



# Proyecto de reingeniería de la planta de tratamiento de aguas residuales Lomas de la Maestranza de la ciudad de Morelia

Reengineering project of the Lomas de la Maestranza wastewater treatment plant in the city of Morelia

Hannia Patiño López <sup>1</sup> , Isaías Negra Jiménez <sup>2</sup> , Julio Cesar Orantes Ávalos <sup>3</sup>  

<sup>1</sup> Maestría en Geociencias y Planificación del Territorio, INICIT, UMSNH.

<sup>2</sup> Licenciatura en Biotecnología, UTM.

<sup>3</sup> Facultad de Biología. UMSNH.

## Resumen

En este trabajo se evalúan algunas alternativas de reingeniería para una planta de tratamiento de aguas residuales de un complejo habitacional de la Ciudad de Morelia, con el objetivo de optimizar el sistema de tratamiento y cumplir con la norma NOM-001-SEMARNAT-2021. Se propone incluir pretratamiento y tratamiento primario, así como eliminar el tratamiento secundario inicial, basado en un proceso fisicoquímico y remplazarlo por un proceso biológico, como una opción técnica, económica y ambientalmente viable. El planteamiento se basa en la adaptación y aprovechamiento de la infraestructura existente, garantizando la sostenibilidad. Además de reducir el impacto ambiental, se mejora en la calidad del agua tratada. Estas acciones contribuirían al bienestar social, al promover un entorno más saludable y fortalecen una mejor operación de plantas de tratamiento, a pequeña escala, en el ámbito urbano de la ciudad de Morelia, Michoacán.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas residuales, Reingeniería, Biorreactores con membranas (BRM), Biorreactores de Lecho Móvil (MBBR), Procesos biológicos de tratamiento, Diseño de Plantas de Tratamiento.

## Introducción

La PTAR Lomas de la Maestranza se construyó en 2013, con una capacidad de 18 L/s (OOAPAS, 2017), sin embargo, recibe un gasto medio de 8 L/s de agua residual. Se ubica en el poniente de la ciudad de Morelia. Atiende a una población de 2,961 habitantes (INEGI, 2020), de la colonia Lomas de la Maestranza (**Figura 1**).

El tren de tratamiento de la PTAR Lomas de la Maestranza consiste en un proceso fisicoquímico de coagulación-floculación, con un sedimentador secundario, purga de lodos y un proceso de desinfección con hipoclorito de sodio. Dicho tratamiento resulta ineficiente, dado que, no

## Abstract

This paper evaluates re-engineering alternatives for a wastewater treatment plant in a residential complex, in Morelia, Michoacan, to optimize the treatment process and to ensure compliance with the NOM-001-SEMARNAT-2021 standard. It is proposed to include pretreatment and primary treatment, as well as eliminating the original secondary treatment, based on a physicochemical process, and to replace it with a secondary biological process, as a technically, economically, and environmentally viable option. The approach is based on the adaptation and utilization of existing infrastructure and ensuring the sustainability. In addition to improving the quality of wastewater treated, the environmental impact is reduced. These actions would contribute to social well-being by promoting a healthier environment and strengthening the better operation of small-scale treatment plants in urban settings.

**Keywords:** Wastewater treatment, Reengineering, Membrane bioreactor (MBR), Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), Biological treatment processes, Design of Treatment Plants.

## Historial

Manuscrito recibido: 31 de octubre de 2025

Manuscrito aceptado: 19 de abril de 2026

Manuscrito publicado: agosto de 2026

## ✉ Autor para correspondencia

Julio Cesar Orantes Ávalos

[julio.orantes@umich.mx](mailto:julio.orantes@umich.mx)

## Como citar

Patiño López H, Negra Jiménez I, Orantes-Ávalos JC (2026). Proyecto de reingeniería de la planta de tratamiento de aguas residuales Lomas de la Maestranza de la ciudad de Morelia. *Ciencia Nicolaita* 97:157-163. doi:[10.35830/cn.vi97.948](https://doi.org/10.35830/cn.vi97.948)

hay un pretratamiento que retire la materia flotante o los sólidos sedimentables que entran al sistema; es costoso



**Figura 1.** Localización del Fracc. Lomas de la Maestranza, que trata la PTAR en estudio.

por el coagulante que se tendría que utilizar y, por esta condición, se obtiene un gran volumen de lodos de difícil deshidratación, además de que requiere de ajustes del pH.

