades académicas en ciudades distintas a las de su lugar de origen, lo que implica enfrentarse a nuevos desafíos y adaptarse a un entorno desconocido. En este contexto, es de vital importancia comprender la calidad de vida de los estudiantes foráneos y su influencia en su bienestar general y su experiencia académica.

El presente estudio se centra en analizar de manera cuantitativa la calidad de vida de estudiantes foráneos en Tuxtla. El objetivo principal es identificar los factores que influyen en su bienestar y cómo estos se relacionan con su experiencia académica y social. Mediante la recopilación y análisis de datos, se busca responder a la pregunta fundamental: ¿Cuál es el impacto de la calidad de vida en el desempeño académico y la adaptación de los estudiantes foráneos en Tuxtla?

En la ponencia “desafíos de los estudiantes foraneos en su formación académica: caso uacya y de la uan” por parte de los estudiantes de la Unidad Académica de Contaduría y Administración Universidad Autónoma de Nayarit, México, se nos presenta una investigación similar, donde buscan determinar si existe una relación entre las variables de la calidad de vida y apoyo social, donde éstas tengan un impacto directo sobre el desempeño académico de los estudiantes.

En el estudio “estudiante foráneo, ¿un verdadero administrador financiero?”, realizado por la vicepresidente de la Universidad del Valle de México campus Hermosillo, se nos presentan datos donde hablan sobre las condiciones que se dan cuando un estudiante decide salir de su lugar de residencia para buscar mejores oportunidades académicas. También se nos presenta la necesidad de parte de los estudiantes foráneos de saber como administrar sus ingresos, para poder separarlos y utilizarlos según sus necesidades.

## Metodología

### *Diseño de investigación:*

Se empleó un enfoque mixto de investigación que combina elementos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión integral de la calidad de vida de los estudiantes foráneos en Tuxtla. El estudio se llevó a

<sup>1</sup> El Ing. Roberto Adrián González Domínguez es Profesor de Ingeniería en la Universidad del Valle de México Campus Tuxtla, Chiapas. [roberto.gonzalezd@uvmnet.edu](mailto:roberto.gonzalezd@uvmnet.edu) (autor corresponsal)

<sup>2</sup> El Dr. Víctor Andrés González Domínguez es Profesor de Ingeniería en la Universidad Politécnica de Chiapas, Chiapas. [vgonzalez@im.upchiapas.edu.mx](mailto:vgonzalez@im.upchiapas.edu.mx)

<sup>3</sup> Kevin Mancilla Chávez es Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica en UVM Campus Tuxtla, Chiapas. [A650146600@my.uvm.edu.mx](mailto:A650146600@my.uvm.edu.mx)

<sup>4</sup> Enrique Jiménez Hernández es Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica en UVM Campus Tuxtla, Chiapas. [A650157116@my.uvm.edu.mx](mailto:A650157116@my.uvm.edu.mx)

<sup>5</sup> Yarek David García Ruíz es Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica en UVM Campus Tuxtla, Chiapas. [A650145279@my.uvm.edu.mx](mailto:A650145279@my.uvm.edu.mx)

<sup>6</sup> Víctor Manuel Gómez Pérez es Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica en UVM Campus Tuxtla, Chiapas. [A650156960@my.uvm.edu.mx](mailto:A650156960@my.uvm.edu.mx)

<sup>7</sup> Nicté Abril Espinoza Molina es Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica en UVM Campus Tuxtla, Chiapas. [A650157322@my.uvm.edu.mx](mailto:A650157322@my.uvm.edu.mx)

<sup>8</sup> Xenia Crisol González Méndez es Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica en UVM Campus Tuxtla, Chiapas. [A650158204@my.uvm.edu.mx](mailto:A650158204@my.uvm.edu.mx)

cabo siguiendo un diseño descriptivo exploratorio, que permitió investigar en profundidad los factores relevantes en esta temática.

**Muestreo:**

Se utilizó un muestreo estratificado para seleccionar una muestra representativa de estudiantes foráneos en Tuxtla. Se tomaron en cuenta cuatro diferentes universidades y se estratificó por universidad. Además, se empleó un muestreo de bola de nieve para identificar a otros posibles participantes a partir de las referencias proporcionadas por los participantes iniciales.

**Recolección de datos:**

Se aplicaron forms de preguntas a los participantes, los cuales fueron diseñados específicamente para abordar los diferentes aspectos de la calidad de vida de los estudiantes foráneos. Los forms se administraron en las escuelas, tanto en los salones de clases como en espacios comunes. Se tomó en consideración la privacidad y la confidencialidad de los participantes durante el proceso de recolección de datos.

**Análisis de datos:**

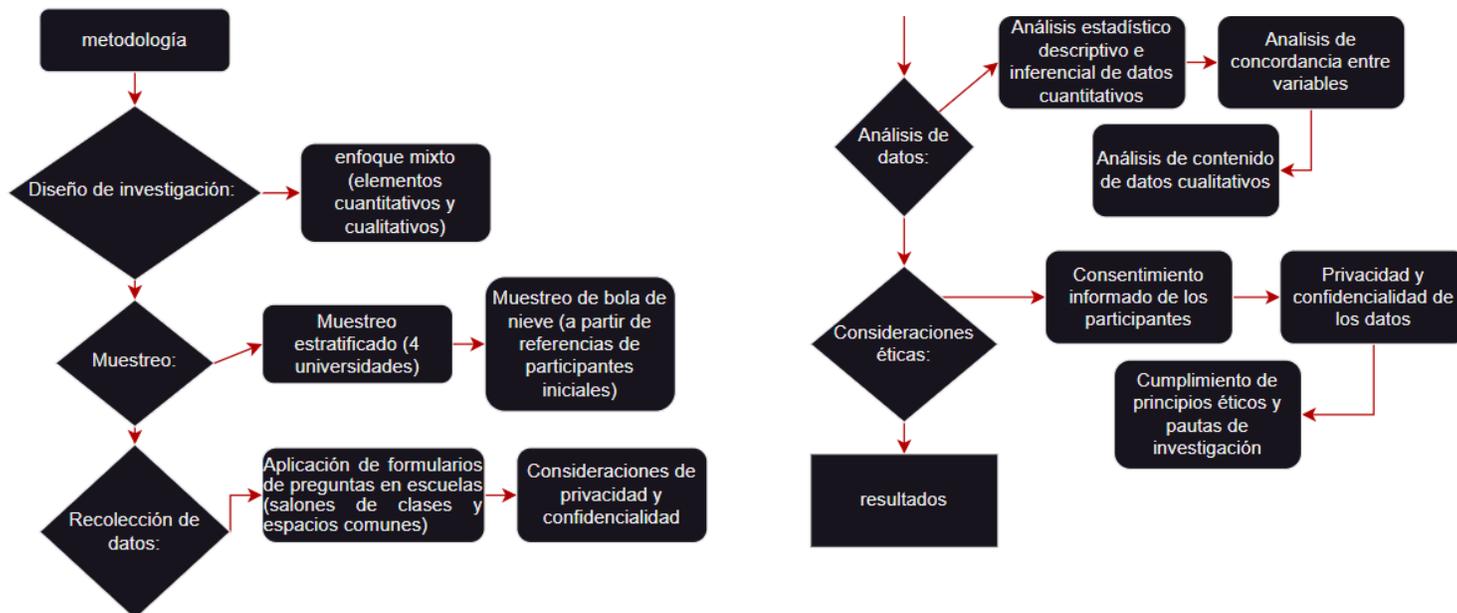
Los datos cuantitativos recopilados mediante los forms de preguntas fueron analizados utilizando técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales. Se realizaron análisis de correlación para explorar las relaciones entre las variables. Además, los datos cualitativos, obtenidos a través de preguntas abiertas, fueron analizados mediante el enfoque de análisis de contenido para identificar patrones y temas emergentes.

**Consideraciones éticas:**

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes antes de su inclusión en el estudio. Se garantizó la confidencialidad y la privacidad de los datos recopilados, utilizando identificadores anónimos en lugar de nombres reales. El estudio fue realizado siguiendo los principios éticos y las pautas de investigación establecidas.

La metodología utilizada en este estudio permitió obtener una visión holística y comprensiva de la calidad de vida de los estudiantes foráneos en Tuxtla. Los resultados obtenidos a través de esta metodología contribuirán a una mejor comprensión de los factores que influyen en el bienestar y la adaptación de estos estudiantes, así como a la formulación de estrategias y políticas que promuevan su éxito académico y su integración en la comunidad estudiantil local.

Las referencias fueron utilizadas para fundamentar teóricamente la importancia de la calidad de vida en el contexto de los estudiantes foráneos, así como para respaldar los aspectos metodológicos y conceptuales de la investigación. Se tomaron en cuenta estudios previos sobre estrés académico, adaptación, bienestar psicológico y desempeño académico de estudiantes universitarios.



## Resultados

El estudio sobre la calidad de vida de estudiantes foráneos en Tuxtla arrojó resultados significativos que proporcionan una visión profunda de su bienestar y adaptación en este entorno académico y social. A continuación, se presentan los principales hallazgos obtenidos en la figura 2.

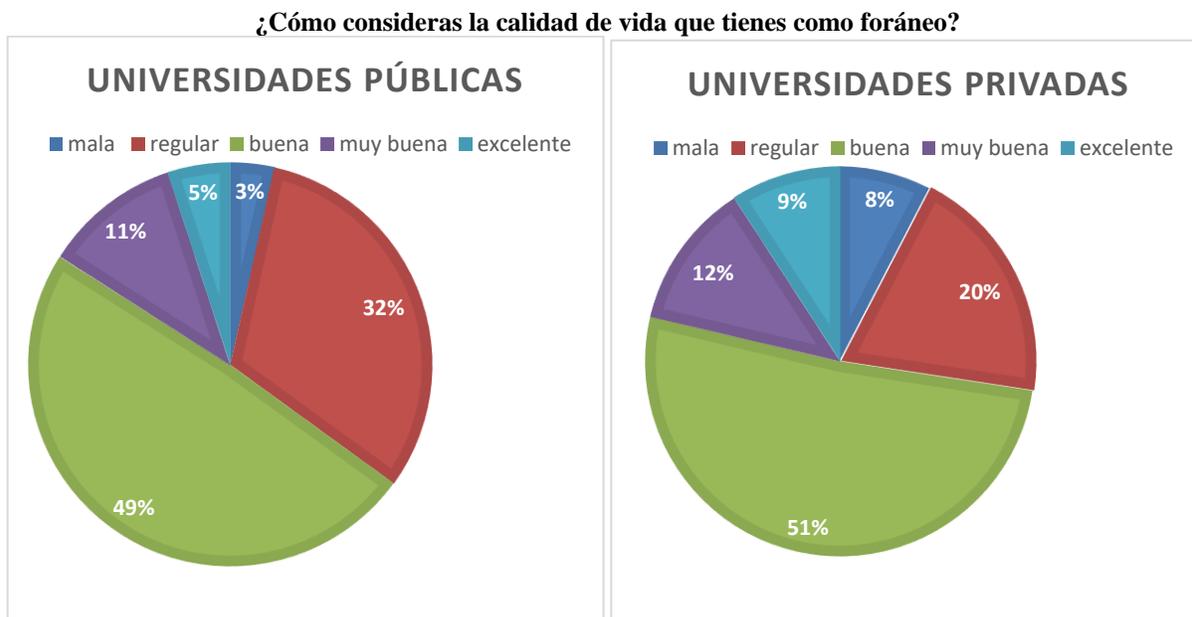


Figura 2. ¿Cómo consideras la calidad de vida que tienes como foráneo?

### *Calidad de vida general:*

Los estudiantes foráneos en Tuxtla reportaron un nivel general de calidad de vida moderado. Si bien experimentaban satisfacción en áreas como relaciones sociales y actividades de ocio, también se identificaron desafíos en aspectos como vivienda, transporte y acceso a servicios de salud.

### *Adaptación sociocultural:*

La adaptación socio-cultural de los estudiantes foráneos fue un factor determinante en su calidad de vida. Aquellos que lograron una mayor integración en la comunidad estudiantil local y se involucraron en actividades extracurriculares mostraron una mayor satisfacción y bienestar.

### *Apoyo social:*

El apoyo social desempeñó un papel crucial en la calidad de vida de los estudiantes foráneos. Aquellos que contaron con redes de apoyo sólidas, tanto de compañeros como de profesores y personal administrativo, experimentaron una mayor satisfacción y una mejor adaptación al entorno.

### *Análisis*

Al analizar los datos obtenidos en el estudio sobre la calidad de vida de estudiantes foráneos en Tuxtla, se observaron algunas diferencias significativas en los resultados entre los alumnos de universidades públicas y privadas. A continuación, se detallan las principales disparidades identificadas:

### *Calidad de vida general:*

Los estudiantes foráneos de universidades privadas mostraron niveles ligeramente más altos de calidad de vida en comparación con aquellos de universidades públicas. Esto podría deberse a recursos adicionales y servicios de apoyo más accesibles en el entorno de las universidades privadas.

