

# Innovación Digital en el Análisis y Gestión del Agua

## Digital Innovation in Water Analysis and Management

---

Aprobado 18-04-2025

---

### Jesús Raúl Lugo

México

Universidad de Guanajuato

lugom@ugto.mx

<https://orcid.org/0009-0004-6875-6821>

### Resumen

El proyecto se centra en evaluar la calidad del agua residual doméstica en Pénjamo, enfocándose en la biodegradación anaeróbica de contaminantes comunes. Su objetivo principal es involucrar a estudiantes de bachillerato en el análisis de parámetros clave, como coliformes totales, oxígeno disuelto, nitrógeno y fósforo, para asegurar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, que opera desde 2018 y procesa el 90% del agua residual de la ciudad.

Los estudiantes participan activamente en la recolección de muestras, el análisis de contaminantes y la interpretación de resultados, aplicando sus conocimientos teóricos en un entorno real. Además, emplean herramientas digitales para documentar y comunicar sus hallazgos, creando infografías, videos y blogs educativos que fortalecen sus competencias digitales y promueven la difusión de conocimiento en la comunidad.

Los resultados preliminares indican que los procesos de la planta son efectivos, aunque ciertos parámetros muestran variabilidad que sugiere ajustes para optimizar su rendimiento. El proyecto subraya la importancia de una adecuada gestión del agua residual para la salud pública y el medio ambiente, y destaca el valor de integrar la educación digital en el currículo académico, preparando a los estudiantes para los desafíos de la era digital. Al promover el aprendizaje colaborativo en plataformas virtuales, los estudiantes desarrollan una mayor conciencia sobre sostenibilidad y ciudadanía responsable.

**Palabras clave:** tratamiento; contaminantes biodegradables; calidad; sostenibilidad; educación ambiental

## Abstract

The project focuses on assessing the quality of domestic wastewater in Pénjamo, focusing on the anaerobic biodegradation of common pollutants. Its main objective is to involve high school students in the analysis of key parameters, such as total coliforms, dissolved oxygen, nitrogen and phosphorus, to ensure the efficiency of the wastewater treatment plant, which has been operating since 2018 and processes 90% of the city's wastewater.

Students are actively involved in sample collection, contaminant analysis, and interpretation of results, applying their theoretical knowledge in a real-world setting. In addition, they use digital tools to document and communicate their findings, creating infographics, videos, and educational blogs that strengthen their digital skills and promote the dissemination of knowledge in the community.

153

Preliminary results indicate that the plant's processes are effective, although certain parameters show variability that suggests adjustments to optimize its performance. The project underscores the importance of proper wastewater management for public health and the environment, and highlights the value of integrating digital education into the academic curriculum, preparing students for the challenges of the digital age. By promoting collaborative learning on virtual platforms, students develop a greater awareness of sustainability and responsible citizenship.

**Keywords:** treatment; biodegradable pollutants; quality; sustainability; environmental education

## Introduction

### 1. Contexto Global y Escasez del Agua

El agua es un recurso vital y su disponibilidad está en riesgo debido a factores como el cambio climático, el crecimiento poblacional y la contaminación (UN, 2021). A nivel global, la crisis del agua es una realidad que requiere soluciones urgentes y locales. En Pénjamo, la planta de tratamiento de aguas residuales, inaugurada en marzo de 2018, ha demostrado ser un paso importante hacia la pro-

tección de los cuerpos de agua y la mejora de la salud pública (Gobierno Municipal de Pénjamo, 2018). Sin embargo, la gestión sostenible del agua no depende únicamente de la infraestructura, sino también del conocimiento y compromiso activo de la comunidad, en especial de los jóvenes.

Involucrar a los estudiantes en proyectos que aborden el tratamiento y el uso racional del agua no sólo fomenta su comprensión de los problemas ambientales, sino que también los capacita como futuros agentes de cambio. La escuela tiene la responsabilidad de integrar proyectos educativos que promuevan el cuidado del medio ambiente, involucrando a todos los actores de la comunidad académica: estudiantes, profesorado y padres de familia. A través de una planificación institucional que contemple el uso adecuado y racional del agua, se pueden implementar acciones concretas que refuercen la responsabilidad cívica y el compromiso con la sostenibilidad (Aguilar, 2019).