El proceso de coagulación-floculación cambia los contaminantes de fase, sin que haya una degradación, como lo haría un proceso biológico, y añade un elemento más a los residuos generados, el coagulante. Otra parte del tren de tratamiento donde se dirige el agua del tanque de aireación hacia la filtración a presión en medio granular (**Figura 2**), no es funcional ya que, en un sistema biológico, los valores generales de sólidos suspendidos de licor mezclado que se encuentran sobrepasan la concentración en la que la filtración a presión en el medio granular funciona, ya que estos filtros se usan en procesos de filtración de agua potable, no de agua residual, que presenta concentraciones mayores de contaminantes, por lo tanto, los filtros se saturan rápidamente, se forma una biopelícula y el proceso de filtración no resulta adecuado para la planta.

Con este proyecto de reingeniería se revisa el diseño funcional y la infraestructura de la PTAR Lomas de la Maestranza, las alternativas de procesos de tratamiento y se propone un tren de tratamiento de aguas residuales modificado, de acuerdo con las necesidades y características del agua residual, aprovechando lo más posible la infraestructura ya existente, y buscando además que el efluente cumpla con la normatividad mexicana. Para el tratamiento secundario se analizarán tres procesos biológicos para evaluar la mejor alternativa de tratamiento para el agua residual.

## Materiales y métodos

En la evaluación de la PTAR Lomas de la Maestranza, se revisó el tren de tratamiento a mayor profundidad y las características fisicoquímicas y biológicas del efluente