### *Experiencia académica:*

Los estudiantes de universidades públicas expresaron una mayor satisfacción con su experiencia académica en comparación con los estudiantes de universidades privadas. Esto puede estar relacionado con la disponibilidad de becas, programas de investigación y prácticas profesionales en las universidades públicas.

#### *Adaptación socio-cultural:*

Los estudiantes de universidades públicas informaron una adaptación socio-cultural ligeramente mejor que los estudiantes de universidades privadas. Esto podría atribuirse a una mayor diversidad cultural y oportunidades de interacción en el entorno de las universidades públicas.

#### *Apoyo social:*

Se observó que los estudiantes de universidades privadas recibían un mayor apoyo social por parte de profesores y personal administrativo en comparación con los estudiantes de universidades públicas. Este respaldo adicional puede influir positivamente en su bienestar y adaptación.

Es importante tener en cuenta que estas diferencias pueden ser sutiles y no representar una generalización absoluta para todas las universidades públicas y privadas en Tuxtla. Factores adicionales, como la ubicación y el enfoque académico de las instituciones, también pueden influir en los resultados.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de abordar las diferencias específicas entre estudiantes de universidades públicas y privadas, y adaptar las estrategias de apoyo y orientación para satisfacer las necesidades particulares de cada grupo. Esto puede contribuir a mejorar la calidad de vida y la experiencia de adaptación de los estudiantes foráneos en ambos tipos de instituciones educativas.

### **Conclusiones**

El estudio cuantitativo sobre la calidad de vida de estudiantes foráneos en Tuxtla ha proporcionado valiosos insights y contribuciones significativas en relación a este tema. A continuación, se presentan las principales conclusiones derivadas de la investigación:

#### *Impacto de la calidad de vida en el desempeño académico y la adaptación:*

Los factores que influyen en su bienestar, como el entorno académico, el apoyo social y la adaptación sociocultural, desempeñan un papel crucial en su éxito educativo y en su integración en la comunidad estudiantil local.

#### *Importancia de mejorar las condiciones de vida:*

Los resultados respaldan la tesis de que mejorar las condiciones de vida de los estudiantes foráneos contribuirá de manera positiva a su éxito educativo y a su integración en la comunidad estudiantil local. (Da Silva Valadão Fernandes et al., 2023) Es fundamental proporcionar servicios y recursos adecuados en áreas como vivienda, transporte, salud y apoyo psicológico para promover una mejor calidad de vida y una adaptación exitosa.

#### *Diferencias entre universidades públicas y privadas:*

Se identificaron diferencias significativas entre los estudiantes de universidades públicas y privadas en términos de calidad de vida, experiencia académica, adaptación socio-cultural y apoyo social. Estas disparidades resaltan la importancia de abordar las necesidades específicas de cada grupo de estudiantes y adaptar las estrategias de apoyo en función de las características particulares de cada tipo de institución.

Podemos concluir que este estudio ha contribuido a comprender mejor la calidad de vida de los estudiantes foráneos en Tuxtla y su impacto en su desempeño académico y adaptación. Los resultados subrayan la importancia de mejorar las condiciones de vida y proporcionar un entorno de apoyo adecuado para promover el bienestar y el éxito educativo de estos estudiantes. Las conclusiones de este proyecto de investigación pueden servir como base para el desarrollo de políticas y programas que mejoren la experiencia de los estudiantes foráneos y fomenten su integración en la comunidad estudiantil local.

#### **Limitaciones**

A pesar de los valiosos resultados obtenidos en este estudio sobre la calidad de vida de estudiantes foráneos en Tuxtla, es importante reconocer las limitaciones que pueden haber afectado al procedimiento y los resultados. Estas limitaciones proporcionan oportunidades para mejoras y direcciones futuras de investigación. A continuación, se describen las principales limitaciones identificadas:

#### Tamaño de la muestra:

El estudio se realizó con una muestra de 1000 estudiantes de cuatro universidades diferentes. Si bien se consideró representativa, se reconoce que una muestra más amplia y diversa podría brindar una visión más completa y generalizable de la calidad de vida de los estudiantes foráneos en Tuxtla. Se recomienda replicar la investigación con una muestra más grande para obtener resultados más robustos.

#### **Recomendaciones**

Con base a estas limitaciones, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

##### *Ampliar la muestra:*

Replicar el estudio con una muestra más grande y diversa de estudiantes foráneos permitiría obtener resultados más sólidos y generalizables.

##### *Incluir diferentes contextos geográficos:*

Realizar investigaciones similares en diferentes ciudades y regiones permitiría capturar las variaciones culturales y contextuales en la calidad de vida de los estudiantes foráneos.

##### *Utilizar métodos mixtos:*

Complementar los cuestionarios con entrevistas en profundidad y grupos focales para obtener una comprensión más completa y enriquecedora de las experiencias de los estudiantes foráneos.

##### *Realizar un seguimiento longitudinal:*

Llevar a cabo estudios de seguimiento a largo plazo permitiría analizar la evolución de la calidad de vida de los estudiantes foráneos a lo largo del tiempo y comprender mejor los factores que influyen en su adaptación y éxito académico.

Estas recomendaciones contribuirían a mejorar la calidad y la relevancia de futuras investigaciones sobre la calidad de vida de estudiantes foráneos, y permitirían generar conocimientos más sólidos para informar el diseño de políticas y programas de apoyo adecuados.

#### **Referencias**

- Haghighi, M., & Khezri, S. (2016). The relationship between quality of life and academic achievement: a systematic review and meta-analysis. *Quality of Life Research*, 25(12), 3159-3170.
- Field, A. (2018). *Descubriendo la estadística usando SPSS*. SAGE Publications.
- Adams, G. R., & Rau, R. C. (2011). El estrés en estudiantes universitarios: revisión teórica. *Revista de Psicología*, 29(1), 37-45.
- Agresti, A., & Finlay, B. (2018). *Statistical methods for the social sciences*. Pearson Education.
- Universitario, I. (2017, 24 octubre). *Estudiante foráneo, ¿un verdadero administrador financiero?* Rankia. Recuperado 20 de junio de 2023, de <https://www.rankia.mx/blog/agentes-cambio-papel-finanzas/3718878-estudiante-foraneo-verdadero-administrador-financiero>

## Apéndice

### Cuestionario utilizado en la investigación

1. Edad:
2. Escuela:
3. Sexo:  
a) M b) F
4. ¿Dependes económicamente de alguien?  
a) Sí b) No
5. Si tu respuesta anterior fue sí, ¿de quién dependes económicamente?  
a) Papás b) Familiar c) Gobierno d) Otras:
6. ¿Cada cuánto recibes dinero de tu manutención o salario?  
a) Cada semana b) Cada quince días c) Cada mes d) Otras:
7. ¿Cómo consideras que es el dinero que recibes?  
a) Excesivo b) Suficiente c) Lo necesario d) Muy justo e) Insuficiente
8. ¿Adminstras tu dinero?  
a) Si b) La mayoría de veces c) Raras veces d) Nunca
9. ¿Cuáles son tus prioridades económicas? (enuméralas del 1 al 5, donde 1 es primordial y 5 no lo es tanto)  
\_\_\_\_Diversión \_\_\_\_Comida \_\_\_\_Transporte \_\_\_\_Material escolar \_\_\_\_Otros
10. ¿Cuánto sueles gastar en diversión a la semana?  
a) Menos de \$1000 b) Más de \$100 pero menos de \$300 c) Más de \$300 pero menos de \$500 d) Más de \$500
11. ¿Cuánto sueles gastar en comida a la semana?  
a) Menos de \$500 b) \$500 a \$1,000.00 c) \$1,000 a \$1,500 d) \$1,500 a \$2,000  
e) \$2,000 a \$2,500 d) Más de \$2,500
12. ¿Cuánto sueles gastar en transporte a la semana?  
a) Menos de \$100 b) \$100 a \$150 c) \$150 a \$200 d) \$200 a \$300 e) \$300 a \$500  
f) Más de \$500
13. ¿Cuánto sueles gastar en material escolar a la semana?  
a) Menos de \$100 b) \$100 a \$200 c) \$200 a \$300 d) \$300 a \$400 e) \$400 a \$500  
f) Más de \$500
14. ¿En qué te transportas?  
a) Transporte público b) Transporte particular c) Privado (Uber, Didi, etc.)  
d) Caminando e) Bicicleta f) Otras:
15. ¿Cuál es el lema de tu escuela?  
a) Siempre responsables de lo que se ha cultivado b) Por la cultura de mi raza  
c) Por la conciencia de la necesidad de servir d) Por la cultura y superación de mi pueblo
16. ¿Dónde frecuentas comer?  
a) Casa b) Escuela c) Restaurantes d) Otras:
17. ¿Cuántas veces comes al día?  
a) 1 b) 2 c) 3 d) Otras:
18. ¿Qué tipo de vivienda tienes?  
a) Cuarto b) Departamento c) Casa d) Otras:
19. ¿La vivienda seleccionada anteriormente es personal o compartida?  
a) Personal b) Compartida
20. ¿Cuánto paga de renta?  
a) \$1,000 a \$2,000 b) \$2,000 a \$3,000 c) \$3,000 a \$4,000 d) \$4,000 a \$5,000  
f) Más de \$5,000
21. ¿Cómo consideras la calidad de vida que tienes como foráneo?  
a) Mala b) Regular c) Buena d) Muy buena e) Excelente

# Investigar, Analizar y Comparar la Calidad de Higiene en los Baños de Universidades

Mtro. Roberto Adrián González Domínguez<sup>1</sup>, Dr. Víctor Andrés González Domínguez<sup>2</sup>, Jorge Márquez Díaz<sup>3</sup>, Erik Álvarez Nuriulú<sup>4</sup>, Alan Uriber Pérez Méndez<sup>5</sup>, Emanuel Cruz López<sup>6</sup>, Kevin Emmanuel Lázaro López<sup>7</sup> y Cristian Iván López Vidal<sup>8</sup>

**Resumen**— La falta de higiene en los baños tiene impacto directo en los usuarios. Según estudios realizados, se ha comprobado que los baños son propicios para la proliferación de virus y gérmenes, lo que da lugar a diversas enfermedades. Se realizó un muestreo mediante la técnica de encuestas aleatorias simples en instituciones tanto privadas como públicas. Los resultados obtenidos se utilizarán para evaluar la opinión de los estudiantes en sus respectivas universidades, permitiendo contrastar diferencias existentes en el mantenimiento de los baños en dichas instituciones. A través del análisis de los datos recopilados, el proyecto busca erradicar esta problemática y contribuir a mejorar las condiciones de los baños universitarios. Además, se busca promover la educación sobre la importancia de cuidar los baños y fomentar la colaboración de todos los usuarios para lograr dicho objetivo.

**Palabras clave**— Salubridad, higiene escolar, baños educativos, saneamiento escolar, prevención de infecciones

## Introducción

La higiene en los baños de las universidades es un tema importante, estos espacios son de uso común y son fuente de propagación de enfermedades si no se mantienen limpios y desinfectados. Es aquí donde radica la necesidad de promover una buena educación sobre la importancia de cuidar los baños y que todos colaboren para lograrlo. Mantener una higiene adecuada en el baño es un aspecto primordial en cualquier entorno, y las universidades no son una excepción. Las universidades albergan una gran cantidad de estudiantes, profesores y miembros del personal, por lo que es fundamental priorizar la limpieza y la higiene en los baños de la universidad. Un baño limpio y bien acondicionado no solo promueve la buena salud e higiene, sino que también contribuye a un ambiente positivo y cómodo para los usuarios en el campus.

Según estudios realizados por Unicef en el 2022, el mal estado y manejo de los baños hace que estos sean un verdadero foco de infecciones. Un solo gramo de heces puede contener 10 millones de virus, un millón de bacterias, mil parásitos y 100 huevitos de parásitos.

Algunos aspectos importantes relacionados con la higiene en los baños universitarios incluyen:

- 1- Limpieza: La limpieza regular y adecuada de los baños es esencial para prevenir la propagación de gérmenes y mantener un ambiente saludable. Esto implica la limpieza de inodoros, lavabos, espejos, pisos y cualquier otra superficie presente en el baño.
- 2- Suministros: Los baños universitarios deben estar provistos de suministros esenciales, como papel higiénico, jabón líquido, toallas de papel o secadoras de aire, y basureros adecuados. Estos suministros deben ser suficientes y estar disponibles en todo momento para satisfacer las necesidades de los usuarios.
- 3- Mantenimiento: Es importante que los baños universitarios se sometan a un mantenimiento regular para reparar cualquier problema, como grifos rotos, inodoros que no funcionan correctamente o luces fundidas. Un mantenimiento adecuado ayuda a garantizar el correcto funcionamiento de los baños y mejora la experiencia de los usuarios.
- 4- Concientización: La concientización sobre la importancia de la higiene en los baños puede desempeñar un papel crucial. Es necesario educar a los usuarios sobre la importancia de mantener la limpieza, seguir las normas de uso y respetar el espacio compartido.

