

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DIGITAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SITIOS POTENCIALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA CUENCA DEL ALTO LERMA, ESTADO DE MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



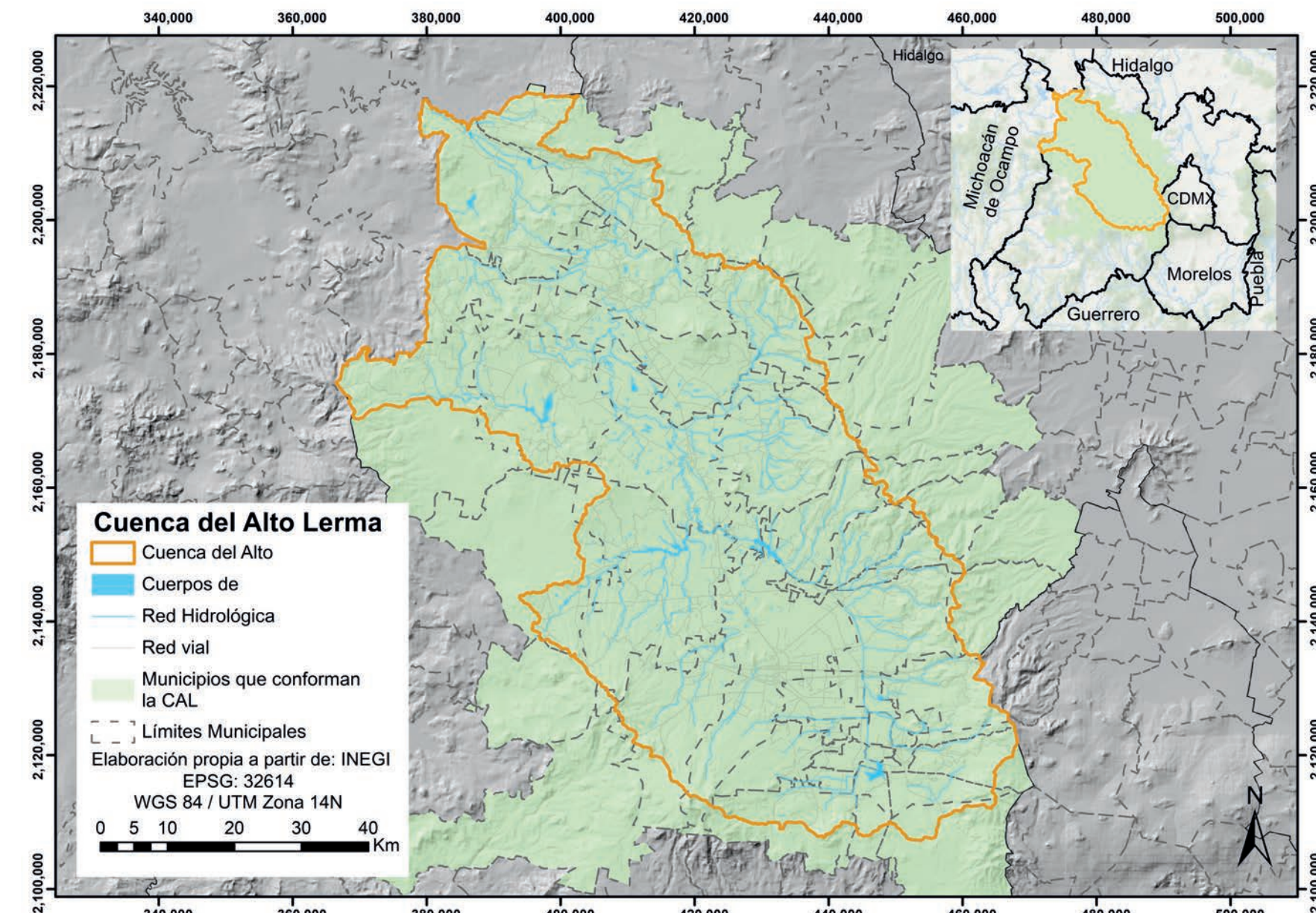
CentroGeo
Centro de Investigación en
Ciencias de Información Geoespacial, A.C.
Aniversario

Elaborado por:

Ariana López Calderón
✉ lopezcalderonariana@gmail.com
Emilio Saavedra Gallardo
✉ emiliosgg21@gmail.com
María Isabel Martínez Peña
✉ isabelmtzp28@gmail.com

Asesores:

Citlalli Aidee Becerril Tinoco
✉ cbecerril@centrogeo.edu.mx
Amilcar Morales Gamas
✉ amilcar@centrogeo.edu.mx



INTRODUCCIÓN

La gestión adecuada del agua es fundamental para el desarrollo sostenible de las sociedades, es un derecho reconocido internacionalmente por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2010 y posteriormente incorporado a la Constitución Mexicana en 2012. A pesar de estos avances legislativos, México enfrenta desafíos considerables en la gestión y protección de este recurso. La contaminación del agua, en particular, representa una amenaza significativa para la salud de los ecosistemas y la biodiversidad, así como para el acceso humano al agua potable. Este desafío se hace evidente en regiones clave como la cuenca del río Lerma, una de las más importantes del país, donde la rápida urbanización e industrialización ha exacerbado la problemática de las aguas residuales sin tratar.