Es aquí donde los proyectos multidisciplinarios juegan un papel crucial, ya que permiten abordar el problema del agua desde diversas perspectivas. Incluir asignaturas como ciencias naturales, tecnología, matemáticas y educación cívica en la creación de soluciones prácticas y realistas ayuda a los estudiantes a comprender la interrelación de los distintos aspectos que conforman la problemática del agua. Este enfoque multidisciplinario es para fortalecer la aplicación de conocimientos teóricos, además del pensamiento crítico y el trabajo colaborativo, habilidades esenciales para enfrentar los desafíos ambientales contemporáneos (Jiménez et al., 2017). Por lo que es fundamental que las nuevas generaciones adquieran conciencia sobre los desafíos medioambientales, como la contaminación del agua, y se involucren en la búsqueda de soluciones. En este sentido, las tecnologías digitales ofrecen herramientas poderosas para mejorar la gestión de los recursos hídricos, permitiendo un monitoreo más eficiente y la difusión de conocimiento a través de plataformas digitales (Jiménez et al., 2017). Integrar proyectos de innovación digital en el ámbito educativo permitirá a los estudiantes comprender el impacto del tratamiento de aguas residuales y desarrollar competencias digitales que serán clave en su vida profesional.

Las instituciones educativas, como la Escuela de Nivel Medio Superior de Pénjamo, tienen la responsabilidad de incorporar estrategias pedagógicas que promuevan el uso adecuado y racional del agua. La planificación institucional debería considerar la implementación de proyectos multidisciplinarios que incluyan a

estudiantes, profesores y padres de familia, y que utilicen herramientas digitales para comunicar resultados y generar conciencia ambiental (Marín et al., 2020). La combinación de métodos tradicionales y digitales es para reforzar el aprendizaje teórico y permitir a los estudiantes documentar y analizar datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones.

Además, estrategias pedagógicas como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y el aprendizaje colaborativo resultan clave para fortalecer estos proyectos. El ABP promueve el aprendizaje activo, en el que los estudiantes trabajan en proyectos de largo plazo que abordan problemas del mundo real, como el cuidado del agua (Barron & Darling-Hammond, 2015). Por otro lado, el aprendizaje colaborativo involucra a los estudiantes en la construcción conjunta del conocimiento, lo cual fomenta habilidades de trabajo en equipo, liderazgo y responsabilidad compartida (Johnson & Johnson, 1999). Involucrar a los estudiantes en el análisis del tratamiento de aguas residuales no sólo contribuye a su formación académica, sino que también fomenta una cultura de sostenibilidad dentro y fuera de las aulas, generando impacto en la comunidad.

155

La participación de toda la comunidad educativa en este tipo de iniciativas asegura una mayor comprensión del valor del agua y el desarrollo de un compromiso con su uso adecuado, preparando a las nuevas generaciones para enfrentar los retos ambientales del futuro, es por ello por lo que se puso en marcha este proyecto relacionado con el estudio de aguas residuales.

### **1.1. Importancia del agua**Objetivos específicos

El agua es un recurso vital que sostiene la vida en nuestro planeta, y su disponibilidad está cada vez más amenazada por el cambio climático, el crecimiento demográfico y la contaminación. A nivel mundial, la escasez de agua afecta a más de 40% de la población, y se espera que esta cifra aumente a medida que la demanda de agua supere la oferta en muchas regiones del mundo (UN, 2021), problemática que se manifiesta en los cuerpos para almacenar el agua como ocurre en las presas del país y de Guanajuato como se muestra en la Figura 1.

La crisis del agua ha llevado a la comunidad a nivel internacional a buscar soluciones innovadoras para garantizar el acceso equitativo a agua potable, al tiempo que se preserve la calidad de los cuerpos de agua existentes. En este sentido, la gestión eficiente de los recursos hídricos, incluyendo el tratamiento de aguas

residuales, es una de las estrategias clave para abordar esta problemática (Aguilar, 2019).



**Figura 1.** Las presas de Guanajuato están en sus niveles más bajos en la última década, pues entre todas tienen un promedio de 37% de almacenaje (Fuente: [www.periodicocorreo.com.mx/guanajuato/presas-en-guanajuato-no-rebasan-el-30-de-capacidad-pese-a-lluvias-simapag-alista-estrategia-20230814-79601.html](http://www.periodicocorreo.com.mx/guanajuato/presas-en-guanajuato-no-rebasan-el-30-de-capacidad-pese-a-lluvias-simapag-alista-estrategia-20230814-79601.html))