Es importante tener en cuenta que la higiene de los baños universitarios puede variar de una institución a otra y

<sup>1</sup> Mtro. Roberto Adrián González Domínguez es profesor de tiempo completo de ingeniería mecatrónica en la Universidad del Valle de México. roberto.gonzalezd@uvmnet.edu

<sup>2</sup>Dr. Víctor Andrés González Domínguez es profesor de asignatura en la Universidad Politécnica de Chiapas

<sup>3</sup>Jorge Márquez Díaz es estudiante de ingeniería Industrial y Sistemas en la Universidad del Valle de México. A650154739@my.uvm.edu.mx

<sup>4</sup>Alan Uriber Pérez Méndez es estudiante de ingeniería Industrial y de sistemas en la Universidad del Valle de México. A650084507@my.uvm.edu.mx

<sup>5</sup>Kevin Emmanuel Lázaro López es estudiante de ingeniería Civil en la Universidad del Valle de México. A650088628@my.uvm.edu.mx

<sup>6</sup>Cristian Iván López Vidal es estudiante de ingeniería Mecatrónica en la Universidad del Valle de México. A540157336@myuvm.edu.mx

<sup>7</sup>Erik Álvarez Nuriulú es estudiante de ingeniería Mecatrónica en la Universidad del Valle de México. A65014807@my.uvm.edu.mx

<sup>8</sup>Emanuel Cruz López es estudiante de ingeniería Industrial y de Sistemas en la Universidad del Valle de México. A650156836@my.uvm.edu.mx

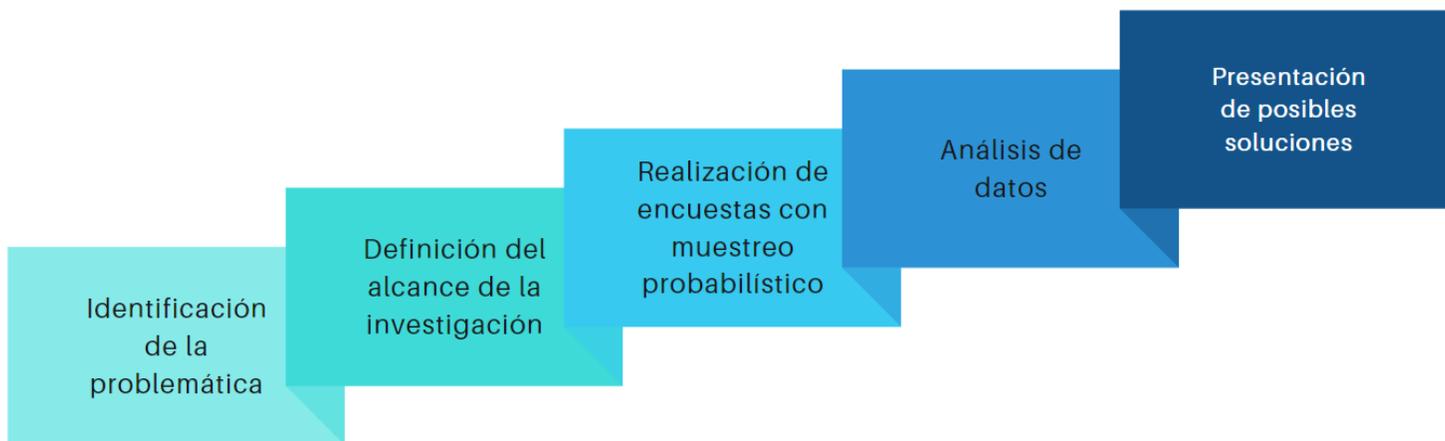
depende de varios factores, como el presupuesto asignado para el mantenimiento, la disponibilidad de personal de limpieza y la cultura general de higiene en la comunidad universitaria.

### Metodología

#### Procedimiento

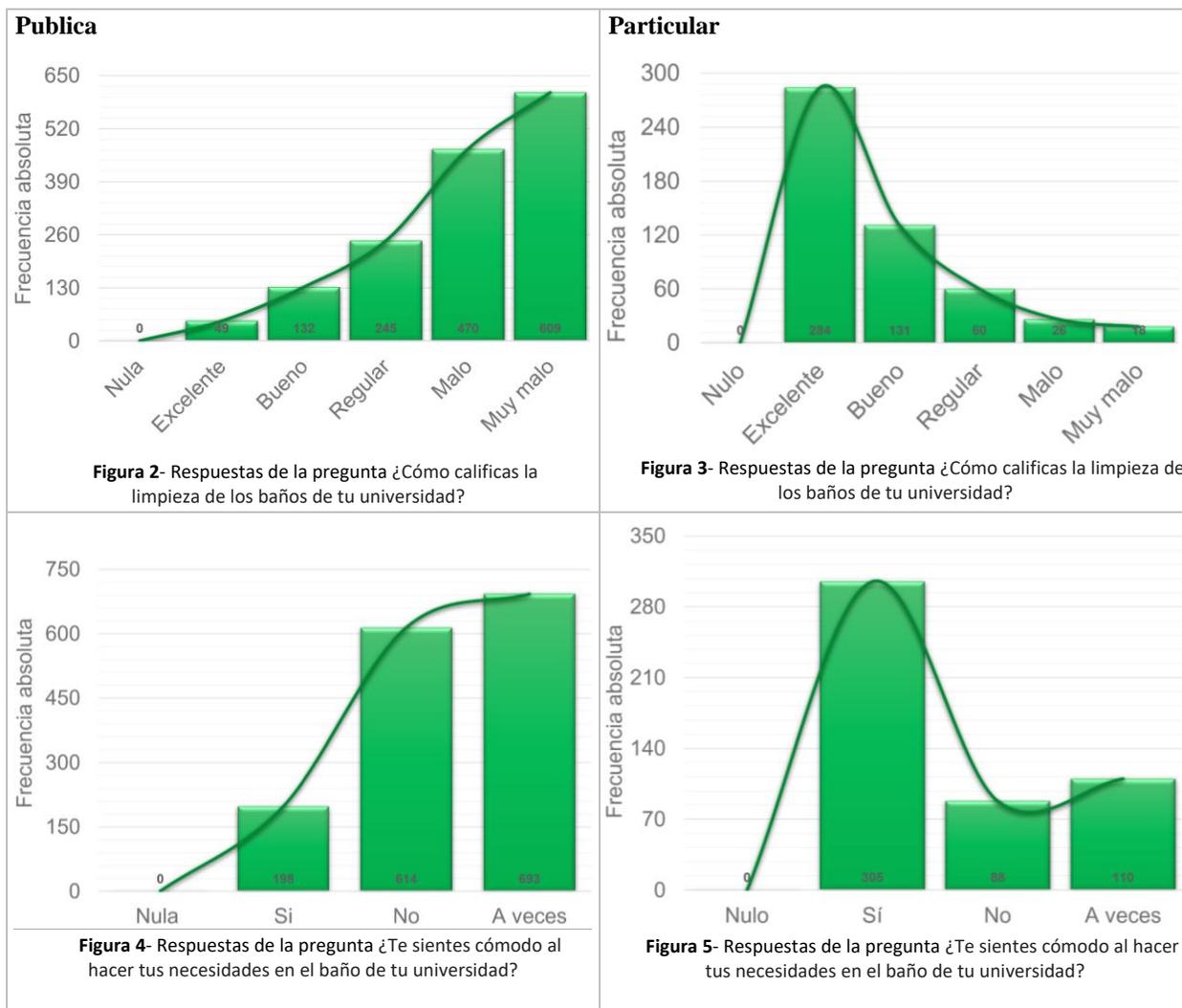
La metodología es explicada en el **Figura 1**. propuesta consta de los siguientes pasos para abordar una problemática que afecta a un grupo de personas en universidades de Tuxtla Gutiérrez y ofrecer posibles soluciones antes de que la situación se agrave:

- 1- Identificación de la problemática: Se debe realizar un análisis para identificar la problemática que afecta a las personas en las universidades de Tuxtla Gutiérrez. Esto podría implicar investigar y recopilar información sobre las dificultades que enfrentan los estudiantes o la comunidad universitaria.
- 2- Definición del alcance de la investigación: Una vez identificada la problemática, es importante delimitar el rango de investigación para establecer los límites y la profundidad de estudio. Esto implica determinar los aspectos clave que se abordarán y los objetivos específicos de la investigación.
- 3- Realización de encuestas con muestreo probabilístico: Utilizar encuestas con muestreo probabilístico aleatorio simple para obtener información precisa sobre la problemática en los baños universitarios de Tuxtla Gutiérrez. Esto proporcionará las mismas oportunidades de ser seleccionados como participantes en la encuesta y resultados confiables para abordar eficazmente el problema y brindar
- 4- Análisis de datos: Una vez recopiladas las respuestas de las encuestas, se pueden usar herramientas de visualización, como gráficos y estadísticas, para interpretar los resultados de manera clara y concisa. Esto permitirá comprender mejor las opiniones y comenzar a buscar posibles soluciones.
- 5- Presentación de posibles soluciones: Basándose en los resultados, se deben presentar posibles soluciones antes de que la problemática escale. Estas soluciones deben ser realistas, prácticas y tener en cuenta los recursos disponibles, así como las características socioeconómicas y culturales de la población estudiantil en Tuxtla Gutiérrez.



**Figura 1-** Diagrama de metodología para analizar las diferencias en la infraestructura de los baños en universidades públicas y privadas.

### Resultados



De acuerdo con los datos obtenidos presentado en las figuras 2-5 se observa que tanto la limpieza y la comodidad es mejor en las universidades particulares que en las universidades públicas, según la opinión de los encuestados, esto se debe a que las universidades particulares tienen mejor mantenimiento de baños debido a los ingresos que tienen. En contraste, las universidades públicas, financiadas por el gobierno, muestran deficiencias en este aspecto. El resultado fue que las universidades privadas tienen mayor cuidado en sus baños.

#### Análisis

La higiene en los baños universitarios es esencial debido a su impacto directo en la salud de quienes los utilizan. El estudio se basó en un muestreo cuantitativo en instituciones públicas y privadas, mediante encuestas para analizar y comparar la infraestructura, cuidado y mantenimiento de los baños. Los resultados revelaron que los baños son propensos a la proliferación de virus y gérmenes, lo que puede derivar en enfermedades de diversos tipos. Es fundamental promover la educación sobre la importancia de cuidar los baños y fomentar la colaboración de todos para mantenerlos en óptimas condiciones.

El objetivo de la investigación fue comparar la infraestructura de los baños en universidades públicas y privadas, investigar las opiniones estudiantiles sobre la higiene y salud en su institución, examinar si los alumnos cuentan con condiciones óptimas de higiene, interpretar la información obtenida de las encuestas y proponer una solución integral que reduzca significativamente los factores que contribuyen a una mala higiene en los baños. Se planteó la hipótesis de que a través de un muestreo probabilístico se podrían identificar los problemas causados por

una falta de infraestructura y cuidado adecuados de los baños. Los datos recopilados permitirán contrastar las diferencias en infraestructura, limpieza y cuidado de los baños en universidades públicas y privadas, y el análisis resultante del proyecto tiene como objetivo mejorar las condiciones de los baños universitarios.

### **Conclusiones**

Con base a la información presentada, se puede decir que se esperaban los resultados obtenidos. Con el muestreo probabilístico en respectivas instituciones, se observó que las universidades particulares prestan mayor atención a sus instalaciones y, por lo tanto, tuvieron un mayor índice de limpieza.

Los resultados demuestran la necesidad de hacer cambios en las instalaciones si nos referimos a los baños y su higiene que tienen en las escuelas públicas, dando énfasis en la institución en la cual se enfoca la investigación. Es indispensable que la institución tome un poco de conciencia ya que puede afectar la salud de sus alumnos al tener espacios que puedan estar contaminados o que no estén en un agradable estado. Se llegó a la conclusión que uno de los factores primordiales en esta investigación y basándonos en la higiene de los baños de dicha institución sea el mantenimiento deficiente de los baños de la institución ya que, si no se realiza un mantenimiento regular y adecuado, los baños pueden deteriorarse con el tiempo. La falta de limpieza, reparaciones y reemplazo de equipos dañados puede llevar a un mal estado general de los baños. Fue quizás inesperado el haber encontrado que muchos de los estudiantes tienen quejas sobre el mal estado de sus baños y la mala higiene en la que se ven.

### *Limitaciones*

A pesar de los resultados obtenidos en esta investigación sobre la infraestructura y mantenimiento de los baños en universidades, es importante reconocer las limitaciones que pueden haber afectado al procedimiento y los resultados. Estas limitaciones proporcionan oportunidades para mejoras y direcciones futuras de investigación. A continuación, se describen las principales limitaciones identificadas:

#### *Tamaño de la muestra:*

El estudio se realizó con una muestra de 1,500 estudiantes de 2 universidades diferentes. Si bien se consideró representativa, se reconoce que una muestra más amplia y diversa podría brindar una visión más completa y generalizable de la calidad de vida de los estudiantes foráneos en Tuxtla. Se recomienda replicar la investigación con una muestra más grande para obtener resultados más robustos.

#### *Contexto geográfico limitado:*

Esta investigación se centró únicamente en 2 universidades en Tuxtla, lo que limita la generalización de los resultados a otras ciudades o regiones. Se sugiere llevar a cabo investigaciones similares en diferentes contextos geográficos para comprender las variaciones en la calidad de vida y las experiencias de adaptación de los estudiantes foráneos.