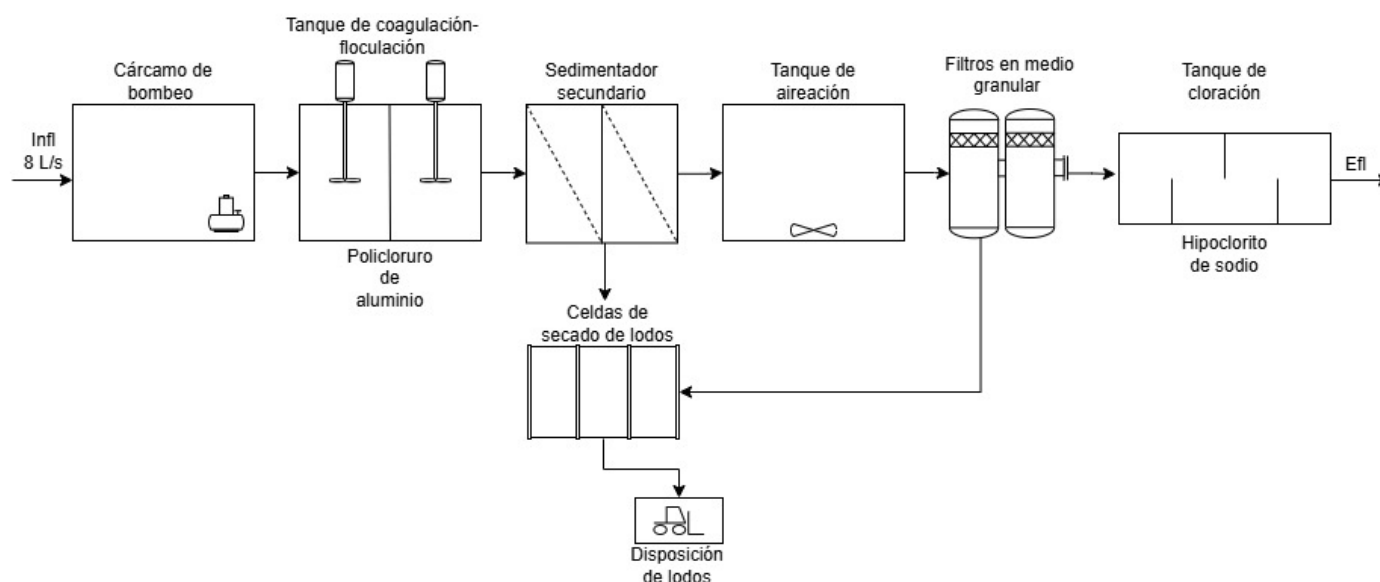


**Figura 2.** Tren de tratamiento inicial de la PTAR “Lomas de la Maestranza”.

con base en los análisis de laboratorio realizados en el OOAPAS, que cuenta con métodos acreditados ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). Se analizaron los principales parámetros de calidad del agua contenidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1997) para verificar el cumplimiento de ésta (**Tabla 1**).

Posteriormente, se hizo el levantamiento topográfico de la infraestructura existente, el aforo del caudal de agua residual y la revisión de la eficiencia de los procesos de tratamiento. Con la información recabada, se analizaron algunas propuestas de modificación al sistema de tratamiento buscando procesos funcionales, adecuados al espacio disponible, de modo de aprovechar al máximo la infraestructura de la PTAR; y las características del agua residual (influyente), buscando que con los nuevos procesos de tratamiento el efluente pudiera cumplir con la calidad de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (SEMARNAT, 2022).

La reingeniería del tren de tratamiento se realizó en base a las metodologías de diseño del libro “Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery” de Metcalf y Eddy (2013), en el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de CONAGUA (2019).

## Resultados

### Pretratamiento

Se propone dos cribados gruesos (1 y 2), que retengan y puedan retirar la materia flotante que llega con el agua residual. Como siguiente paso en el tren de tratamiento es el desarenador con trampa de grasas y aceites, que permitirá remover los sólidos sedimentables y las grasas,

para evitar que afecten a los equipos y las tuberías. Los procesos propuestos se adaptan al espacio disponible en la infraestructura de la PTAR.

### Tratamiento primario

En el tratamiento primario la mejor opción es el cribado fino, de limpieza manual que ayude a remover los sólidos que no se hayan eliminado en el pretratamiento, su otra función es evitar el pronto ensuciamiento de las membranas del BRM y evitar interferencias en el proceso biológico.

### Tratamiento secundario

La modificación del tratamiento secundario se podría considerar la más importante dentro de este proceso de reingeniería de la PTAR, ya que implica sustituir un proceso fisicoquímico por uno biológico, elimina el uso de reactivos para este proceso y además busca reducir costos de operación e incrementar la eficiencia de remoción de contaminantes. Para el proceso biológico, se diseñaron 3 alternativas de reactor: Lodos activados (LA), ya que es el proceso convencional y más ampliamente utilizado en México, el Biorreactor de Lecho Móvil (MBBR), ya que constituye una alternativa eficiente y de bajo costo, aplicable en pequeñas plantas de tratamiento (Orantes y González-Martínez, 2004) y el Biorreactor con Membranas Sumergidas (BRM), ya que son de los procesos que mejor se podrían adaptar al perfil hidráulico inicial de la PTAR y permitirían aprovechar las estructuras existentes en el tratamiento secundario inicial. Con base en el diseño adaptado a la infraestructura existente se compararon las eficiencias de remoción esperadas con cada uno de estos procesos, así como la producción de lodos residuales