La construcción de macroplantas de tratamiento de aguas residuales ha sido una respuesta común a esta crisis ambiental, sin embargo, su eficacia y sostenibilidad han sido objeto de debate. En este contexto, diversas propuestas (e.g. Anda Sánchez, 2017; Díaz-Cuenca, et al., 2012) han surgido en la última década, incluida la instalación de múltiples Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de menor escala a lo largo de una cuenca, como una alternativa para reducir la carga contaminante antes de que alcance las macroplantas. Este enfoque descentralizado no solo busca mejorar la eficiencia del tratamiento, sino también reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud pública local, como señalan expertos como de Anda Sánchez (2017).

En este sentido, este proyecto se propone abordar esta compleja problemática mediante un análisis espacial del territorio y técnicas de evaluación multicriterio, con el objetivo de identificar las zonas más adecuadas para la instalación de PTAR que garanticen un manejo eficiente y sostenible de las aguas residuales en la región.

OBJETIVO

Desarrollar una plataforma digital que funcione como una herramienta integral para identificar y seleccionar sitios estratégicos para la instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el Curso Alto del Río Lerma, Estado de México. Esta plataforma se basará en un análisis multicriterio que integrará información física y demográfica, con el fin de agilizar y optimizar el proceso de selección de sitios, contribuyendo a la mitigación de la contaminación del agua en la zona de estudio.

METODOLOGÍA



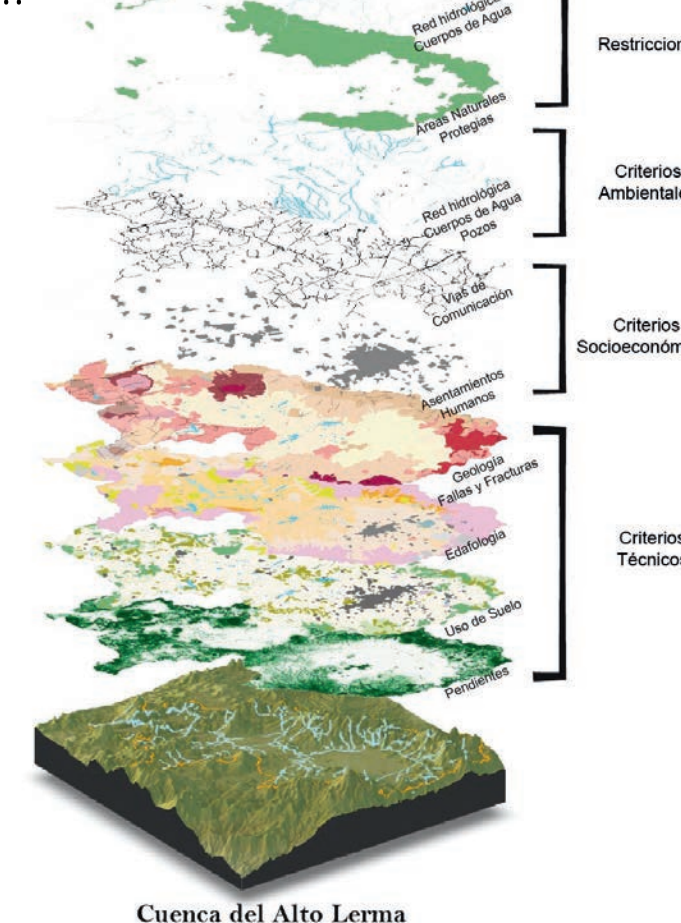
RESULTADOS

Se emplearon herramientas geoespaciales avanzadas y métodos de ponderación para integrar y analizar datos relevantes, asegurando una selección de sitios que maximicen la eficiencia operativa y minimicen el impacto ambiental. Los resultados obtenidos reflejan las áreas prioritarias identificadas y ofrecen una base para la toma de decisiones en la planificación e implementación de PTARsD.

En primer lugar, se realizó un análisis de colinealidad con el fin de determinar que los criterios no sean redundantes, es decir, que no exista una asociación y que por lo tanto un criterio no explique al otro (Malczewski y Rinner, 2015). Los resultados muestran que la mayoría de los pares de criterios tienen una correlación débil (Martínez et al., 2009), siendo solamente 4 pares los que muestran un coeficiente mayor de 0.5; estos son pendiente y pozos (-0.67), pendientes y fallas (-0.6), pendientes y geología (0.51) y pozos y asentamientos (0.51). Conforme a estos resultados, se puede concluir que no existe colinealidad, ya que ningún par de criterios supera el valor de +/- 0.8 (Mason y Perreault 1991; García et al., 2006).

Posteriormente, se realizó una matriz pareada de criterios, en la cual por medio de un análisis de comparación por pares donde se comparan los criterios entre sí para determinar su importancia relativa.

A partir de lo anterior se obtuvo la jerarquía de criterios que se muestra en la imagen, donde también se consideran dos restricciones.



Posteriormente se estandarizó cada criterio conforme a valores de utilidad, donde los valores más cercanos a 1 corresponden a los más aptos, mientras que los más cercanos a 0 son los menos aptos. Las clases con mayor preferencia corresponden a zonas con bajas pendientes (0 a 3°), con un uso de suelo desprovisto de vegetación o sin vegetación aparente, rocas de tipo basalto o metavolcano sedimentarias, suelos con textura fina, distancias a fallas, ríos, cuerpos de agua, pozos y asentamientos mayores a 2000 m y distancias a vías de comunicación entre 300 y 500 m.



Después, se realizó el proceso de combinación lineal ponderada para obtener un mapa de aptitud territorial que permitiera identificar los sitios potenciales para la colocación de PTARsD, esto se llevó a cabo mediante la aplicación de la siguiente operación aritmética:

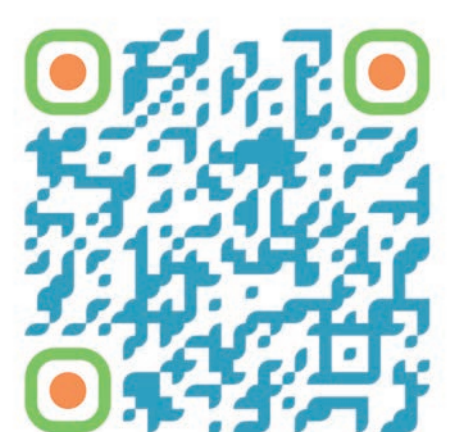
$$[(Pendientes * 0.282) + (Uso de Suelo * 0.189) + (Edafología * 0.116) + (Geología * 0.116) + (Fallas * 0.116) + (Asentamientos Humanos * 0.032) + (Vías de Comunicación * 0.023) + (Red Hidrológica y Cuerpos de Agua * 0.072) + (Pozos * 0.047)] * Red Hidrológica y Cuerpos de Agua * ANP$$

El mapa resultado de la combinación lineal ponderada muestra diferentes valores, en los cuales los colores representan la viabilidad del territorio para la colocación de PTARsD:

- **Rojo - Muy bajo:** Áreas donde las condiciones del terreno no son favorables para la instalación de PTARsD.
- **Naranja - Bajo:** Áreas con condiciones desfavorables y que requerirían de un proceso de preparación del terreno costoso y drástico para poder colocar una PTARsD.
- **Amarillo - Medio:** Áreas con condiciones moderadamente aceptables, donde el proceso de preparación del terreno requeriría de una inversión moderada y modificaciones menos drásticas al lugar seleccionado.
- **Verde Claro - Alto:** Áreas con condiciones adecuadas para la colocación de PTARsD, en estas áreas el proceso de preparación del terreno requeriría de menos recursos tanto humanos como financieros y la modificación al paisaje no es tan abrupta.
- **Verde Oscuro - Muy Alto:** Áreas con las condiciones más favorables para la instalación de PTARsD.

Viabilidad

- Muy Alta
- Alta
- Media
- Baja
- Muy baja



ESCANÉAME PARA ACCEDER A LA PLATAFORMA DIGITAL

CONCLUSIONES

La metodología aplicada demostró ser eficaz para identificar sitios adecuados para PTARsD, integrando análisis multicriterio y SIG. Su eficacia se debe a la ponderación precisa de criterios clave, mismos que al ser ponderados y estandarizados permitieron evaluar coherentemente las áreas más adecuadas, revelando que el 39.73% de la cuenca tiene un alto potencial para colocar PTARsD, principalmente en municipios como San Antonio la Isla, Rayón, Metepec, y la zona norte de Toluca. Las áreas con menor potencial, caracterizadas por pendientes elevadas y grandes masas forestales, representan el 41.49% de la cuenca.

La implementación de PTARsD en la Cuenca Alta del Río Lerma es una solución viable para la contaminación del agua, mejorando la eficiencia del tratamiento y reduciendo la carga en macroplantas. Es fundamental que las políticas públicas apoyen la gestión descentralizada y sostenible del agua, promoviendo la colaboración entre diferentes niveles de gobierno y sectores sociales.

BIBLIOGRAFÍA

- De Anda Sánchez, J. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*, 119-143.
- Díaz-Cuenca, E., Alvarado-Granados, A. R., & Camacho-Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 78-97.
- Malczewski, J., Rinner, C. (2015). Introduction to GIS-mcda. *Multicriteria decision analysis in geographic information science*, 23-54.
- Taghilou, S., Peyda, M., Khosravi, Y., & Mehrasbi, M. R. (2019). Site Selection for Wastewater Treatment Plants in Rural Areas Using the Analytical Hierarchy Process and Geographical Information System. *Journal of Human, Environment, and Health Promotion*, 5(3), 137-144.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los profesores Camilo Alberto Caudillo Cos, Jorge Paredes Tavares, José Mauricio Galeana Pizaña, y Mario Ledesma Arreola por su invaluable apoyo y orientación en la elaboración de esta investigación.