### **Recomendaciones**

Con base a estas limitaciones, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

#### *Ampliar la muestra:*

Replicar el estudio con una muestra más grande y diversa de estudiantes foráneos permitiría obtener resultados más sólidos y generalizables.

#### *Incluir diferentes contextos geográficos:*

Realizar investigaciones similares en diferentes ciudades y regiones permitiría capturar las variaciones culturales y contextuales en la calidad de los baños.

Estas recomendaciones contribuirían a mejorar la calidad y la relevancia de futuras investigaciones sobre la importancia que tiene el mantenimiento de los baños, y permitirían generar conocimientos más sólidos para informar el diseño de políticas, programas y concientización adecuados.

### **Referencias**

Quevedo, F. (2011). Medidas de tendencia central y dispersión. doi: 10.5867/medwave.2011.03.4934. <https://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2013/12/Quevedo-F.-Medidas-de-tendencia-central-y-dispersion.-Medwave-2011-Ma-113..pdf>

REDACCION EL TIEMPO. (2000, September 23). *BAÑOS ESCOLARES, FOCO DE INFECCIÓN*. El Tiempo; El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1244269>

ROBERT C. KELLY.(2022). Measures of Dispersion. <https://www.investopedia.com/terms/d/dispersion.asp>

Administrador. (2022, September 20). *¿Los baños escolares y sus riesgos!* - Venceramica. Venceramica. <https://venceramica.com/novedades-y-consejos/los-banos-escolares-y-sus-riesgos/>

*Manifiesto "Higiene y salud en tu escuela" de UNICEF y Essity.* (2019). Unicef.org. <https://www.unicef.org/mexico/manifiesto-higiene-y-salud-en-tu-escuela-de-unicef-y-essity>

### **Apéndice**

#### **Cuestionario usado en la investigación**

- 1- ¿Qué tan frecuentemente usas el baño de tu universidad?
- 2- ¿Cómo calificas la limpieza de los baños de tu universidad?
- 3- ¿Te sientes cómodo al hacer tus necesidades en el baño de tu universidad?
- 4- ¿Les dan suficiente mantenimiento necesario a los baños?
- 5- ¿Consideras que podrías contraer alguna infección debido al estado en el que se encuentran los baños?
- 6- ¿Cada cuanto realizan limpieza en los baños?
- 7- ¿Siempre hay papel higiénico en los baños?
- 8- ¿Los mingitorios están limpios?
- 9- ¿El baño cuenta con productos de higiene femenina?
- 10- ¿Cuentan con suficiente personal de limpieza?

# Aislamiento de Organismos de Micorrizas Extraídos de la Rizosfera de *Moringa oleífera*

Roberto Alexander Mendez-Moreno, Orquídea Pérez-González, Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena, Julia Mariana Márquez-Reyes, Victor Eustorgio Aguirre-Arzola

**Resumen:** Este trabajo tiene como objetivo extraer muestras de micorrizas de la rizosfera de *Moringa oleífera*. La rizosfera de esta especie es inhóspita debido a la secreción de fenoles, y se cree que los actinos presentes en ella desempeñan funciones protectoras para las raíces. Se realizó el aislamiento de los organismos utilizando un medio de interfase, obteniendo esporas del suelo que fueron incubadas para evaluar su supervivencia tras varios traslados a diferentes medios de cultivo. Se encontraron 10 muestras de actinos (A1-A10) y 2 levaduras (L1 y L2), las cuales mostraron un excelente crecimiento en el medio de cultivo PDA. Estas muestras fueron sometidas a pruebas cruzadas con 3 hongos fitopatógenos. Durante la prueba, el hongo fitopatógeno se colocó en el centro de una caja Petri durante 3 días, mientras que los organismos recolectados se cultivaron en los laterales. Se encontró que 5 muestras (A1, A2, A3, A4 y A9) mostraron capacidad antimicótica, reduciendo el crecimiento de los 3 hongos fitopatógenos evaluados.

**Palabras clave:** Micorrizas, Actinos, Rizosfera, Aislamiento

## Introducción

La *Moringa oleífera*, conocida comúnmente como Moringa, es un árbol que se originó en el sur del Himalaya. Este árbol crece rápidamente y puede alcanzar una altura de hasta 10-12 metros. Se cultiva debido a sus diversas propiedades y usos, ya que se puede utilizar como alimento, extraer aceite para biocombustible, purificar agua, entre otros (Castillo, 2013).

Las Micorrizas son una simbiosis entre hongos y bacterias que interactúan con las raíces de las plantas, ayudándolas a absorber nutrientes del suelo y agua. A cambio, los hongos y bacterias reciben azúcares y nutrientes sintetizados por las plantas. *Moringa oleífera* se destaca por su capacidad para producir metabolitos que hacen que su rizosfera sea más inhóspita que la de otras plantas. Por lo tanto, la micorriza de esta especie suele ser más resistente y las actino bacterias presentes en ella también tienen propiedades antifúngicas significativas (Ajaz, 2017).

En este trabajo, se realizaron pruebas para aislar las actino-bacterias y evaluar su capacidad antifúngica. Para ello, se investigaron trabajos similares realizados en esta y otras especies. Por ejemplo, Juan José Almaraz-Suárez llevó a cabo un estudio de aislamiento e identificación de hongos de micorriza utilizando suelo de 9 ubicaciones diferentes y tres tratamientos de control, logrando identificar tres especies de hongos de micorriza (Suárez, 2021).

## Metodología

La metodología consistió en 4 pasos importantes, la recolección, aislamiento, propagación y pruebas con 3 hongos fitopatógenos.

### Recolección

Las muestras de suelo se obtuvieron escarbando cerca de las raíces, la rizosfera, de una huerta de *Moringa oleífera* de la universidad autónoma de Nuevo León, facultad de agronomía. Se recolectó 3 muestras de suelo en total de diferentes puntos de huerta, cada muestra de suelo tenía diferentes propiedades de humedad y presencia de humus y fertilizantes, de las cuales se almacenaron en 3 bolsas distintas.

## Materiales:

Se utilizaron varios materiales en el estudio, incluyendo una balanza micrométrica (sujeta a cambios), una plancha con agitador magnético, tres cajas petri (cantidad sujeta a cambios), diez tubos de ensayo (cantidad sujeta a cambios), un matraz Erlenmeyer de 250 ml, un autoclave con reflector, una micropipeta de 20 a 200  $\mu$ l, un mechero y un vaso de precipitado de 250 ml.

Para preparar el medio de cultivo tipo "sabourraud", se utilizaron los siguientes compuestos: 500 ml de agua purificada, 1 ml de penicilina, Tween 80, solución de sacarosa al 70%, y una mezcla de alcohol al 70% y cloro al 5%. Además, se utilizó agar y peptonas.

Para el medio de cultivo PDA enriquecido con extracto de levadura y malta, se emplearon los siguientes compuestos: agar PDA comercial, malta y extracto de levadura.

## Metodología

### Aislamiento:

En el contexto de este estudio, se desarrolló una interfaz utilizando un medio enriquecido con esporas con el fin de ser inoculadas en el medio de cultivo Sabourraud. Se llevaron a cabo las correspondientes etapas de preparación y desinfección tanto del medio como del material de laboratorio. El objetivo primordial de este proceso de aislamiento consistió en la identificación y análisis de las esporas bajo un microscopio, permitiendo examinar su estructura y coloración con detenimiento.

Para llevar a cabo el aislamiento y la reproducción de las esporas endomicorrízicas arbusculares, se empleó una variante del método de tamizado y decantación, cuyos fundamentos están descritos en el manual de agro microbiología. Cabe destacar que se implementó una adaptación específica en este caso particular, ya que el material biológico o cepa que se utilizó no fue aislado de suelos con hongos nativos provenientes de algún cultivo en particular. Este enfoque diferencial evitó la necesidad de realizar muestreos y tamizados de muestras, simplificando considerablemente el proceso.

La preparación del medio de cultivo implicó llenar un matraz con 500 ml de agua purificada y añadir 1 ml de penicilina. Luego, se colocó el matraz en una plancha equipada con un agitador magnético, el cual fue ajustado a una velocidad de 12 rpm y una temperatura de 200°C. Durante este proceso, se permitió que los componentes se mezclaran homogéneamente hasta alcanzar el punto de ebullición. Posteriormente, el matraz fue retirado de la plancha y se le permitió enfriarse adecuadamente antes de ser sometido a esterilización mediante autoclave. Finalmente, el medio de cultivo estéril se distribuyó en cristalería previamente desinfectada para su posterior utilización.

Con respecto a la preparación de la interfaz de esporas, se llevó a cabo un proceso meticuloso con el propósito de dispersar de manera uniforme las esporas en una solución química adecuada. Para ello, se agregaron las esporas a un matraz Erlenmeyer esterilizado, seguido de la adición de 70 ml de agua purificada y 50 ml de sacarosa al 70%. La mezcla se sometió a agitación mediante un agitador magnético ajustado a una velocidad de 10 rpm, y posteriormente se dejó reposar durante un período de 24 a 48 horas, permitiendo así que se produjera la distribución deseada de las esporas en la solución.

En lo que respecta al aislamiento en las cajas Petri, se extrajeron 20 µl de la interfaz proveniente de los dos matraces Erlenmeyer previamente preparados. Cada matraz fue identificado y etiquetado como MAT1 y MAT2, respectivamente. A continuación, se sembraron estas muestras en 3 cajas Petri, tomando todas las precauciones necesarias para evitar cualquier forma de contaminación. Seguidamente, se procedió a transferir las muestras a un total de diez tubos de ensayo, utilizando tanto una aguja como una micropipeta con el fin de acelerar el proceso.

Durante la transferencia a los tubos de ensayo, se procedió a llevar a cabo una minuciosa limpieza utilizando una solución de alcohol y cloro, y se trabajó en proximidad a un mechero con el objetivo de mantener un ambiente libre de contaminantes. Se depositaron 4 muestras de 20 µl en cada tubo y se movieron suavemente para favorecer la dispersión de las esporas en la superficie. A continuación, los tubos se dejaron reposar a temperatura ambiente para permitir el crecimiento de los hongos.

Tras completar este procedimiento, las muestras resultantes pueden ser recultivadas en cajas Petri utilizando el medio de cultivo PDA, lo cual permitirá su posterior propagación en futuras etapas de investigación.

### *Pruebas con los hongos fitopatogenos*

Se realizó pruebas con 2 hongos fitopatogenos, F1 (*Fusarium spp*) y F2 (*Pleurostoma spp*), con el objetivo de probar las propiedades antimicóticas de los actinos y levaduras, para esto, los pasos de la prueba son los siguientes: primero se prepararon cajas petri con medio PDA y luego fue sembrado en el centro de los mismos el hongo fitopatogeno, se optara por 3 testigos y 6 pares de un tipo de hongo, de ahí hay que dejar en crecimiento los hongos fitopatogenos de 3 a 5 días, después hay que cultivar alrededor del hongo fitopatogeno 4 cepas actinos obtenidas del aislamiento de forma cardinal y finalmente observar el desarrollo de los actinos y como estos afectan el crecimiento del hongo fitopatogeno .

## Resultados

### Aislamiento:

Se obtuvieron tres muestras de suelo a una profundidad de 1 metro. La primera muestra corresponde a un tipo de suelo arcilloso, seco y con baja presencia de materia orgánica. En cambio, las segunda y tercera muestras corresponden a suelos con alta humedad, fertilización artificial y una considerable cantidad de materia orgánica. Fue de estas dos últimas muestras de donde se obtuvo la mayor cantidad de esporas.

En total, se recolectaron 10 muestras de actinomicetos (A1-A10) y 2 muestras de levaduras (L1 y L2), las cuales mostraron un excelente crecimiento en el medio de cultivo PDA. Todas las muestras fueron sembradas en agar PDA, pero durante el proceso de aislamiento se observó accidentalmente una inhibición fúngica. Ante esta situación, se llevaron a cabo pruebas cruzadas contra fitopatogenos.

En relación a las pruebas cruzadas con los hongos fitopatógenos, se determinó que solo algunos actinomicetos tienen la capacidad de reducir el crecimiento de los hongos fitopatógenos en los primeros 3 días de incubación. (Fig. 1 y 2) Cabe destacar que estos actinomicetos se encontraban en condiciones de incubación artificial, sin acceso a la luz

En la tabla 1 se describe la capacidad de inhibición del crecimiento contra *Pleurostoma spp*, marcando con x los que tuvieron una respuesta.

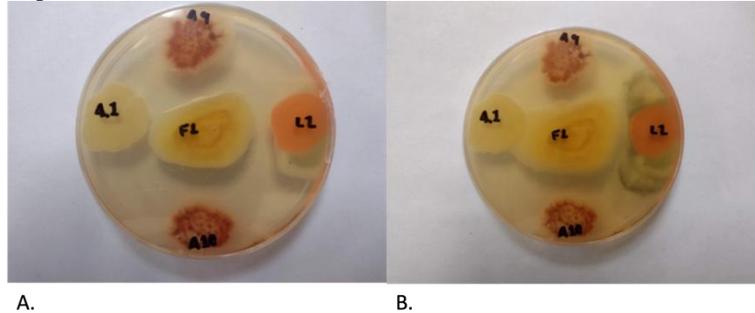


Figura 1. Prueba de inhibición cruzada de las cepas aisladas de la Rizosfera de *Moringa oleifera* contra *Fusarium spp*. Al centro la cepa fitopatógena de *Fusarium spp.*, en los extremos las cepas A9, A10, L1 y L2. Panel A. Efecto a las 48h de cultivo; Panel B despues de 2 semanas de cultivo.