**Tabla 1.** Efluente de la PTAR Lomas de la Maestranza y cumplimiento normativo.

| Parámetro             | Unidad    | Resultado | NOM-001-SEMARNAT-1996 | Cumple |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------------------|--------|
| Grasas y aceites      | mg/L      | 16.75     | 25                    | Sí     |
| Temperatura           | °C        | 23        | 40                    | Sí     |
| pH                    | -         | 6.9       | 5-10                  | Sí     |
| Materia flotante      | -         | Presente  | Ausente               | No     |
| Olor                  | -         | Presente  | Ausente               | No     |
| Sólidos sedimentables | mg/L      | 2.50      | 2                     | No     |
| SST                   | mg/L      | N/A       | 125                   | No     |
| Coliformes fecales    | NMP/100mL | ≥2400     | 1000-2000             | No     |
| DBO                   | mg/L      | -         | 150                   | -      |
| DQO                   | mg/L      | 448       | -                     | -      |
| N <sub>T</sub>        | mg/L      | 66.47     | NA                    | -      |
| P <sub>T</sub>        | mg/L      | 9.78      | NA                    | -      |
| As                    | mg/L      | <0.002    | 0.2                   | Sí     |
| Cd                    | mg/L      | <0.1      | 0.2                   | Sí     |
| Cu                    | mg/L      | <0.2      | 6.0                   | Sí     |
| Cr                    | mg/L      | <0.2      | 1.0                   | Sí     |
| Hg                    | mg/L      | <0.005    | 0.01                  | Sí     |
| Ni                    | mg/L      | <0.4      | 4.0                   | Sí     |
| Pb                    | mg/L      | <0.2      | 0.4                   | Sí     |
| Zn                    | mg/L      | 0.173     | 20                    | Sí     |

**Tabla 2.** Análisis de alternativas para el pretratamiento y tratamiento primario.

|                             | Cribado grueso   | Desarenador                                               | Cribado fino            |
|-----------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|
| Remoción de contaminantes   | Materia flotante | Arenas, grava, cenizas u otros materiales sólidos pesados | Sólidos de menor tamaño |
| Ajuste a la infraestructura | Se ajusta        | Se ajusta                                                 | Se ajusta               |
| Equipo                      | Cribas           | -                                                         | Criba                   |

(**Tabla 3**), ya que implica un costo operativo importante para una PTAR.

Para el tratamiento secundario se escogió el BRM, dado las siguientes razones:

- El BRM es un proceso biológico, que degrada la materia orgánica, principal contaminante en las aguas residuales domésticas.
- Combina el proceso biológico con módulos de membrana de ultrafiltración, cumple con una función de separación sólido-líquido del licor mezclado.
- Se evita la necesidad de hacer modificaciones al tanque de sedimentación.

- Gracias a la selectividad de las membranas, muchos patógenos pueden ser retenidos y retirados del agua residual, así que este proceso puede cumplir una desinfección de efluente.

- Produciría menos cantidad de lodos que el proceso de lodos activados y reactor de lecho móvil. Esto significa un ahorro económico, ya que el OOAPAS invierte dinero en el traslado y disposición en los lodos de sus PTAR.
- La calidad del efluente que se obtendría con este tratamiento evitaría daños en el medio ambiente y a la salud pública.

#### Tratamiento terciario

En el tratamiento proceso de desinfección, que se presenta

**Tabla 3.** Análisis de alternativas para el tratamiento secundario (Proceso biológico).

|                                                 | Lodos activados (LA)  | Biorreactor de Lecho Móvil (MBBR) | Biorreactor de Membrana (BRM)                  |
|-------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|
| Remoción de DBO (%)                             | 85 a 95               | 85 a 95                           | 95 a 98                                        |
| Remoción de DQO (%)                             | 75 a 85               | 80 a 90                           | 90 a 95                                        |
| Remoción de $N_T$ (%)                           | 10 a 20               |                                   |                                                |
| Volumen necesario de reactor (m <sup>3</sup> )* | 366.13                | 377                               | 368.47**                                       |
| Cumplimiento Normativo                          | NOM-001-SEMARNAT-2021 | NOM-001-SEMARNAT-2021             | NOM-001-SEMARNAT-2021<br>NOM-003-SEMARNAT-1997 |
| Producción de lodos (kg <sub>SSV</sub> /d)      | 220                   | 253                               | 159                                            |

\*Volumen actual de tanque 376.32 m<sup>3</sup>; \*\*No necesita un sedimentador secundario

como un tratamiento terciario, se analizó la implementación de dos alternativas: cloración, con hipoclorito de sodio y desinfección por medio de radiación de Luz UV (**Tabla 4**).