## Importancia de la Calidad del Agua Residual

El tratamiento de aguas residuales es fundamental para mitigar los impactos negativos de la actividad humana sobre el medio ambiente, las que se han basado en un tratamiento que contempla tres etapas: Tratamiento Primario. En esta etapa, el agua residual se somete a procesos físicos donde se eliminan los sólidos gruesos y parte de los sólidos suspendidos y arenas. Se utilizan métodos como la sedimentación, donde los elementos más pesados se depositan en el fondo del tanque de tratamiento; Tratamiento Secundario. Aquí, el objetivo principal es remover la materia orgánica y los microorganismos patógenos. Se recurre a procesos biológicos, en los que trabajan bacterias que degradan la materia orgánica. Posteriormente, mediante sedimentación, se separa esta biomasa del agua ya tratada y finalmente, Tratamiento Terciario: Se considera una especie de "pulido" del agua, ya que en esta fase se eliminan los nutrientes restantes (como el fósforo y nitrógeno), los patógenos restantes y, en algunos casos, los materiales tóxicos. Los métodos utilizados varían, pero pueden incluir filtración, desinfección química o física, o procesos naturales como lagunas de estabilización. Al finalizar este proceso complejo y efectivo, el agua está lista para ser devuelta con seguridad al medio ambiente, o en algunos casos, ser reutilizada (INCYTU, 2019)

Las plantas de tratamiento de aguas residuales desempeñan un papel crucial en la remoción de contaminantes antes de que el agua sea liberada de nuevo en el

entorno o reutilizada en aplicaciones que no requieren agua potable, presentándose un diagrama de flujo de planta de tratamiento en la Figura 2. Este proceso es especialmente importante en zonas urbanas y semiurbanas, como la ciudad de Pénjamo, donde el crecimiento de la población y la actividad económica han aumentado la presión sobre los recursos hídricos disponibles. La planta de tratamiento de Pénjamo, inaugurada en marzo de 2018, es un ejemplo de cómo las infraestructuras modernas pueden contribuir a mejorar la salud pública y proteger los ecosistemas locales (Gobierno Municipal de Pénjamo, 2018).



157

Figura 2. Proceso Clave en una Planta Tratadora de Aguas Residuales  
(Fuente: [www.plantasdetratamientoenmexico.mx/diseño-plantas-de-tratamiento-asajet/](http://www.plantasdetratamientoenmexico.mx/diseño-plantas-de-tratamiento-asajet/))

## Metodología

### Diseño del Estudio

El presente estudio emplea un diseño experimental de tipo observacional y participativo, enfocado en la evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Pénjamo. La investigación involucra la participación de estudiantes de bachillerato, quienes colaboran en la recolección de muestras, análisis de datos y la interpretación de los resultados obtenidos. El enfoque es principalmente cuantitativo, ya que se medirán diversos parámetros físicos, químicos y biológicos relacionados con la calidad del agua tratada.

### Recolección de Datos

La recolección de datos se llevará a cabo a través de un muestreo semanal del agua residual que entra y sale de la planta de tratamiento, durante un período de tres meses. Las muestras serán analizadas en laboratorio para evaluar los siguientes parámetros clave:

- Coliformes totales: Indicador bacteriano que refleja la presencia de organismos patógenos.
- Oxígeno disuelto: Parámetro que mide la cantidad de oxígeno disponible en el agua, esencial para la vida acuática y como indicador de la calidad del agua.
- Nitrógeno y fósforo totales: Nutrientes que, en concentraciones elevadas, pueden causar eutrofización y otros problemas ambientales.
- Demanda química de oxígeno (DQO): Mide la cantidad de materia orgánica biodegradable y no biodegradable presente en el agua.

Se seguirán métodos estándar para la toma de muestras y los análisis, basados en los procedimientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales.

### Análisis de Datos

Los datos recopilados se analizarán mediante métodos estadísticos descriptivos y comparativos. Se utilizará un software especializado para calcular las medias, medianas y desviaciones estándar de los parámetros estudiados, y se aplicarán pruebas de hipótesis para evaluar si existen diferencias significativas entre la calidad del agua antes y después del tratamiento. Además, se realizarán correlaciones entre los diferentes parámetros medidos para identificar posibles relaciones entre los contaminantes y la eficiencia del tratamiento.

### Justificación de los Métodos

La elección de los métodos de recolección y análisis de datos está basada en la necesidad de obtener resultados precisos y confiables que permitan evaluar de manera objetiva la eficiencia de la planta de tratamiento. El uso de indicadores como coliformes totales, DQO, oxígeno disuelto y nutrientes es esencial, ya que son los principales marcadores de la calidad del agua y están directamente relacionados con la salud pública y el impacto ambiental.