A1	x	x
A2	x	x
A3	x	x
A4	x	x
A5		
A6		
A7		
A8		
A9		
A10		x
L1		
L2		x

F1: *Fusarium spp*; F2: *Pleurostoma spp*;

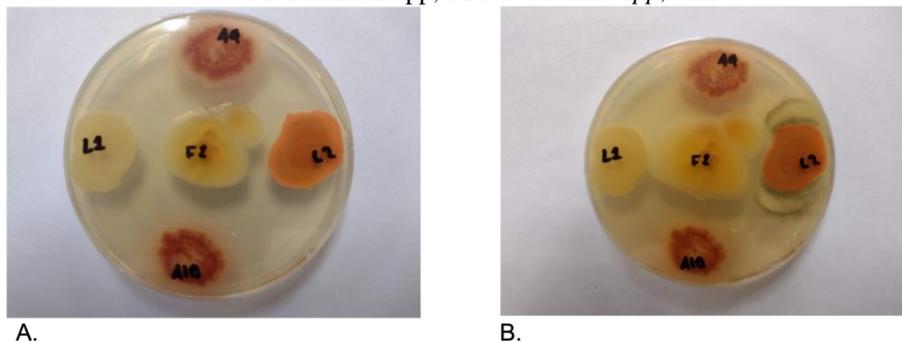


Figura 2. Prueba de inhibición cruzada de las cepas aisladas de la Rizosfera de *Moringa oleifera* contra *Pleurostoma Spp*. Al centro la cepa fitopatógena de *Fusarium spp.*, en los extremos las cepas A9, A10, L1 y L2. Panel A. Efecto a las 48h de cultivo; Panel B despues de 2 semanas de cultivo.

### Discusión

En nuestra investigación previa, examinamos los componentes bioquímicos de la *Moringa oleifera* y descubrimos que los compuestos presentes en las raíces de esta planta son responsables de sus propiedades

defensivas. Entre estos compuestos se encuentran los inhibidores de tripsina, los cuales son conocidos por desempeñar un papel defensivo en las plantas (Castillo, 2013).

A raíz de estos hallazgos, evaluamos los mecanismos de defensa de la Moringa oleífera contra infecciones fúngicas radiculares utilizando extractos de la planta para tratar especies como *Macrophomina phaseolina*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*. Los resultados indican que los mecanismos de defensa de la planta fueron efectivos contra estas infecciones (Ajaz, 2017).

En consonancia con los resultados anteriores, los organismos residentes en la rizosfera estudiados en este trabajo también demostraron una fuerte capacidad antifúngica, lo cual concuerda con lo reportado por Mohamedy y colaboradores (2014). Se observó actividad inhibitoria contra especies como *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Alternaria solani*, *Alternaria alternata*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Macrophomina phaseolina*.

Estos resultados resaltan el potencial de los organismos presentes en la rizosfera para la identificación de nuevas moléculas funcionales que podrían utilizarse tanto en el combate de plagas como en la preservación de alimentos. La interacción entre la Moringa oleífera y los organismos rizosféricos ofrece una perspectiva prometedora para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible de cultivos y el descubrimiento de agentes biológicos con propiedades antifúngicas.

### Conclusión

Los microorganismos presentes en la rizosfera de la Moringa oleífera han demostrado una notable adaptación al estrés provocado por el ambiente rico en fenoles. Esto se traduce en una amplia diversidad de microorganismos en la rizosfera de la Moringa oleífera, los cuales podrían ser de utilidad en otros procesos. Entre las cepas encontradas, se identificaron las cepas A1, A2, A3, A4, A10 y L2 como las más efectivas contra los fitopatógenos *Fusarium* y *Pleurostoma*.

Es necesario realizar la caracterización de los compuestos liberados al medio por parte de los actinomicetos y llevar a cabo la identificación molecular de estos compuestos. Esto permitirá obtener un mayor entendimiento sobre su actividad y mecanismos de acción contra los fitopatógenos, y proporcionará información relevante para futuros estudios y aplicaciones prácticas..

### Referencias

1. Krisana, L., Shinji, T., Saisamorn, L., & Wasu, P. (2018). Actinobacteria Associated With Arbuscular Mycorrhizal Funneliformis mosseae Spores, Taxonomic Characterization and Their Beneficial Traits to Plants: Evidence Obtained From Mung Bean (*Vigna radiata*) and Thai Jasmine Rice (*Oryza sativa*). *Frontiers in Microbiology*, Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01247>
2. Enrique Sosa Matías.(2014).Aislamiento y reproducción de hongo micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*) en plantas de maíz (*Zea mays*). informe final de residencia que presenta el c. México. [http://www.itzonamaya.edu.mx/web\\_biblio/archivos/res\\_prof/agro/agro-2014-18.pdf](http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2014-18.pdf)
3. Juan José Almaraz-Suárez, Apolinar González-Mancilla, Ronald Ferrera-Cerrato, María del Pilar Rodríguez-Guzmán, Oswaldo Rey Taboada-Gaytán, Laura Verónica Hernández-Cuevas, Alejandro Alarcón & Antonio Trinidad-Santos.(2021). HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN LA RIZÓSFERA DE PLANTAS NATIVAS Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE CHILE POBLANO. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 44 Núm. 4. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.571>.
4. Ejaz, A., Hanif, A., & Dawar, S. (2017). MANAGEMENT OF ROOT ROT FUNGI OF CROP PLANTS By MORINGA OLEIFERA LAM.
5. Riad S.R. El-Mohamedy and Aboelfetoh M. Abdalla.(2014).Evaluation of antifungal activity of Moringa oleifera extracts as natural fungicide against some plant pathogenic fungi In-vitro. *ournal of Agricultural Technology* 2014 Vol. 10(4): 963-982
6. Torres Castillo, JA & Sinagawa-García, SR & Martínez, Guillermo & Lopez, Aliyah & Sánchez-González, Enrique & Aguirre-Arzola, Victor & Acosta, Reyna Ivonne & Olivares-Sáenz, Emilio & Osorio-Hernández, Eduardo & Gutiérrez-Díez, Adriana. (2013). Moringa oleifera: Phytochemical detection, antioxidants, enzymes and antifungal properties. *Phyton* (Buenos Aires). 82. 193-202.

# Evaluación de la Reacción Fenton como Tratamiento para la Degradación de Residuos de Tereftalato de Polietileno

Dr. Daryl Rafael Osuna-Laveaga<sup>1</sup>, Dr. Edgar David Moreno-Medrano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Básicas y Aplicadas, CUTONALA, Universidad de Guadalajara. Av. Nuevo Periférico No. 555 Ejido San José Tateposco, C.P. 45425, Tonalá, Jalisco, México.

**Resumen**— Se evaluó el efecto de los radicales °OH generados a partir de una variante de la reacción Fenton sobre la degradación de residuos de tereftalato de polietileno (PET) en solución acuosa en medio ácido, empleando nanopartículas de magnetita y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en intervalos de 30 minutos. Para comprobar la generación de radicales °OH en la reacción se determinó su concentración por espectroscopía de fluorescencia empleando cumarina como agente secuestrador y midiendo su transformación en 7hidroxicumarina. Se alcanzó un máximo de 1.03 mM de °OH, cuyo efecto tuvo una degradación de hasta un 0.15% del PET, demostrando que este material es resistente a la oxidación. Se recomienda aumentar la concentración de las especies reactivas a partir del incremento del peróxido de hidrógeno, así como prolongar los tiempos de reacción.

**Palabras clave**—POA, Fenton, PET, plásticos, microplásticos.

## Introducción

La producción de plásticos a nivel mundial ha ido en aumento año tras año desde el inicio en su demanda en 1940 (Khairul Anuar, 2022); se estima que en el año 2018 se produjeron 359 millones de toneladas (MT) de plásticos, y que en 2017 se manufacturaron de forma acumulada hasta 8000 MT a nivel mundial. Cuando los residuos o artículos plásticos son dispuestos de manera inadecuada y son expuestos a la radiación solar, fricción, abrasión y sustancias oxidantes, su estructura se ve comprometida y se liberan gradualmente partículas invisibles al ojo humano. Estas partículas plásticas pueden tener tamaños de 1 µm a 5 mm -microplásticos- o menores a 1 µm -nanoplásticos- (Yang et al., 2021), las cuales tienen impactos en los ecosistemas y en la salud de los seres vivos. Entre estos residuos se encuentran el poliestireno (PS), el polietileno (PE), el cloruro de polivinilo (PVC), el polipropileno (PP) y el tereftalato de polietileno (PET) en materiales de desecho como utensilios de un solo uso, envases y contenedores de comida procesada, envolturas, bolsas, entre otros. Debido a que estos materiales se fabrican a partir del petróleo, sus estructuras contienen carbono e hidrógeno en forma de largas cadenas, y en el caso del PET y el PS, además, están conformados por anillos aromáticos.

Con la finalidad de mitigar los impactos de los plásticos, microplásticos (MP) y nanoplásticos (NP), se han aplicado diversas tecnologías para su degradación, entre ellas los tratamientos biológicos y químicos. Los tratamientos biológicos consisten en el empleo de microorganismos específicos que tienen enzimas con la capacidad de degradar la estructura química de determinados plásticos y convertirlos en moléculas de menor tamaño (Krueger et al., 2015), entre ellos bacterias y hongos. Entre los tratamientos químicos están los procesos de oxidación avanzada (POA), cuya finalidad es generar especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), principalmente radicales °OH para degradar contaminantes orgánicos persistentes en agua. Éstos se pueden clasificar en heterogéneos y homogéneos, y tienen sus variantes en función de la utilización de energía eléctrica y luz UV.

Entre los POA más aplicados se encuentran la reacción Fenton y sus variantes, la cual emplea un catalizador de hierro y peróxido de hidrógeno en condiciones ácidas, favoreciendo la generación de radicales °OH a partir de la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno (eq.1). El radical °OH se caracteriza por su elevado potencial de oxidación (2.8 V), tiempo de vida extremadamente corto y una constante de reacción alta ( $k = 10^7\text{-}10^{10} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) (Westerhoff et al. 1997; Atri et al., 2015; Chang et al., 2008).



Algunas variantes de la reacción Fenton son la oxidación fotoquímica y la oxidación fotocatalítica. La oxidación fotoquímica aprovecha la radiación UV para inducir la generación de especies reactivas de oxígeno a partir del oxígeno del aire, del agua y del peróxido de hidrógeno; la oxidación fotocatalítica emplea la luz UV y prescinde del peróxido

---

El Dr Daryl Osuna es investigador en oxidación avanzada en el CUTONALA de la Universidad de Guadalajara. [daryl.osuna@academicos.udg.mx](mailto:daryl.osuna@academicos.udg.mx) (autor correspondiente).

<sup>1</sup>El Dr David Medrano es profesor investigador en oxidación avanzada para remediación ambiental en el CUTONALA de la Universidad de Guadalajara. [edgar.mmedrano@academicos.udg.mx](mailto:edgar.mmedrano@academicos.udg.mx)

de hidrógeno debido al empleo de una sustancia fotocatalizadora (material semiconductor) que favorece la generación de especies reactivas a partir del agua y oxígeno presentes en el medio (Du et al., 2021). Los fotocatalizadores comúnmente empleados son el aluminato de níquel ( $\text{NiAl}_2\text{O}_4$ ) y el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ).

El empleo de la magnetita como catalizador de hierro en la reacción heterogénea Fenton es una opción que ha sido reportada. La magnetita es un mineral de hierro, cuyo uso en POA evita la generación lodos, permite la reutilización del hierro en reacciones subsecuentes y tiene una estructura octaédrica con sitios  $\text{Fe}^{2+}$  (como donadores de electrones para iniciar la reacción) y  $\text{Fe}^{3+}$ , lo cual implica que  $\text{Fe}^{2+}$  puede ser oxidado y reducido en la misma estructura (Andrade et al., 2009).

Hasta el momento, la mayoría de los trabajos reportados de POA evalúan la degradación de plásticos y microplásticos de PS y PP, sin embargo, existen pocos reportes en los que se comprueba y determina la generación de radicales hidroxilo y en los que estas tecnologías se emplean para el tratamiento de PET, el cual es uno de los plásticos más producidos, con mayor persistencia y un material que forma parte importante en los desechos y está dispuesto de forma inadecuada en todos los ecosistemas del planeta con impactos negativos al ambiente y daños potenciales a la salud de los seres vivos. El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el efecto de los radicales  $^{\circ}\text{OH}$  generados a partir de una variante de la reacción Fenton sobre la degradación de residuos de tereftalato de polietileno (PET), empleando nanopartículas de magnetita y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Para validar la generación de radicales  $^{\circ}\text{OH}$  en la reacción se determinó su concentración por espectroscopía de fluorescencia.