En el tratamiento terciario, se seleccionó la desinfección con lámparas de luz UV, por las siguientes cuestiones:

- Obtenemos desinfección del efluente sin la necesidad de comprar, transportar, ni almacenar productos químicos peligrosos, corrosivos o tóxicos.
- No produce compuestos químicos secundarios tóxicos que perjudiquen la vida acuática, ni la salud humana.
- Tiene un tiempo de contacto corto de 1.1 segundos.
- Es más económico, la compra de la lámpara, la energía que consume y los repuestos.
- Fácil operación y mantenimiento.

Este tren tratamiento es la mejor opción ya que no solo cumplirá con la NOM-001-SEMARNAT-2021 (SEMARNAT, 2022), sino que también con la NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 1998) con una calidad del efluente que podrá servir de reúso en servicios públicos y obtener aparte de los beneficios ambientales,

**Tabla 4.** Análisis de alternativas para el tratamiento terciario (Desinfección).

|                      | Cloración                                       | Luz UV                             |
|----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|
| Adición de reactivos | Hipoclorito de sodio                            | Ninguno                            |
| Tiempo de contacto   | 30 min                                          | 1.1 s                              |
| Eficiencia           | Alta con baja concentración de materia orgánica | Alta con baja concentración de SST |
| Equipo               | Bomba dosificadora                              | Lámpara                            |

económicos, al sólo tener que modificar un poco el tanque de aireación en la adecuación del tratamiento.

De acuerdo con lo analizado en cada etapa, el sistema de tratamiento modificado, incorporando los diferentes procesos seleccionados para la PTAR Lomas de la Maestranza quedaría como se muestra en la **Figura 3**.

## Discusión

Los parámetros con los que el efluente de la PTAR no cumple la NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 1997), que es con la que fue diseñada y construida son: materia flotante, Sólidos Sedimentables (SS), Sólidos Suspendidos Totales (SST), coliformes fecales y Demanda Química de Oxígeno (DQO) (**Tabla 1**). Con el tren de tratamiento propuesto (**Figura 3**), basado en la reingeniería, se eliminará materia flotante y sólidos suspendidos con el pretratamiento; olor, sólidos suspendidos totales y DQO, con el tratamiento secundario; los coliformes con la desinfección por rayos UV.

Karamnia *et al.* (2024) emplearon un BRM para el tratamiento de aguas residuales municipales evaluando la remoción de DQO, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y SST, encontrando que en un BRM expuesto a cargas orgánica e hidráulica de choque, las remociones promedio de DQO fueron de 93.8% y 94%, respectivamente, en el caso de la DBO alcanzaron 94.4% y 93.6%. Pero también la membrana retuvo adecuadamente las partículas en suspensión durante todo el proceso. Kitanoua *et al.* (2021), comparan el rendimiento de tratamiento de un BRM, y un reactor secuencial por lotes (SBR, por sus siglas en inglés Sequencing Batch Reactor), obteniendo mayores porcentajes de remoción con el BRM. La DBO<sub>5</sub> eliminada en promedio un 94%, los SST un 99% y el NT un 89%. Por otro lado Loria *et al.* (2021), realiza un análisis comparativo de un sistema de tratamiento convencional (LA) y un BRM, para tratamiento de aguas residuales hospitalarias,