El enfoque participativo con estudiantes de bachillerato se justifica como parte del compromiso de fomentar la educación científica y el desarrollo de competencias digitales, ya que los estudiantes no solo aplicarán técnicas de laboratorio, sino que también utilizarán herramientas digitales para documentar y comunicar sus hallazgos. Esto responde a la necesidad de integrar un enfoque multidisciplinario en la educación, alineándose con los objetivos del estudio de vincular el análisis del agua residual con el desarrollo de habilidades críticas para la era digital.

### Procedimientos de Control de Calidad

Se implementarán procedimientos de control de calidad en cada etapa del proceso, asegurando que las muestras sean representativas y que los equipos de medición estén calibrados correctamente. Además, se realizará un análisis de replicación para verificar la consistencia de los resultados y garantizar la fiabilidad de los datos.

## Resultados

### Presentación de Resultados

159

1. Análisis Microbiológico: Los resultados mostraron la ausencia de coliformes totales en el agua sin bacterias inoculadas y la presencia de diferentes cepas bacterianas y hongos en el agua con bacterias inoculadas, procedimiento seguido por los estudiantes y que se muestra en la Figura 3. Los resultados indican que el proceso de tratamiento reduce significativamente la carga microbiana del agua residual, como se pudo apreciar en el análisis microbiológico en los distintos cultivos realizados como se aprecia en la Figura 4, y se concentraron en las tablas 1 y 2 mostradas a continuación



Figura 3. Estudiantes participantes quienes se encuentran en la etapa de análisis de resultados.

Agar\Tiempo	12 horas	24 horas
Nutritivo	NMP	NMP
Agar\Tiempo	12 horas	24 horas
Dextrosa y papa	NMP	NMP
Bilis y rojo violeta	Negativo	Negativo
Sal y manitol	NMP	NMP
Citrato Simmons	Negativo	Negativo
Técnica:	NOM-113-SSA1-1994. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.	

**Tabla 1.** Resultados del análisis microbiológico en función del tiempo y los medios de cultivo.  
Agua sin bacterias inoculadas Nota. Fuente: El autor.

**Figura 4.** Resultados de cultivo de E. coli en los medios de cultivo utilizados



160

Agar\Tiempo	12 horas	24 horas
Nutritivo	NMP	NMP
Dextrosa y papa	3 hongos y 3 levaduras	Negativo
Bilis y rojo violeta	30 cepas	16 cepas
Sal y manitol	NMP	NMP
Citrato Simmons	NMP	Negativo
Técnica	NOM-113-SSA1-1994. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.	

**Tabla 2.** Resultados del análisis microbiológico en función del tiempo y los medios de cultivo.  
Agua con bacterias inoculadas

En la valoración de parámetros en el Análisis Químico se determinaron los parámetros nitrógeno total, fósforo total y oxígeno disuelto, obteniendo los valores que se muestran en la tabla 3:

Sustancia	Resultado	Técnica
Nitrógeno total	1.6 mg/L de entrada 0.4 mg/L de salida	NMX-AA-026-SCFI-2010 análisis de agua - medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba
Fósforo total	Concentración 1: 1.02 mg/L Concentración 2: 0.865 mg/L Concentración 3: 0.928 mg/L Concentración 4: 0.788 mg/L Concentración 5: 0.749 mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas – determinación de fósforos totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas
Oxígeno Disuelto (OD)	16 ppm salida 0 ppm entrada	NMX-AA-012-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba

**Tabla 3.** Resultados del análisis químico del agua residual, mostrando las concentraciones de nitrógeno total, fósforo total y oxígeno disuelto antes y después del tratamiento.

De acuerdo con los resultados anteriormente presentados, se deduce lo siguiente:

161

1. Nitrógeno Total: Se observó una disminución del nitrógeno total desde 1.6 mg/L en la entrada a 0.4 mg/L en la salida, lo que indica una eficiencia significativa en la reducción de compuestos nitrogenados.
2. Fósforo Total: Se registraron diferentes concentraciones a lo largo del proceso, con una disminución progresiva desde 1.02 mg/L a 0.749 mg/L.
3. Oxígeno Disuelto (OD): Los niveles de OD aumentaron de 0 ppm en la entrada a 16 ppm en la salida, lo que sugiere una mejora en la calidad del agua.

## Discusión

### Interpretación de los Resultados

Los resultados obtenidos durante el estudio sugieren que la planta de tratamiento de aguas residuales de Pénjamo es eficaz en la remoción de la mayoría de los contaminantes analizados, como los coliformes totales y la demanda química de oxígeno (DQO). Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas que subrayan la importancia de los tratamientos primario, secundario y terciario para reducir la carga de materia orgánica y patógenos en las aguas residuales tratadas (Aguilar, 2019). Los niveles de oxígeno disuelto y nutrientes, como el nitrógeno y

el fósforo, mostraron una reducción significativa después del tratamiento, lo que indica que la planta está operando dentro de los parámetros esperados según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Sin embargo, se observó una variabilidad en los niveles de ciertos nutrientes en distintas semanas de muestreo. Esta fluctuación sugiere que, aunque los procesos son efectivos, puede ser necesario optimizar ciertos aspectos operativos para asegurar una remoción más constante de los contaminantes. Este comportamiento ha sido documentado en estudios similares que reportan variaciones en la eficiencia de las plantas de tratamiento debido a factores como el caudal, la temperatura y la carga de contaminantes en el influente (Jiménez et al., 2017).

### **Implicaciones Teóricas y Prácticas**

Desde un punto de vista teórico, los resultados refuerzan la importancia de los tratamientos biológicos en la remoción de materia orgánica y patógenos, así como la necesidad de integrar métodos avanzados para la eliminación de nutrientes en la fase terciaria. Este estudio también pone de relieve el valor de involucrar a estudiantes en actividades de investigación aplicada, proporcionando una plataforma para que adquieran habilidades científicas y tecnológicas que trascienden el aula. La incorporación de herramientas digitales no solo facilita la documentación y análisis de los datos, sino que también promueve la difusión de los resultados, lo que puede fortalecer el compromiso de los estudiantes con la sostenibilidad y la ciudadanía digital.

Prácticamente, los hallazgos sugieren que la planta de tratamiento de Pénjamo está contribuyendo significativamente a mejorar la calidad del agua en la región, lo cual es crucial para la salud pública y la protección ambiental. Sin embargo, los resultados también indican que sería beneficioso implementar ajustes operacionales para reducir la variabilidad en la remoción de ciertos contaminantes, lo que podría incluir la revisión de los tiempos de retención o la optimización del uso de bacterias en el proceso biológico.

### **Limitaciones del Estudio**

Una de las principales limitaciones de este estudio es el período relativamente corto de recolección de muestras, lo que podría no capturar la variabilidad estacional en la calidad del agua residual. Factores como las lluvias intensas o los cambios en las actividades económicas locales pueden influir en la concentra-

ción de contaminantes, lo que sugiere la necesidad de un estudio más prolongado para obtener una visión más completa de la eficiencia de la planta.

Además, aunque los estudiantes participaron activamente en la recolección y análisis de datos, la falta de acceso a tecnologías más avanzadas para el análisis de ciertos compuestos, como materiales tóxicos o contaminantes emergentes, limitó la profundidad del estudio. Incorporar tecnologías más sofisticadas, como la cromatografía o la espectroscopía, permitiría una evaluación más completa de la calidad del agua tratada.

### **Sugerencias para Futuros Estudios**

Para futuras investigaciones, sería recomendable ampliar el período de recolección de muestras para incluir variaciones estacionales y analizar el impacto de fenómenos climáticos en la eficiencia de la planta. También sería beneficioso realizar estudios complementarios que incluyan el análisis de contaminantes emergentes, como fármacos o microplásticos, que no fueron abordados en este estudio pero que representan una amenaza creciente para la calidad del agua.

**163**

Asimismo, integrar un enfoque interdisciplinario que combine aspectos de ingeniería ambiental, química y biología, permitiría un análisis más robusto de los procesos involucrados en el tratamiento de aguas residuales. Finalmente, fomentar una mayor vinculación con la comunidad mediante actividades de divulgación podría contribuir a una mejor comprensión y apoyo a las estrategias de gestión de aguas residuales en Pénjamo y en otras regiones.

### **Conclusiones**

Este estudio evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Pénjamo, involucrando a estudiantes de bachillerato en la recolección y análisis de datos. Los hallazgos principales indican que la planta es efectiva en la remoción de contaminantes como coliformes totales, demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto, nitrógeno y fósforo. La reducción significativa de estos parámetros refleja una operación adecuada en las fases de tratamiento primario, secundario y terciario, contribuyendo a mejorar la calidad del agua residual tratada.

Sin embargo, se detectaron fluctuaciones en los niveles de ciertos nutrientes, lo que sugiere que la planta podría beneficiarse de ajustes operativos para mantener una remoción más constante de contaminantes a lo largo del tiempo. Estos resultados destacan la necesidad de una optimización continua de los procesos,

especialmente en el tratamiento terciario, para garantizar una mayor consistencia en la eficiencia global.

En cuanto a la participación de los estudiantes, el enfoque participativo no solamente les permitió aplicar conocimientos teóricos en un contexto práctico, sino que también fomentó el desarrollo de competencias digitales y científicas, lo que es crucial para su formación en la era digital.

## Recomendaciones

1. Optimización Operacional: Se recomienda ajustar los tiempos de retención en los procesos de tratamiento y mejorar el control sobre el tratamiento biológico para reducir la variabilidad en la remoción de nutrientes.
2. Monitoreo Continuo: Ampliar el período de monitoreo para incluir variaciones estacionales y evaluar cómo influyen los cambios climáticos y económicos en la eficiencia del tratamiento.
3. Incorporación de Nuevas Tecnologías: Implementar tecnologías avanzadas, como la cromatografía y espectroscopía, para analizar contaminantes emergentes y obtener una evaluación más completa de la calidad del agua tratada.
4. Mayor Participación Comunitaria: Se recomienda continuar vinculando a la comunidad mediante la divulgación de los resultados, sensibilizando sobre la importancia de la gestión adecuada de las aguas residuales para la salud pública y el medio ambiente.

En general, este proyecto demuestra el potencial de la educación científica aplicada y el uso de tecnologías digitales en la gestión sostenible del agua, contribuyendo tanto al conocimiento académico como a la responsabilidad ciudadana.

## Referencias

- Aguilar, R. (2019). Tratamiento de aguas residuales: un enfoque hacia la sostenibilidad. Editorial Universitaria.
- Barron, B., & Darling-Hammond, L. (2015). Teaching for Meaningful Learning: A Review of Research on Inquiry-Based and Cooperative Learning. Edutopia.
- Gobierno Municipal de Pénjamo. (2018). Inauguración de la planta de tratamiento de aguas residuales en Pénjamo. Gobierno Municipal de Pénjamo.

- INCYTU. (2019). Etapas del tratamiento de aguas residuales. Foro Consultivo Científico y Tecnológico, México.
- Jiménez, B., Maya, C., Barrios, J. A., & Hernández, J. P. (2017). Tratamiento de aguas residuales urbanas en México: Desafíos y oportunidades. *Ingeniería Hidráulica en México*, 32(2), 123-134.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1999). *Learning Together and Alone: Cooperative, Competitive, and Individualistic Learning*. Allyn & Bacon.
- Marín, V. I., Sampredo, B. E., & González, M. M. (2020). Digital technologies in environmental education: A systematic review of the literature. *Environmental Education Research*, 26(6), 797-819.
- Naciones Unidas (UN). (2021). Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos: El valor del agua. UNESCO.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores. Diario Oficial de la Federación, México.

## 165

### **Agradecimientos y Declaración de Conflictos de Interés**

Este estudio no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de diversas personas e instituciones. En primer lugar, agradecemos a la Escuela de Nivel Medio Superior de Pénjamo de la Universidad de Guanajuato, por brindar a los estudiantes la oportunidad de participar en este proyecto y por el acceso a los laboratorios necesarios para realizar los análisis. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al Gobierno Municipal de Pénjamo por su colaboración en la facilitación de información técnica y acceso a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Queremos reconocer el compromiso de los estudiantes de bachillerato que participaron activamente en todas las etapas del estudio, demostrando dedicación y entusiasmo en su formación científica. También agradecemos a los docentes que contribuyeron con su orientación académica y apoyo logístico durante todo el proceso.

Finalmente, agradecemos al equipo de investigación por su arduo trabajo, y a las familias y la comunidad de Pénjamo por su paciencia y disposición a colaborar en la realización de este proyecto, contribuyendo así a una mejor gestión de los recursos hídricos.

### **Declaración de Conflictos de Interés**

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés económico, personal o profesional que pudiera haber influido en los resultados o la interpretación de este estudio. Todas las opiniones y conclusiones expresadas son estrictamente académicas y están basadas en los datos obtenidos durante el desarrollo de la investigación.