## Metodología

### *Diseño experimental y reacción Fenton*

El diseño experimental consistió en dos etapas generales: La determinación de la concentración de radicales  $^{\circ}\text{OH}$  generados a partir de la reacción de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y magnetita, y la evaluación posterior de su efecto sobre la degradación de PET. La reacción Fenton se llevó a cabo por duplicado en matraces Erlenmeyer de 50 mL en solución acuosa en medio ácido (pH 3), empleando nanopartículas de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) con un tamaño de partícula de 50-100 nm (Sigma Aldrich, grado reactivo) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (grado alimenticio). Se emplearon concentraciones de 0.1 mM de magnetita y 1 y 2 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$ , siguiendo una relación estequiométrica mayor a 1:7, de acuerdo con resultados previos obtenidos por otros autores (Chang 2008). Para la determinación de  $^{\circ}\text{OH}$  generados, se añadió a cada matraz magnetita y cumarina, y finalmente el  $\text{H}_2\text{O}_2$ ; para el tratamiento del material PET, se añadió a cada matraz magnetita, PET y finalmente  $\text{H}_2\text{O}_2$ . En ambos escenarios se replicaron las condiciones cada 30 minutos.

### *Determinación de radicales OH*

La determinación de  $^{\circ}\text{OH}$  generados en la reacción se llevó a cabo por espectroscopía de fluorescencia. Se empleó cumarina (Sigma Aldrich, grado HPLC), una sustancia secuestradora de  $^{\circ}\text{OH}$  y que al reaccionar con estas especies reactivas se oxida para formar 7hidroxicumarina -7OHC- (Payá et al., 1992; García Espinoza et al., 2021) (Figura 1), un compuesto estable con propiedades fluorescentes cuya señal puede ser detectada y cuantificada por espectroscopía; la relación estequiométrica entre 7OHC y  $^{\circ}\text{OH}$  es 1:1. La concentración de 7OHC se determinó empleando una lámpara UV (Analytik Jenna US) a longitud de onda  $\lambda = 365$  nm (excitación) y un equipo de espectroscopia Silver-Nova 25 (Stellar Net) a  $\lambda = 456$  nm (emisión), así como el software Spectra Wiz v6.32. Las concentraciones empleadas para la curva de calibración de 7OHC estuvieron en el intervalo 0.0012-0.037 mM, y se empleó 7OHC grado HPLC (Sigma Aldrich). En esta etapa se prescindió del material PET.



Figura 1. Esquema de la reacción de 7-hidroxicumarina con radicales hidroxilo (Nosaka et al., 2011).

### *Preparación y determinación de la degradación de PET*

El PET fue obtenido a partir envases de agua embotellada en láminas de 1 x 1 cm; se lavaron con detergente y agua destilada, y finalmente fueron llevados a una temperatura de  $40 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 24 h para evaporar el agua y evitar llegar al punto de transición vítrea. Una vez que las láminas de PET mostraron estar a peso constante, se sometieron a la reacción Fenton siguiendo el siguiente diseño experimental: Una vez preparada la solución de magnetita y el PET, se añadió el volumen requerido de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a cada matraz para alcanzar las concentraciones de 1 y

2 mM. Después de 30 minutos de reacción, se determinó el peso del PET. Esta reacción se llevó a cabo hasta completar un período acumulado de 90 minutos.

Al final de la reacción, las láminas PET se sometieron a ultrasonificación con una mezcla agua-detergente y posterior lavado con agua destilada para desprender residuos de hierro provenientes de las nanopartículas de magnetita. El porcentaje de degradación se determinó con la variación de peso antes y después de la reacción Fenton con la siguiente ecuación (eq. 2):

$$\% \text{ degradación} = \frac{\text{masa}_{\text{inicial}} - \text{masa}_{\text{final}}}{\text{masa}_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (2)$$

## Resultados

### Determinación de la concentración de °OH

El coeficiente de determinación obtenido a partir de la regresión lineal de las diferentes concentraciones de 7 hidroxycumarina y sus respectivas absorbancias fue de 0.9139, el cual representa de manera aceptable la explicación de la variabilidad de los datos con el modelo ajustado (Figura 2a). La concentración de °OH se mantuvo constante en cada reacción de 30 minutos, alcanzando un máximo de 1.03 mM, por lo que se corrobora la generación de especies reactivas con potencial para degradar o cambiar la estructura química de desechos PET (Figura 2b). Las concentraciones obtenidas de °OH son relativamente altas comparadas con los reportes de otros autores en sistemas electroquímicos, en el orden de µmoles (Nosaka et al., 2011; García Espinoza et al., 2021).

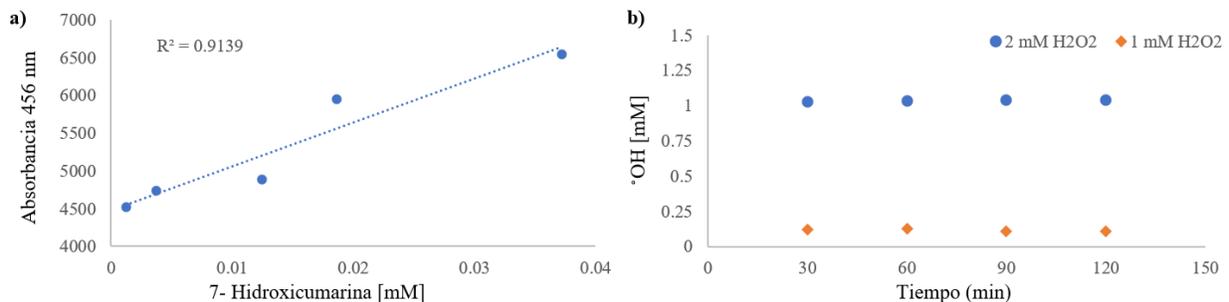


Figura 2. Curva de calibración de 7-hidroxycumarina (a) y concentración de radicales hidroxilo en función de diferentes concentraciones de peróxido de hidrógeno a través del tiempo (b).

### Degradación de PET

Una vez que se demostró y determinó la concentración de °OH, se procedió a evaluar el efecto de las mismas condiciones de reacción en la degradación de muestras de PET. La Figura 3 muestra los porcentajes de la degradación de PET con concentraciones de 1 y 2 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en tiempos prolongados de hasta 120 minutos; en general se observa que la degradación del material PET es considerablemente baja, con un máximo de 0.15% a los 30 minutos de la reacción Fenton con una concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 2 mM.

La concentración 1 mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no demostró tener un efecto en la degradación de PET. Esto se puede explicar por la elevada resistencia a la abrasión y oxidación, el elevado grado de cristalinidad del tereftalato de polietileno, así como una concentración de radicales hidroxilo probablemente insuficiente para ocasionar una degradación de la estructura del PET.

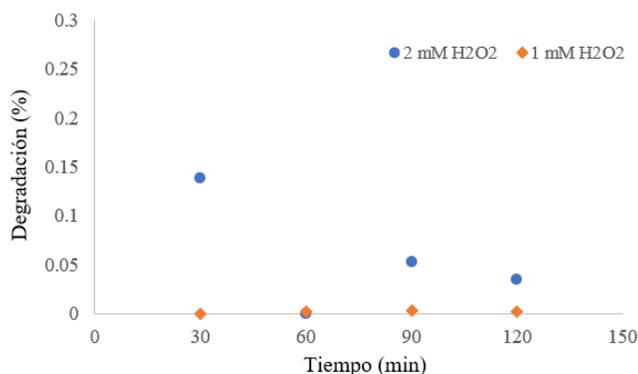


Figura 3. Degradación de desechos PET en función de la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y del tiempo.

Comparando estos resultados con los de otros autores con otros tipos de polímeros plásticos, se puede mencionar el trabajo de Zan y colaboradores (2006), que trataron láminas de polietileno de baja densidad por fotocatalisis empleando TiO<sub>2</sub> e irradiando con luz UV durante un tiempo de 400 h (17 días), alcanzando una pérdida de masa del material de hasta 68.38%. García-Montelongo y colaboradores (2014) aplicaron fotocatalisis empleando nanopartículas de TiO<sub>2</sub> para tratar polipropileno, alcanzando 4-8% de degradación con tiempos de hasta 144 h (6 días). Ali y colaboradores (2016) lograron una degradación de láminas de polietileno de baja densidad cercana al 50% en un sistema fotocatalítico empleando nanotubos de titanio, con un tiempo de 1080 h (45 días). Como se puede observar en los estudios mencionados, los largos tiempos de tratamiento son el principal inconveniente, por lo que una hipótesis de los resultados en este trabajo es el corto tiempo de tratamiento del material PET a la reacción Fenton.

### Conclusiones

El empleo de cumarina como agente secuestrador de °OH, 7hidroxicumarina y la espectroscopía de fluorescencia demostró ser una técnica útil y precisa para la cuantificación de estas especies reactivas generadas en la reacción Fenton. La concentración de radicales hidroxilo generados fue relativamente alta comparada con otros autores, sin embargo, fue insuficiente para alcanzar un cambio significativo en la pérdida de masa del material PET. Los tiempos de reacción demostraron ser insuficientes con las concentraciones de peróxido de hidrógeno y magnetita empleadas.

### Recomendaciones

Se recomienda un análisis superficial a través de alguna técnica de microscopía, como de barrido electrónico o de fuerza atómica, de manera que se evalúe el efecto de la reacción en la degradación superficial. También se recomienda un análisis por FTIR (infrarrojo de transformada de Fourier) para evaluar cambios estructurales en la superficie de los residuos PET, y finalmente, un aumento en la concentración de radicales OH a través del incremento del peróxido de hidrógeno y un incremento en los tiempos de reacción.

### Referencias

- Yang, T., Luo, J., Nowack, B. Characterization of nanoplastics, fibrils, and microplastics released during washing and abrasion of polyester textiles. *Environmental Science & Technology*. 55 (23), 15873-15881. 2021. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04826>
- Krueger, M.C., Harms, H. y Schlosser, D. Prospects for microbiological solutions to environmental pollution with plastics. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99 (21), 8857-8874. 2015.
- Westerhoff, P., Song, R., Amy, G. y Minear, R. Applications of ozone decomposition models. *Ozone: Science & Engineering*, 19(1), pp.55-73. 1997. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01919519708547318>.
- Attri, P., Kim, Y. H., Park, D. H., Park, J. H., Hong, Y. J., Uhm, H. S. y Choi, E. H. Generation mechanism of hydroxyl radical species and its lifetime prediction during the plasma-initiated ultraviolet (UV) photolysis. *Scientific Reports*, 5(1). 2015. <https://doi.org/10.1038/srep09332>
- Chang, C.Y., Hsieh, Y.H., Cheng, K.Y., Hsieh, L.L., Cheng, T.C. y Yao, K.S. Effect of pH on Fenton process using estimation of hydroxyl radical with salicylic acid as trapping reagent. *IWA Publishing, Water Science & Technology—WST*. 2008. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.429>.
- Du, H., Xie, Y. y Wang, J. Microplastic degradation methods and corresponding degradation mechanism: Research status and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials*. 418, 126377. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126377>

Andrade, A.L. Souza, D.M., Pereira, M.C., Fabris, J. D. y Domingues, R.Z. Catalytic Effect of Magnetic Nanoparticles Over the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Decomposition Reaction. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* Vol.9, 3695–3699. 2009.

Payá, M., Halliwell, B., & Houlst, J. R. S. Interactions of a series of coumarins with reactive oxygen species: scavenging of superoxide, hypochlorous acid and hydroxyl radicals. *Biochemical pharmacology*, 44(2), 205-214. 1992. [https://doi.org/10.1016/0006-2952\(92\)90002-Z](https://doi.org/10.1016/0006-2952(92)90002-Z)

García-Espinoza, J.D., Robles, I., Durán-Moreno, A. y Godínez, L.A. Study of simultaneous electro-Fenton and adsorption processes in a reactor containing porous carbon electrodes and particulate activated carbon. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 895, 115476. 2021.

Nosaka, Y., Ohtaka, K., Ohguri, N. y Nosaka, A. Y. Detection of OH radicals generated in polymer electrolyte membranes of fuel cells. *Journal of The Electrochemical Society*, 158(4), B430. 2011. <https://doi.org/10.1149/1.3556103>

Zan, L., Fa, W. y Wang, S. Novel Photodegradable Low-Density Polyethylene-TiO<sub>2</sub> Nanocomposite Film. *Environmental science & technology*. Vol. 40, 5. 2006. <https://doi.org/10.1021/es051173x>.

García-Montelongo, X.L., Martínez-de la Cruz, A., Vázquez-Rodríguez, S. y Torres-Martínez, L.M. Photo-oxidative degradation of TiO<sub>2</sub>/polypropylene films. *Mater. Res. Bull.* 51, 56–62. 2014.

Ali, S. S., Qazi, I. A., Arshad, M., Khan, Z., Voice, T. C. y Mehmood, C. T. Photocatalytic degradation of low density polyethylene (LDPE) films using titania nanotubes. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 5, 44–53. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.001>

# Evaluación de un Nanocompuesto Plata-Epoxi Impreso en Papel para la Detección Selectiva de Aniones Yoduro en Agua

Dr. Víctor Manuel Rentería Tapia<sup>1</sup>, Dr. Enrique Barrera Calva<sup>2</sup>

**Resumen**—En este trabajo se informa de un sensor colorimétrico preparado con un nanocompuesto plata-epoxi impreso en papel Whatman para la detección semi-cuantitativa a simple vista de aniones  $I^-$  disueltos en agua. El sensor exhibe una respuesta muy rápida (segundos) en el intervalo lineal de 0-250 mM de la gráfica de calibración, con límite de detección de 0.8 mM y es selectivo a los iones  $F^-$ ,  $OH^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $NH_4^+$  y a moléculas orgánicas como urea y lactato. El sensor identifica aniones yoduro a diferente concentración de acuerdo a los cambios de color observados a simple vista, originados por acoplamiento plasmónico de nano-agregados de plata. La información obtenida de los ensayos, sugiere la aplicación del sensor en la evaluación de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos para alta concentración de aniones  $I^-$ .

**Palabras clave**— sensor plasmónico, aniones yoduro, nanopartículas de plata, resina epóxica.

## Introducción

La detección de aniones de yoduro en el agua es un tema importante debido a sus efectos benéficos o nocivos dependiendo de su concentración existente en los sistemas fisiológicos y ambientales (Bothra et al. 2017 y Liu et al., 2015). Por ejemplo, los aniones yoduro tienen una importancia especial desde el punto de vista biológico debido a su actividad neurológica y su función de la glándula tiroidea. Tanto la deficiencia como la abundancia de yoduro en la glándula tiroidea pueden suscitar importantes problemas de salud. Mientras que el contenido de aniones yoduro en aguas subterráneas  $>1$  mg/L podría sugerir agua contaminada. La detección selectiva, rápida y sensible de estos aniones podría simplificar enormemente el diagnóstico de enfermedades y la evaluación de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos.

La determinación de aniones yoduro en soluciones acuosas se realiza mediante métodos espectroscópicos y electroquímicos vía un efecto vinculante a receptores específicos (Zhang et al. 2011). Todos estos métodos ofrecen una alta sensibilidad, pero son costosos, las lecturas llevan mucho tiempo y son poco prácticos para realizar diagnósticos médicos o evaluación de riesgos ambientales in situ. Por lo tanto, se han centrado grandes esfuerzos para la identificación y cuantificación de aniones yoduro en el agua a través de una plataforma simple, rápida, de bajo costo y portátil.

Se han diseñado algunas variedades moleculares para la detección colorimétrica específica de aniones yoduro basada en la química supramolecular (Miyaji y Sessler, 2001). En esta aproximación, se sintetizan receptores aniónicos con alta selectividad y sensibilidad, pero normalmente implican complicados procedimientos de síntesis orgánica, propiedades incompatibles con el agua, baja estabilidad y sus capacidades de reconocimiento se limitan a las fases líquidas orgánicas. Estas desventajas implican grandes retos por resolver para llevar a cabo aplicaciones prácticas en el reconocimiento selectivo de aniones yoduro en entornos acuosos.

Por otra parte, las nanopartículas metálicas ofrecen una alternativa viable para utilizarse como plataformas colorimétricas para la identificación y cuantificación de analitos solubles en agua, debido a su alta sensibilidad al entorno dieléctrico, altos coeficientes de absorción óptica (1000 veces más que la de los pigmentos orgánicos) y facilidad para generar acoplamiento plasmónico (Cheng et al. 2003). Estos fenómenos están fuertemente relacionados con la capacidad de reconocimiento de analitos de interés químico o biológico. Por ello, las plataformas plasmónicas se consideran una alternativa interesante para el desarrollo de sensores colorimétricos de aniones, cationes y especies moleculares disueltas en agua, ya que son selectivas y permiten la detección a “ojo desnudo” (Zhang et al. 2011). En particular, el reconocimiento y la transducción de los aniones yoduro en fase líquida se ha efectuado con nanoestructuras núcleo-cáscara de cobre-oro (Zhang et al. 2011), nanopartículas de oro con y sin etiquetas fluorescentes (Wei et al. 2012 y Bothra et al., 2015), así como con nanoestructuras de plata (Jiang y Yu, 2008).

El principio fundamental de la sensibilidad colorimétrica de este tipo de sensores está relacionado con la resonancia plasmónica de nanopartículas metálicas, la cual es dependiente de la forma y tamaño de las nanopartículas, el entorno dieléctrico, procesos de quimisorción, distancia entre partículas y estados agregados. La resonancia se origina por las oscilaciones electrónicas colectivas de los electrones libres en la banda de conducción de las nanopartículas metálicas, la cual genera una banda óptica en el espectro UV-Vis y es sensible a la presencia de diversos

<sup>1</sup> El Dr. Víctor Manuel Rentería Tapia es Profesor del Departamento de Ciencias Naturales y Exactas en la Universidad de Guadalajara-CUVALLES, Ameca, Jalisco. [victor.renteria@academicos.udg.mx](mailto:victor.renteria@academicos.udg.mx) (autor correspondiente)

<sup>2</sup> El Dr. Enrique Barrera Calva es Profesor del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, CDMX, México. [ebc@xanum.uam.mx](mailto:ebc@xanum.uam.mx)

analitos. Por ejemplo, la quimisorción de aniones yoduro sucede en la superficie de nanopartículas de oro provocando un mecanismo de fusión/fragmentación de nanopartículas y debido a la disminución de la energía superficial se favorece la subsecuente formación de agregados (Cheng et al. 2003). La transformación morfológica de las nanopartículas metálicas permite observar un proceso colorimétrico específico para la identificación de aniones yoduro. Generalmente, la agregación de nanopartículas conduce a un amortiguamiento y a un ensanchamiento de la banda espectral de resonancia del plasmón, que se extiende hasta la región infrarroja debido al acoplamiento plasmónico entre nanopartículas metálicas muy cercanas entre sí. Adicionalmente, los campos eléctricos son muy intensos debido a este fenómeno de acoplamiento y, en consecuencia, se perciben colores a simple vista.

Por otra parte, en relativamente pocos trabajos se ha informado sobre la identificación a “ojo desnudo” de aniones inorgánicos utilizando papel filtro de celulosa impreso con nanopartículas metálicas (Liana et al. 2012). El interés de este tipo de plataformas proviene de su portabilidad, disposición, biodegradabilidad y compatibilidad con especies químicas y biológicas. Además, estas plataformas de detección permiten una fácil impregnación de líquidos polares dentro de sus fibras hidrófilas, también se pueden imprimir patrones hidrofóbos empleando una impresora con tinta sólida (cera) y su superficie puede ser decorada con una variedad de grupos funcionales.

Recientemente, se ha informado de una plataforma colorimétrica constituida de nanopartículas de plata embebidas con resina epóxica e impresas en papel filtro de celulosa para la detección de aniones cloruro en el intervalo de 14 a 400 mM para su uso en la determinación de la calidad del agua para altas concentraciones de  $\text{Cl}^-$  (Franco et al. 2022). Adicionalmente, se informa de la posibilidad de la determinación de aniones haluro del tipo  $\text{Br}^-$  y  $\text{I}^-$ . Debido a la posibilidad de determinar aniones yoduro utilizando esta plataforma, en este trabajo se presentan los resultados de la determinación semicuantitativa de estos aniones en agua con y sin presencia de otros iones y moléculas orgánicas para aplicaciones en ecosistemas acuosos.

## Metodología

### Procedimiento

Se preparó un nanocompuesto plata-epoxi de acuerdo a la metodología previamente informada (Franco et al. 2022). En resumen, se mezcla el precursor de nanopartículas metálicas de plata  $\text{AgNO}_3$  y la resina epóxica Araldite 506 bajo agitación vigorosa por 24 h a  $60^\circ\text{C}$ . La resina epóxica actúa como agente de solvatación y reductor de iones  $\text{Ag}^+$ , así como agente estabilizante de las nanopartículas metálicas. Al término de la reacción se observa una solución de color marrón oscuro (Figura 1a), la cual se deposita en papel filtro de celulosa Whatman #1 originando un color amarillo-naranja (Figura 1b). El papel impreso con las nanopartículas ( $0.7 \times 8.1 \text{ cm}^2$ ) es cortado en tiras de aproximadamente  $0.5 \times 2.0 \text{ cm}^2$  y se utiliza como una plataforma colorimétrica para la detección de aniones  $\text{I}^-$  a diferentes concentraciones en el intervalo de 0.0 a 1.0 M. Estas soluciones fueron preparadas a partir de  $\text{KI}$  ( $\geq 99\%$ ), utilizando agua desionizada. También se prueba la selectividad a los iones  $\text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  y a las especies moleculares de urea y lactato. La proporción molar ( $R$ ) de aniones  $\text{I}^-$  y cualquiera de estas especies fue  $R = 1$ , con  $[\text{I}^-] = 120 \text{ mM}$ . Los siguientes compuestos fueron empleados para los ensayos de selectividad:  $\text{KF}$ , ( $\geq 99\%$ ),  $\text{KOH}$  ( $\geq 97\%$ ),  $\text{KNO}_3$  anhidro ( $\geq 99\%$ ),  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (99%),  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  ( $\geq 98$ ),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidro ( $\geq 99\%$ ),  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (98%),  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  ( $\geq 98$ ),  $\text{NH}_4\text{OH}$  (28%), urea ( $>99\%$ ) y lactato de calcio ( $> 98\%$ ).

Las tiras de papel se sumergen 5 segundos en las soluciones acuosas, se depositan en papel absorbente y se miden los cambios ópticos después de 1.5 minutos de la inmersión. Las estimaciones de las propiedades plasmónicas, así como del límite de detección óptico (LDO) de los aniones yoduro, se efectuaron empleando un espectrofotómetro UV-Vis-NIR Shimadzu UV-3600 con esfera de integración acoplada al equipo. Para la determinación del LDO se midió la extinción óptica a 600 nm después de inmersión del sensor en soluciones acuosas de aniones yoduro a diferentes concentraciones. El LDO se estima con la pendiente  $m$  obtenida del ajuste lineal ( $n = 3$ ) de la gráfica de calibración y la desviación estándar promedio  $s$  del blanco, a través de la expresión  $\text{LDO} = 3s/m$ . Se consideró el blanco como la muestra impregnada sin presencia de iones yoduro.

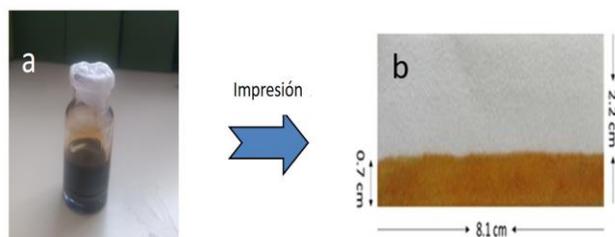


Figura 1. Nanocompuesto plata-epoxi (a) e impresión del nanocompuesto sobre papel para su uso como sensor (b).

### Resultados y Análisis

En la Figura 2 se muestra el espectro de extinción de las nanopartículas de plata impresas en papel filtro de celulosa antes y después de la inmersión del sensor en agua. La banda plasmónica del sensor es ancha y su máximo está localizado en 434 nm. Estas características ópticas son debido a una amplia distribución de nanopartículas de plata de diferentes formas (cilindros, esferas y prismas) con tamaños desde 20 hasta 250 nm (Franco et al. 2022). Cuando el sensor se sumerge en agua desionizada el máximo de resonancia disminuye, el espectro se ensancha y aparece un hombro óptico localizado en 520 nm. El color del sensor cambia de amarillo-naranja a color rojo marrón. De acuerdo a las imágenes de microscopía de barrido, la distancia entre nanopartículas es menor después de la inmersión del sensor en agua (Franco et al. 2022). Este efecto produce acoplamiento plasmónico entre las nanopartículas de plata debido a que su distancia de separación es más pequeña que la longitud de onda de la luz incidente, incrementando el campo eléctrico local.

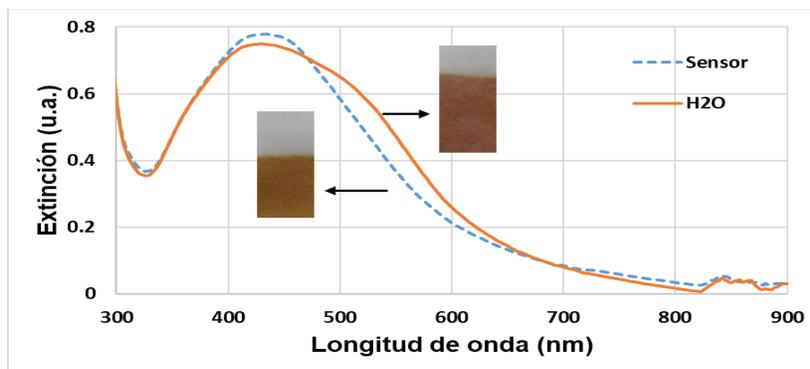


Figura 2. Espectros de extinción del sensor fabricado en papel antes y después de su inmersión en agua desionizada.