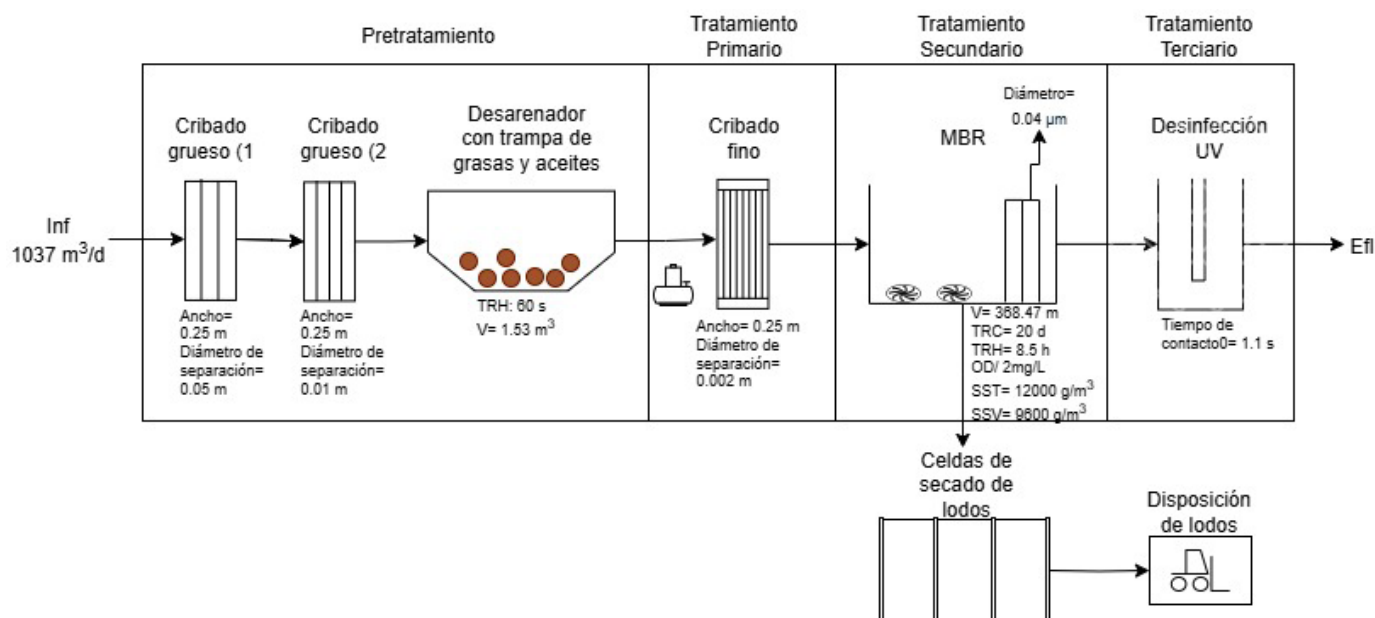


**Figura 3.** Tren de tratamiento de la PTAR Lomas de la Maestranza con propuesta de modificación.

y encontraron que el sistema de tratamiento convencional mostró un desempeño superior en la remoción de fósforo (P) y nitrógeno (N), con incrementos del 68.4% y 10.9%, respectivamente, respecto al sistema BRM. Por su parte, el biorreactor de membranas (BRM) presentó ventajas en la eliminación de sólidos suspendidos totales superior en un 17.9%, así como en la reducción de la DBO mayor en 12.5% y una remoción de DQO también superior en un 4.2%, en relación con el sistema convencional. Siendo estos últimos los parámetros de mayor interés en este estudio, ya que en la PTAR de la Maestranza no se presentan valores elevados de nutrientes como nitrógeno y fósforo.

El uso de BRM presenta limitaciones ligadas al ensuciamiento de la membrana, elevados costos de operación, alta demanda de aireación, lodos difíciles de deshidratar, sin embargo también existen estrategias que permitirían optimizar su eficiencia de operación. Para garantizar el desempeño óptimo del tren de tratamiento, es imperativo contar con personal capacitado y un manual de operación estandarizado. Resulta importante vigilar la correcta operación de las etapas de pretratamiento y tratamiento primario, para evitar al máximo el paso de sólidos al tratamiento secundario. Respecto al BRM, la capacitación técnica debe integrar aspectos operativos y de mantenimiento preventivo, enfocándose en el control y mitigación del ensuciamiento (Orantes *et al.*, 2006). Finalmente, para el tratamiento terciario, el mantenimiento del sistema de desinfección por lámpara UV se regirá por las especificaciones de vida útil y correcto mantenimiento.