En la Figura 3 se muestra la determinación colorimétrica visual de aniones yoduro en agua para diferentes concentraciones desde 0 hasta 1000 mM. Como se puede observar de esta figura, aparecen colores diferentes en el papel plasmónico dependientes de la concentración de aniones yoduro. Los colores observados fueron rojo marrón con diferentes tonalidades para concentraciones < 70 mM y gris oscuro con diferentes tonalidades para concentraciones > 30 mM de aniones yoduro. Es clara la distinción colorimétrica para la identificación de aniones yoduro en relación al blanco (agua). A pesar de que estas concentraciones están muy por arriba de las informadas para la determinación de algunas enfermedades o para evaluación de la calidad del agua potable, hay sistemas acuosos que requieren la determinación de altas concentraciones de aniones yoduro (Liu et al. 2015).

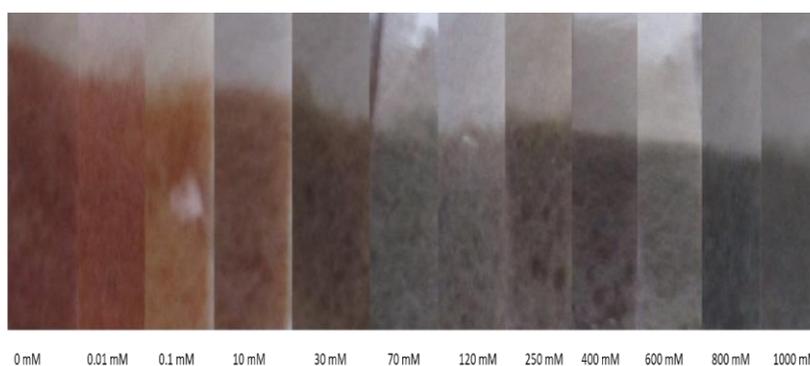


Figura 3. Colores observados en el sensor plasmónico después de su inmersión en soluciones acuosas de yoduro a diferentes concentraciones.

En la Figura 4 se muestran los espectros de extinción del sensor a diferentes concentraciones de aniones yoduro en el intervalo de 0 a 250 mM. El hombro de extinción a 520 nm originalmente observado para agua desionizada, se desplaza hacia el rojo (hasta 600 nm) y se intensifica gradualmente en función de la concentración de aniones yoduro. Este efecto se ha asociado a la agregación de nanopartículas metálicas inducido por la interacción química entre los aniones I<sup>-</sup> y la superficie de las nanoestructuras de plata (Bothra et al. 2015 y Jiang y Yu, 2008).

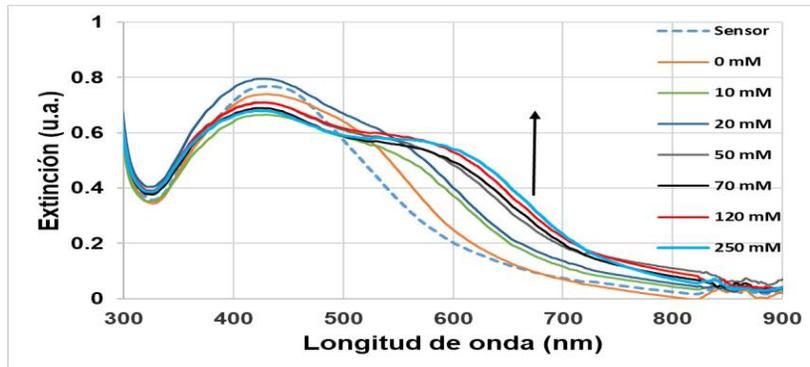


Figura 4. Espectros de extinción del sensor para diferentes concentraciones de aniones I<sup>-</sup> en agua. La flecha indica la tendencia del incremento de la intensidad de extinción a 600 nm en función de la concentración de aniones I<sup>-</sup>.

En la figura 5, se muestran imágenes de microscopía electrónica de barrido del sensor plasmónico antes (a) y después (b) de la inmersión en una solución 120 mM de aniones yoduro. Como puede apreciarse de la figura, predominan diferentes estados agregados de nanopartículas de plata de diferente tamaño y forma, donde el fenómeno de acoplamiento plasmónico determina las características colorimétricas. Adicionalmente, se ha informado que las nanopartículas de plata se oxidan y probablemente formen una cáscara de AgI en su superficie durante la determinación colorimétrica de aniones yoduro (Jiang y Yu, 2008). Este fenómeno explica la razón de la disminución en el tamaño efectivo de la partícula después de la inmersión del sensor en soluciones de yoduro, el cual cambió de 200 nm a 90 nm en promedio.

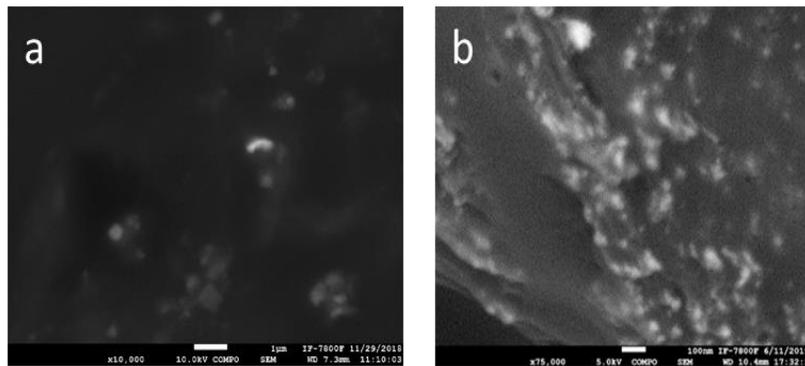


Figura 5. Imágenes de microscopía electrónica de barrido del sensor antes (a) y después del ensayo colorimétrico de aniones yoduro en agua a 120 mM (b).

A pesar de que hay buena sensibilidad colorimétrica detectada a simple vista para un amplio intervalo de concentración desde 0.1 a 1000 mM (Figura 3), el sensor plasmónico solo tiene una respuesta lineal entre la extinción a 600 nm y el logaritmo de la concentración de aniones yoduro en el intervalo de 10 a 250 mM. La dependencia de la intensidad de extinción a 600 nm vs la concentración de aniones I<sup>-</sup> y su logaritmo se muestran en las Figuras 6a y 6b, respectivamente. El límite de detección óptico (LDO) se correlaciona con la pendiente  $m$  obtenida del ajuste lineal ( $n=3$ ) y la desviación estándar promedio ( $s < 4\%$ ) del blanco, a través de la expresión  $LDO = 3s/m$ . El valor estimado del LDO fue de 0.8 mM.

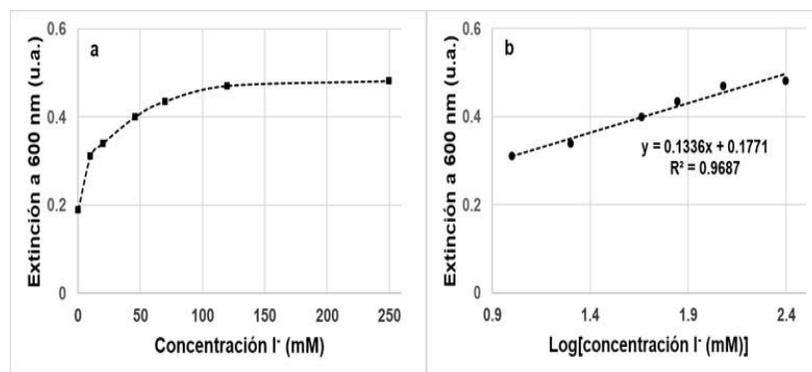


Figura 6. Incremento de la extinción óptica a 600 nm en función de la concentración de aniones I<sup>-</sup> (a). Ajuste lineal de la gráfica de calibración (b).

La Figura 7 muestra los colores observados después de la inmersión del sensor en agua (blanco), una solución de aniones I<sup>-</sup> a 120 mM y la misma solución en presencia de otros iones tales como: F<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Fe<sup>+3</sup>, Zn<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y de las especies moleculares de urea y anión lactato. Como puede apreciarse de esta figura hay una clara similitud colorimétrica entre todos los ensayos efectuados con aniones I<sup>-</sup> sin y con otras especies químicas, lo que indica una alta selectividad del sensor para la detección de aniones yoduro en agua.

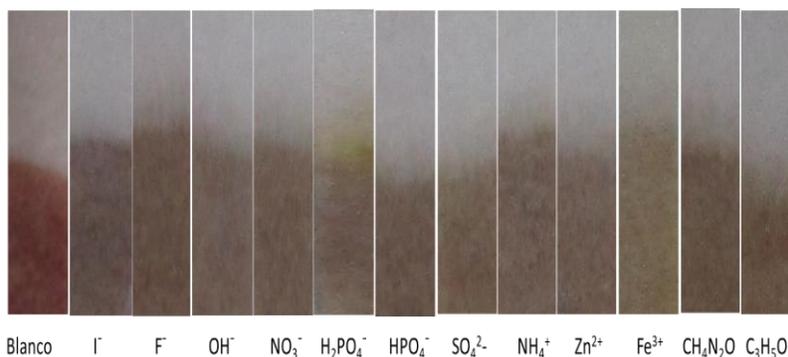


Figura 7. Pruebas colorimétricas de la selectividad de aniones yoduro ante la presencia de otras especies químicas. Se ha registrado el color observado en el sensor para el blanco (agua) y aniones I<sup>-</sup> a 120 mM sin mezclar con los otros iones para fines de comparación.

### Conclusiones

Se fabricó un sensor colorimétrico plasmónico de muy rápida respuesta a partir de un nanocompuesto plata-epoxi impreso en papel filtro de celulosa para la determinación de aniones yoduro disueltos en agua. Una relación lineal entre la intensidad de extinción a 600 nm y el logaritmo de la concentración de aniones yoduro en el intervalo de 0 a 250 mM permitió estimar un LDO de 0.8 mM. Este sensor selectivo de tipo plasmónico es una nueva plataforma colorimétrica muy práctica para la determinación de aniones yoduro a alta concentración en ecosistemas acuáticos. También se sugiere la importancia del proceso de agregación de nanopartículas de plata anisotrópicas en la generación de colores muy intensos observados en los ensayos.

#### Limitaciones

Es claro que el sensor no es capaz de determinar aniones yoduro en niveles de concentración del orden de ppm o menos, por lo que se requiere una investigación más detallada para conocer el mecanismo de detección y mejorar la sensibilidad colorimétrica.

#### Recomendaciones

Se recomienda disminuir el tamaño y controlar la forma de la nanopartícula metálica de plata con la finalidad de observar si el incremento de la sensibilidad colorimétrica se relaciona con el incremento del área superficial y la importancia de facetas en la morfología de las nanopartículas de plata.

#### Agradecimientos

Víctor Rentería Tapia agradece al Conacyt la beca otorgada para realizar una estancia sabática en la UAM-I.

## Referencias

- Bothra, S., R. Kumar, R. K. Pati, A. Kuwar, H. J. Choi y S. K. Sahoo. "Virgin silver nanoparticles as colorimetric nanoprobe for simultaneous detection of iodide and bromide ion in aqueous medium," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 149, 2015.
- Bothra, S., R. Kumar y S. K Sahoo. "Pyridoxal conjugated gold nanoparticles for distinct colorimetric detection of chromium (III) and iodide ions in biological and environmental fluids," *New Journal of Chemistry*, Vol. 41, No.15, 2017.
- Cheng, W., S. Dong y E. Wang. "Iodine-induced gold-nanoparticle fusion/fragmentation/aggregation and iodine-linked nanostructured assemblies on a glass substrate," *Angewandte Chemie*, Vol. 115, No. 4, 2003.
- Franco, A., C. Velásquez-Ordoñez, M. L. Ojeda-Martínez, M. Ojeda-Martínez, E. Barrera-Calva y V. Rentería-Tapia. "Paper-based colorimetric sensor for detection of chloride anions in water using an epoxy-silver nanocomposite," *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 24, No. 3, 2022.
- Jiang X. C. y A. B. Yu. "Silver nanoplates: a highly sensitive material toward inorganic anions," *Langmuir*, Vol. 24, No. 8, 2008.
- Liana, D. D., B. Raguse, J. J. Gooding y E. Chow. "Recent advances in paper-based sensors," *Sensors*, Vol. 12, No. 9, 2012.
- Liu, S., N. Wang, Y. Zhang, Y. Li, Z. Han y P. Na. "Efficient removal of radioactive iodide ions from water by three-dimensional Ag<sub>2</sub>O–Ag/TiO<sub>2</sub> composites under visible light irradiation," *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 284, 2015.
- Miyaji H. y J. L. Sessler. "Off-the-Shelf Colorimetric Anion Sensors," *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 40, No. 1, 2001.
- Wei, S. C., P. H. Hsu, Y. F. Lee, Y. W. Lin y C. C. Huang. "Selective detection of iodide and cyanide anions using gold-nanoparticle-based fluorescent probes," *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol. 4, No. 5, 2012.
- Zhang, J., X. Xu, C. Yang, F. Yang y X. Yang. "Colorimetric iodide recognition and sensing by citrate-stabilized core/shell Cu@ Au nanoparticles," *Analytical chemistry*, Vol. 83, No. 10, 2011.