## Conclusiones

Esta reingeniería se ajusta a las medidas de los reactores existentes de la PTAR, lo que minimiza la necesidad de modificaciones, adecuándose cada proceso a la infraestructura con la que cuenta actualmente la planta de tratamiento en estudio. El pretratamiento propuesto, compuesto por el tamizado grueso y el desarenador se puede incorporar sin problema al cárcamo de llegada, así como también el cribado fino, que cumple la función de tratamiento primario. El BRM se diseñó para que funcione correctamente en el espacio disponible que tiene el tanque de aireación de la PTAR. Así también la desinfección por rayos UV, se puede implementar a la salida del tanque para la desinfección.

La implementación de un BRM optimiza el tratamiento de las aguas residuales al combinar la degradación biológica de materia orgánica con la retención total de sólidos en suspensión y microorganismos patógenos. Anudado a ello, la desinfección con rayos UV garantiza la calidad sanitaria del efluente. Este sistema de tratamiento propuesto no solo eleva la calidad del efluente y asegura el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021 (SEMARNAT, 2022), sino que también permite que el agua tratada sea apta para reúso en servicios públicos, cumpliendo con la NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 1998).

En este sentido, la reingeniería planteada representa una alternativa viable y aplicación inmediata en contextos urbanos con características similares, contribuyendo no solo al cumplimiento normativo, sino también a la sostenibilidad y al bienestar social mediante el aprovechamiento seguro del recurso hídrico.

## Referencias

- CONAGUA (2019). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 46 Operación y mantenimiento de PTAR: Pretratamiento y tratamiento primario.
- CONAGUA (2019). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 25 Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales.
- CONAGUA (2019). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 26 Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario.
- CONAGUA (2019). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Libro 23 Desinfección Para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento.
- Cruz JR (2022). Construcción y puesta en operación de un biorreactor móvil (MBBR) a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales domésticas [Tesis de licenciatura]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Espinoza Mora LMEM (2021). Estudio de los procesos de desinfección UV; Cinéticas de inactivación y reactivación de bacterias *E. coli* [Tesis de licenciatura]. Universidad Politécnica Salesiana.
- García FN, Gutierrez D (2018). Diseño y operación de un reactor de lecho móvil aerobio para tratamiento de agua residual doméstica. [Trabajo de grado]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Gutierrez E, Sanchez M, Villalobos N, Caldera Y (2012). Diseño de un equipo de desinfección por luz ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización. *TECNOCIENTÍFICA URU* 2:11-18.
- Karamnia B, Pourasgharian Roudsari F, Mehrnia MR (2024). Unsteady state municipal wastewater treatment: MBR response to organic and hydraulic shock-loads. *Urban Water Journal* 21(4):498–507. doi:10.1080/1573062X.2024.2312513
- Kitanoua S, Ayyoubia H, Touri J, Zdeg A, Benabdallah S, Taky M, Elmidaoui A (2021). A Comparative examination of MBR and SBR performance for municipal wastewater treatment. *Water Practice And Technology* 16(2):582-591. doi:10.2166/wpt.2021.016
- López Vázquez CM, Buitrón Méndez G, García HA, Cervantes Carrillo FJ (2017) Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. IWA Publishing. doi:10.2166/9781780409146
- Márquez P, Gutiérrez MC, Toledo M, Alhama J, Michán C, Martín MA (2022) Activated sludge process versus rotating biological contactors in WWTPs: Evaluating the influence of operation and sludge bacterial content on their odor impact. *Process Safety and Environmental Protection* 160:775–785. doi:10.1016/j.psep.2022.02.071
- Metcalf y Eddy (2013). Wastewater engineering: treatment and resource recovery (Fifth ed.). McGraw Hill Education.
- Orantes JC, González-Martínez S (2004). A new low-cost biofilm carrier for the treatment of municipal wastewater in a moving bed reactor. *Water Science and Technology* 48(11-12).
- Orantes JC, Wisniewsky C, Héran M, Grasmick A (2006). The influence of operating conditions on permeability changes in a submerged membrane biorreactor. *Separation and Purification Technology* 52(1). doi:10.1016/j.seppur.2006.03.016
- Sánchez Cabrera AR (2019). Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante el sistema de lodos activados de la provincia de Jaén-Cajamarca 2019 [Tesis de Licenciatura]. Universidad César Vallejo.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (1998). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación.