

EVALUACIÓN ESPACIAL DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN GUANO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

SPATIAL EVALUATION OF THE WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN THE CANTON OF GUANO USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Alfredo Rodrigo Colcha Ortiz¹, Raúl Alexis Salazar Flores², Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza³,
Jennifer Elizabeth Pino Arguello⁴, Maria Patricia Colcha Ortiz⁵

{alfredo.colcha@unach.edu.ec¹, raul.salazar@unach.edu.ec², hv pazmino@unach.edu.ec³, jennifer.pino@unach.edu.ec⁴,
patycolcha1777@gmail.com⁵}

Fecha de recepción: 11/04/2025 / Fecha de aceptación: 24/04/2025 / Fecha de publicación: 01/07/2025

RESUMEN: El presente estudio tiene como objetivo evaluar de manera espacial el funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del cantón Guano, utilizando herramientas avanzadas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se aplicó un enfoque mixto, con predominancia cuantitativa, que permitió integrar datos técnicos, geoespaciales y ambientales para analizar la ubicación, operatividad y zonas de influencia de nueve PTAR activas en el territorio. A través del uso de receptores GPS de alta precisión y el software ArcGIS Pro, se digitalizó la ubicación de cada planta y se generaron capas poligonales y de puntos, permitiendo calcular su área de ocupación e interacción con la red hídrica. El Modelo Digital de Elevación (DEM) fue empleado para analizar las pendientes del terreno y derivar la red de drenaje, lo cual permitió identificar posibles trayectorias de escurrimiento superficial de contaminantes hacia quebradas y ríos cercanos. Además, se aplicó la herramienta Multiple Ring Buffer para establecer zonas de riesgo diferenciadas según las condiciones topográficas. Los resultados evidencian que las plantas ubicadas en zonas de alta pendiente presentan mayor riesgo de arrastre de contaminantes, mientras que en zonas planas predomina la infiltración prolongada. El estudio resalta deficiencias en infraestructura y operación de las PTAR, y la necesidad de fortalecer el monitoreo técnico y ambiental. Esta

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba - Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-2280-5189>.

²Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba - Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-6483-2613>.

³Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba - Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-7169-7648>.

⁴Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Riobamba - Ecuador, <https://orcid.org/0009-0004-8386-5786>.

⁵Asesora Química, Gestión integrada de tratamiento de Agua y Suelos (MAJESQUIM), <https://orcid.org/0009-0009-5689-1782>.

evaluación espacial brinda insumos clave para la planificación territorial y la toma de decisiones orientadas a la gestión sostenible de los recursos hídricos en el cantón Guano.

Palabras clave: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR, Sistemas de Información Geográfica (SIG), red hídrica, vulnerabilidad ambiental, Modelo Digital de Elevación (DEM)

ABSTRACT: The objective of this study is to spatially evaluate the performance of the Wastewater Treatment Plants (WWTP) in the Guano canton, using advanced Geographic Information Systems (GIS) tools. A mixed-methods approach was applied, with a predominance of quantitative analysis, allowing for the integration of technical, geospatial, and environmental data to analyse the location, operability, and zones of influence of nine active WWTPs in the area. Using high-precision GPS receivers and ArcGIS Pro software, the location of each plant was digitized, and point and polygon layers were generated, enabling the calculation of their area of occupation and interaction with the hydrographic network. The Digital Elevation Model (DEM) was used to analyse terrain slopes and derive the drainage network, which allowed for the identification of potential surface runoff paths of pollutants toward nearby streams and rivers. Additionally, the Multiple Ring Buffer tool was used to establish differentiated risk zones according to topographic conditions. The results show that plants located in areas with steep slopes present a higher risk of pollutant transport, whereas in flat areas, prolonged infiltration prevails. The study highlights deficiencies in the infrastructure and operation of the WWTPs and the need to strengthen technical and environmental monitoring. This spatial evaluation provides key inputs for territorial planning and decision-making aimed at the sustainable management of water resources in the Guano canton.

Keywords: Wastewater Treatment Plants (WWTP), Geographic Information Systems (GIS), water network, environmental vulnerability, Digital Elevation Model (DEM)

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua segura y la protección de los cuerpos hídricos son pilares fundamentales para la sostenibilidad ambiental, la salud pública y el desarrollo territorial. En este contexto, las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) desempeñan un papel crucial en la mitigación de la contaminación hídrica y la preservación de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, en muchas regiones del Ecuador, estas infraestructuras presentan deficiencias operativas, técnicas y de mantenimiento, lo que incrementa los riesgos de afectación ambiental, especialmente cuando están ubicadas cerca de quebradas, ríos o zonas pobladas. El cantón Guano no es ajeno a esta realidad; su compleja topografía y la cercanía de las PTAR a cuerpos de agua naturales elevan la vulnerabilidad del entorno frente a posibles fallas en el tratamiento de aguas residuales.

El problema en el cantón Guano radica en la insuficiencia de tratamientos efectivos en las PTAR existentes y su impacto directo en las fuentes hídricas circundantes. En muchos casos, la falta de

monitoreo continuo y el inadecuado diseño de infraestructura han provocado descargas de aguas residuales que superan los límites permisibles de contaminantes. Además, la influencia de la topografía del territorio, especialmente las pendientes cercanas a las plantas de tratamiento, puede contribuir al arrastre de contaminantes hacia quebradas y ríos, amplificando su afectación. Ante esta problemática, es fundamental evaluar el estado actual de las PTAR, identificando sus deficiencias y estableciendo su nivel de impacto en la vulnerabilidad de los cuerpos de agua cercanos.

En respuesta a esta problemática, el presente estudio tiene como objetivo evaluar de manera espacial el funcionamiento de las PTAR del cantón Guano mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello, se integraron datos georreferenciados, modelos digitales de elevación, análisis de pendientes y redes hídricas, con el fin de identificar zonas de riesgo ambiental asociadas a cada planta. Esta investigación no solo permite diagnosticar el estado actual de las infraestructuras sanitarias, sino que también proporciona insumos técnicos clave para la planificación territorial, el diseño de políticas públicas y la implementación de estrategias de gestión sostenible del agua en el cantón.

Es importante el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales como un factor clave para proteger los cuerpos hídricos y cumplir con la normativa ambiental vigente en Ecuador. A través del estudio “Evaluación de la planta de tratamiento de Aguas Residuales de “El Corazón” del Cantón Pangua, Ecuador”, se evidencia que cuando estas infraestructuras no están correctamente dimensionadas ni operadas adecuadamente, la calidad del agua tratada no cumple con parámetros esenciales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo que implica un riesgo directo para las fuentes hídricas receptoras. Además, se identificaron falencias en componentes fundamentales como el tanque Imhoff y el filtro percolador, lo que reduce la eficiencia del sistema. El artículo demuestra que una planta de tratamiento mal operada o con deficiencias estructurales puede convertirse en un foco de contaminación en lugar de cumplir su rol de mitigación (1).

El impacto ambiental asociado al funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), evidencia una brecha entre el impacto ambiental esperado y el provocado en la realidad. A través de una revisión normativa y técnica, se destaca que muchas PTAR no cumplen con los protocolos de operación, mantenimiento y normativas de vertimiento establecidas. Se estima que solo entre el 8% y el 10% de las PTAR funcionan adecuadamente, lo que refleja deficiencias estructurales, técnicas y de seguimiento. Se identifican impactos negativos como la contaminación de fuentes hídricas, generación de malos olores, proliferación de enfermedades, y desequilibrios en los ecosistemas acuáticos debido a vertimientos sin tratamiento adecuado, por lo que se debe resaltar la importancia de contar con planes de manejo ambiental bien diseñados, con criterios técnicos, sociales y ambientales integrados (2).

Según López, (2019) en su investigación titulada “EVALUACIÓN AL PROCESO TÉCNICO, OPERATIVO Y AMBIENTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE JIPIJAPA”, analiza el funcionamiento de la PTAR de Jipijapa, revelando que los procesos técnicos, operativos y ambientales presentan serias deficiencias que comprometen la calidad del efluente vertido al río. Se utilizaron metodologías descriptivas, analíticas y

estadísticas, incluyendo análisis microbiológicos del afluente y efluente. Los resultados evidenciaron altos niveles de coliformes, E. coli y otros contaminantes que superan los límites permisibles establecidos por la normativa vigente. Este hallazgo resalta la importancia de un funcionamiento adecuado de las plantas de tratamiento, ya que el mal desempeño tiene consecuencias directas en la salud pública, los ecosistemas acuáticos y el equilibrio ambiental. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de evaluar el funcionamiento de las PTAR en otras localidades, como el cantón Guano, donde la cercanía a fuentes hídricas y las características topográficas pueden agravar el impacto ambiental si no se controla adecuadamente el tratamiento de aguas residuales.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) cumplen con un papel fundamental en la revisión, análisis y proyección de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). A través del uso de tecnologías como GPS de alta precisión y plataformas SIG como ArcGIS, es posible recopilar, organizar y visualizar datos geoespaciales relacionados con la infraestructura sanitaria, permitiendo una evaluación precisa del estado actual de las estructuras del sistema. Este enfoque facilita la identificación de puntos críticos, como estructuras deterioradas, zonas con filtraciones o tramos con pendientes negativas que comprometen el flujo adecuado del agua residual. Además, los SIG permiten proyectar soluciones de forma estratégica, priorizando fases de intervención según el nivel de urgencia o el impacto ambiental. Esta herramienta resulta clave para planificar de manera eficiente la rehabilitación y mantenimiento de sistemas de tratamiento, optimizando recursos y minimizando riesgos (4).

Según Mejía, Pérez, (2016) en su investigación *“Análisis del estado de las plantas de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas de Colombia”* ofrece una evaluación crítica sobre la situación operativa de las PTAR en diferentes ciudades del país, evidenciando una baja cobertura, deficiencias técnicas y desigualdades regionales en la gestión del saneamiento, se identifican falencias comunes como el mal funcionamiento de las unidades, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, lo que genera impactos negativos en la calidad del agua y el ambiente. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan una herramienta clave para este tipo de investigaciones, ya que permiten analizar espacialmente la ubicación de las plantas, sus zonas de influencia, los riesgos por pendientes y la cercanía a cuerpos hídricos. Además, los SIG facilitan la integración de datos técnicos, ambientales y sociales, mejorando la toma de decisiones y promoviendo una gestión territorial más eficiente, sostenible y orientada a la protección de los recursos hídricos.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha convertido en una herramienta fundamental para la planificación y gestión ambiental, especialmente en el análisis de la ubicación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). A través de la integración de múltiples capas de información espacial, como topografía, uso del suelo, proximidad a cuerpos de agua, densidad poblacional, características del suelo y profundidad del nivel freático, los SIG permiten evaluar si las plantas existentes están situadas en lugares adecuados desde el punto de vista técnico y ambiental. Esta capacidad de análisis facilita la identificación de deficiencias en la localización actual de las PTAR y proporciona una base científica para su reubicación o mejora operativa. Además, mediante el uso combinado de SIG y métodos de análisis

multicriterio como el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), es posible determinar los sitios óptimos para la instalación de nuevas plantas, garantizando un funcionamiento más eficiente (6).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, con predominancia cuantitativa, ya que se fundamenta en la recolección, procesamiento y análisis de datos técnicos y geoespaciales, sin dejar de lado la interpretación cualitativa del contexto territorial y ambiental del cantón Guano.

La metodología aplicada fue de tipo descriptiva y exploratoria, orientada a evaluar el funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y su influencia en la vulnerabilidad de los cuerpos hídricos cercanos.

Se trabajó con una muestra compuesta por nueve PTAR activas en el cantón, las cuales fueron georreferenciadas mediante trabajo de campo con receptores GPS diferenciales de alta precisión, la información obtenida fue organizada en archivos CSV y Excel, y procesada con el software ArcGIS Pro, utilizando herramientas como Feature to Point, Merge y Multiple Ring Buffer para generar capas de puntos y polígonos que representen la ubicación, el área de ocupación y las zonas de influencia de cada planta.

Asimismo, se empleó el Modelo Digital de Elevación (DEM) para analizar las pendientes del terreno mediante la herramienta Slope, y para derivar la red hídrica superficial con el conjunto de herramientas Hydrology Tools, identificando la dirección y jerarquía de los flujos de agua. Estos datos permitieron determinar la relación entre la ubicación de las PTAR y los riesgos potenciales de contaminación por escorrentía o infiltración. Esta metodología permitió obtener una evaluación espacial precisa, útil para orientar decisiones técnicas y ambientales a nivel local.

RESULTADOS

El desarrollo de esta investigación se estructuró en dos fases principales. La primera consistió en la determinación de la ubicación y digitalización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), utilizando herramientas de georreferenciación y Sistemas de Información Geográfica. La segunda fase incluyó el análisis del cantón Guano mediante un Modelo de Elevación Digital (DEM), lo que permitió examinar la red hídrica y las pendientes del territorio, evaluando así la influencia potencial de las PTAR en las zonas más cercanas.

Determinación de la ubicación y digitalización de las plantas de tratamiento

Para esta tarea se llevó a cabo un trabajo de campo, en el cual, con el apoyo de receptores GPS diferenciales de alta precisión, se realizó el levantamiento de las coordenadas correspondientes a las áreas que actualmente ocupan las nueve Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

(PTAR) ubicadas en el cantón Guano. Una vez completado el levantamiento, la información fue descargada desde los dispositivos en formatos CSV o Excel. Estos archivos fueron posteriormente procesados y transformados en capas de puntos geoespaciales mediante el software ArcGIS Pro, lo que permitió representar con exactitud la localización de cada una de las PTAR.

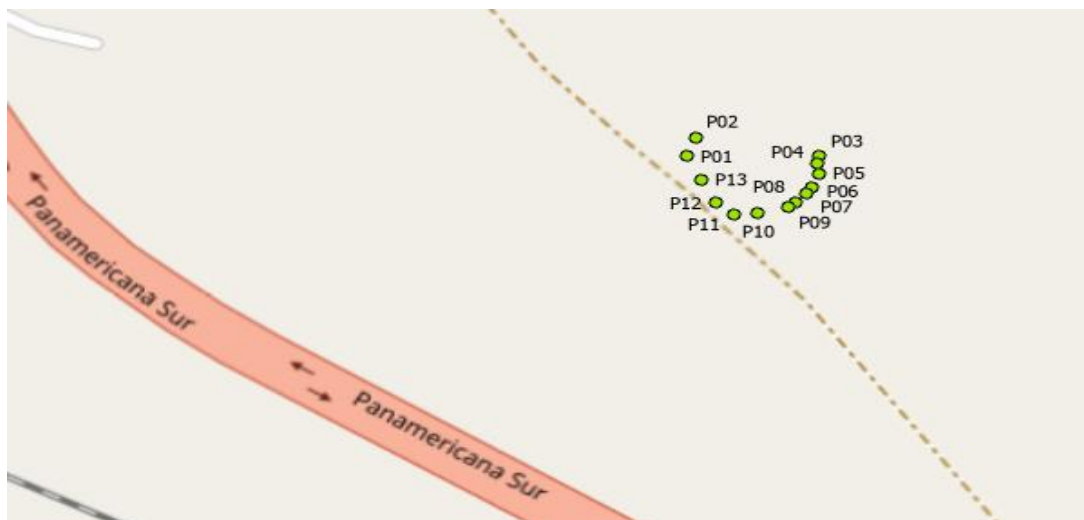


Figura 1. Transformación de los datos CSV o EXCEL en una capa de puntos.

Posteriormente, a partir de la capa de puntos generada, se procedió a la digitalización de cada una de las plantas, delineando sus límites mediante herramientas de edición en el entorno de ArcGIS Pro. De esta manera, se obtuvieron capas vectoriales de tipo polígono que permiten representar con mayor precisión la extensión espacial de cada PTAR. Estas capas fueron fundamentales para calcular atributos geométricos como el área ocupada y el perímetro de cada planta, información clave para el análisis.



Figura 2. Digitalización de polígono de la PTAR y características de su contorno.

El trabajo se realizó de manera individual para cada planta, generando una capa poligonal por separado que representa la delimitación de cada una de las nueve PTAR del cantón Guano, con el objetivo de consolidar esta información en una sola capa geoespacial, se procedió a estandarizar los campos atributivos de cada una de las capas individuales, asegurando uniformidad en la estructura de los datos. Una vez completado este proceso, se utilizó la herramienta Merge en ArcGIS Pro para integrar todos los polígonos en una única capa.

OBJECTID *	Shape *	Shape_Length	Shape_Area	Nombre
1	Polygon ZM	151,554753	1415,334621	SAN ANDRES
2	Polygon ZM	183,13491	2147,279113	SIGSIPAMBA
3	Polygon ZM	69,349502	257,620428	SAN ISIDRO 2
4	Polygon ZM	80,410517	368,559542	SAN ISIDRO 1
5	Polygon ZM	197,332973	2169,305489	SAN GERARDO
6	Polygon ZM	96,957034	499,374553	PUNTULAGUA
7	Polygon ZM	64,935054	249,080606	ILAPO 2
8	Polygon ZM	72,338776	321,917423	ILAPO 1
9	Polygon ZM	60,493235	219,001897	BALSAYAN

Figura 3. Tabla de atributos de la capa de todos los polígonos de las PTAR.

Para obtener las ubicaciones y tener una mejor referencia, se realizó la transformación de la capa de polígonos a una capa de puntos utilizando la herramienta Feature To Point.

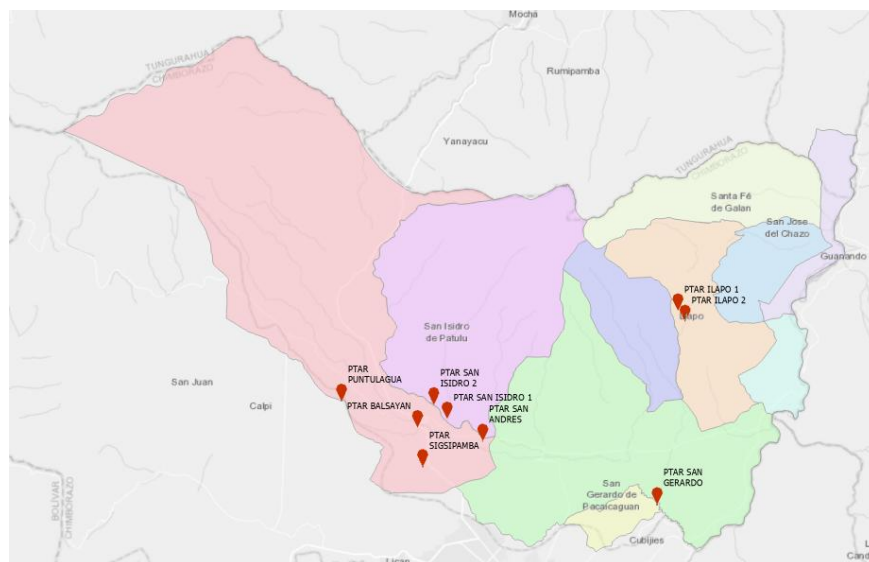


Figura 4. Ubicación de las PTAR del cantón Guano.

Análisis del cantón Guano a través de un modelo de elevación digital

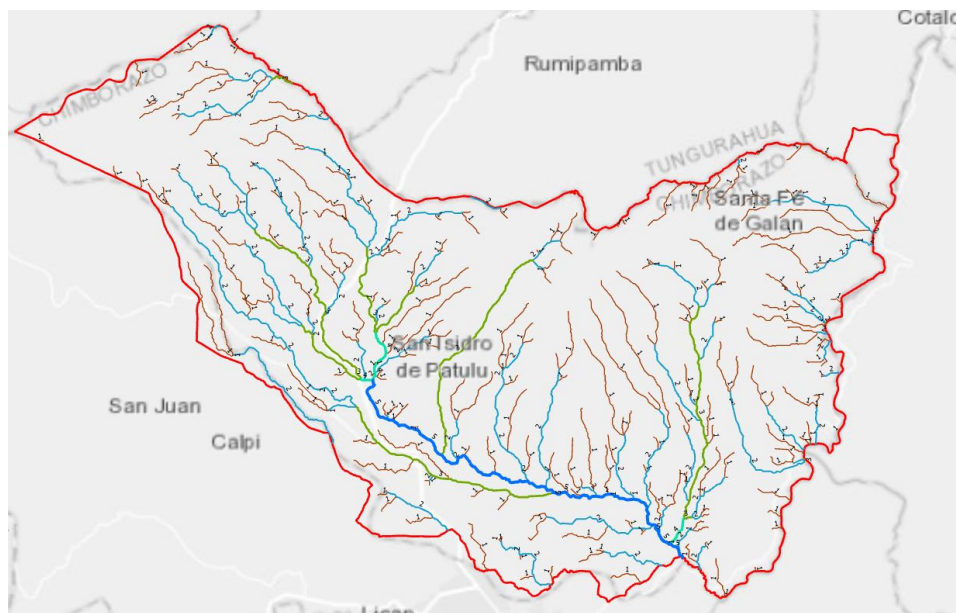


Figura 6. Red hídrica Cantón Guano con sus órdenes de drenaje.

El análisis de las órdenes de drenaje, derivado del Modelo Digital de Elevación (DEM), permite identificar con claridad la jerarquía y dirección en la que las quebradas y los ríos conducen los distintos flujos de agua a lo largo del territorio. Esta información es esencial para comprender el comportamiento hidrológico de la cuenca, evaluar el riesgo de afectación por escorrentías y definir el impacto potencial de las PTAR sobre los cuerpos de agua cercanos.

Es importante conocer de manera general como se encuentran las pendientes de toda la zona de estudio, por lo que de nuestro archivo DEM calcularemos las pendientes utilizando la herramienta Slope de ArcGIS Pro.

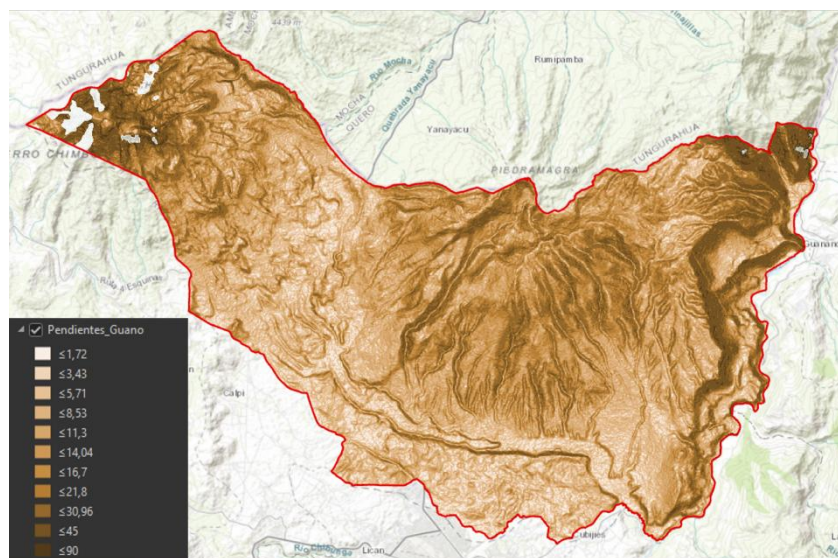


Figura 7. Cálculo de pendientes del Cantón Guano.

Para entender mejor la situación del territorio en relación con sus pendientes vamos a reclasificarlas en las siguientes categorías.

Tabla 1. Clasificación en categorías.

Categoría	Rango (Grados)
1. Muy Baja	0° - 5°
2. Baja	5° - 15°
3. Moderada	15° - 25°
4. Alta	25° - 45°
5. Muy Alta	>45°

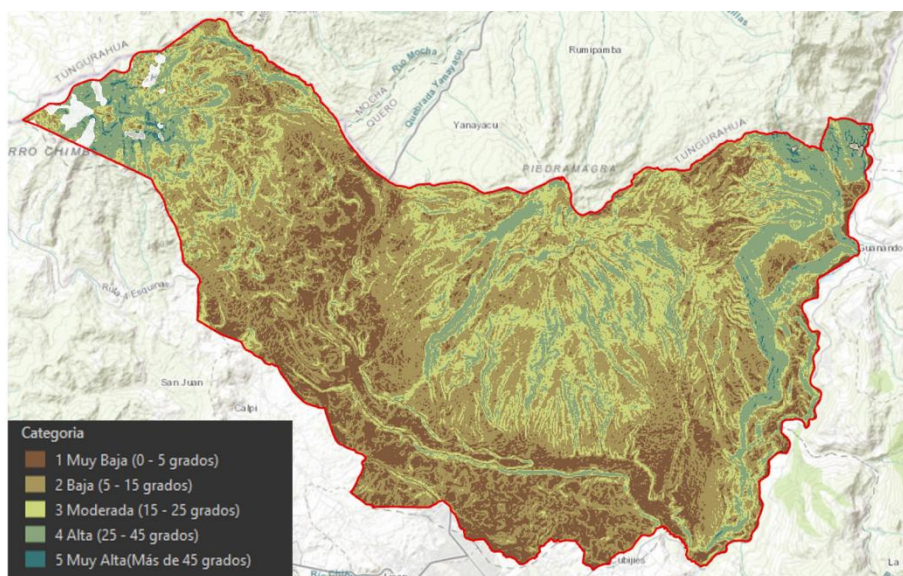


Figura 8. Pendientes reclasificadas del cantón Guano.

Influencia de las PTAR en las zonas más cercanas

En el siguiente cuadro podemos identificar las posibles afectaciones considerando la ubicación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y la pendiente del terreno en el cantón Guano:

Tabla 2. Posibles afectaciones en el cantón Guano.

Zona / PTAR	Pendiente del Terreno	Posibles Afectaciones si la PTAR no funciona correctamente
PTAR PUNTULAGUA	Baja a Moderada	Contaminación de quebradas aguas abajo; infiltración a napas freáticas locales; impacto en actividades agrícolas.

EVALUACIÓN ESPACIAL DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN GUANO MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

PTAR BALSAN	Moderada	Arrastre de aguas residuales por escorrentía; riesgo de contaminación de suelos agrícolas y de cuerpos hídricos cercanos.
PTAR SAN ISIDRO 1 y 2	Moderada	Riesgo de afectación directa a zonas pobladas en cotas más bajas; propagación de olores y enfermedades.
PTAR SAN ANDRÉS	Moderada a Alta	Alta vulnerabilidad ante escurrimientos; potencial contaminación de aguas superficiales en eventos de lluvia intensa.
PTAR SIGSIPAMBA	Alta	Aumento del riesgo de erosión y transporte rápido de contaminantes hacia quebradas; difícil contención en fallas operativas.
PTAR ILAPO 1 y 2	Baja	Riesgo medio de acumulación de aguas residuales en zonas planas; posible infiltración prolongada al subsuelo.
PTAR SAN GERARDO	Baja	Posible afectación directa a cultivos o ganado cercano; riesgo de infiltración en caso de mal diseño del sistema.

Actualmente, no existen datos específicos sobre una distancia promedio estándar en la que una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) mal operada podría generar afectaciones. Sin embargo, diversos estudios y casos prácticos evidencian que los impactos negativos pueden extenderse significativamente, dependiendo de factores como la eficiencia del tratamiento, la topografía, las condiciones climáticas y la densidad poblacional circundante. En Ibiza, España, se han reportado malos olores provenientes de una depuradora que afectan áreas situadas hasta a 20 kilómetros de distancia, dependiendo de la dirección del viento. Este caso ilustra cómo las emisiones gaseosas pueden tener un alcance considerable, afectando la calidad de vida de comunidades distantes. Además, un mal funcionamiento de una PTAR puede provocar la descarga de aguas residuales insuficientemente tratadas en cuerpos de agua cercanos, lo que conlleva riesgos de contaminación ambiental y para la salud pública. Estos impactos pueden extenderse aguas abajo, afectando a comunidades y ecosistemas situados a varios kilómetros del punto de vertido (7).

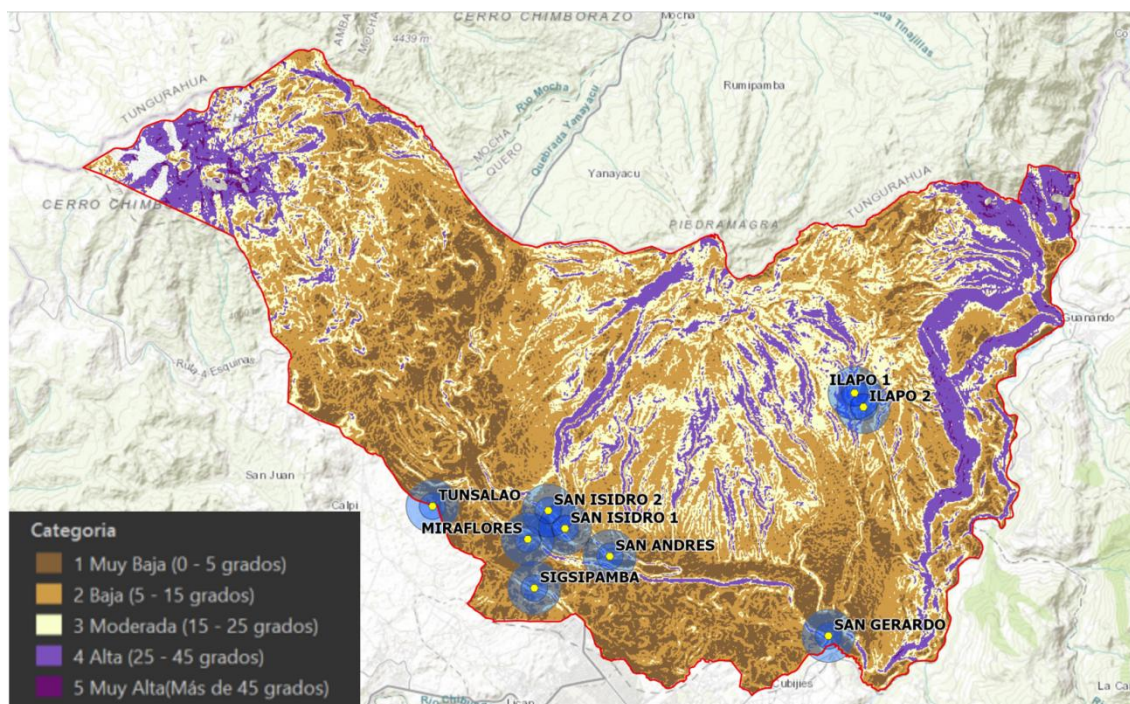


Figura 9. Ubicación y la zona cercana de influencia de las PTAR.

La incorporación de las zonas de influencia inmediata alrededor de las PTAR en el cantón Guano permite evidenciar con mayor claridad las áreas potencialmente afectadas ante un mal funcionamiento. En zonas con pendientes moderadas y altas, como San Andrés o Sigsipamba, se observa un riesgo elevado de escorrentía rápida, lo que facilitaría la propagación de contaminantes hacia cuerpos de agua cercanos. En contraste, en áreas de baja pendiente como Ilapo o San Gerardo, el riesgo se centra en la acumulación y filtración prolongada. Además, la proximidad de varias plantas a zonas agrícolas y recursos hídricos refuerza la necesidad de una operación eficiente para prevenir impactos sanitarios y ambientales.

DISCUSIÓN

La evaluación espacial de las nueve Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del cantón Guano, a través de herramientas de georreferenciación y análisis topográfico mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), (8) permitió identificar con precisión su localización, áreas de ocupación y zonas de influencia directa. A partir del análisis del Modelo Digital de Elevación (DEM), (9) se determinó que las PTAR se encuentran distribuidas en terrenos con pendientes variables, desde zonas planas hasta áreas con fuertes inclinaciones, lo cual incide directamente en el comportamiento de las aguas residuales tratadas y los posibles riesgos asociados a su vertido (10).

Las plantas ubicadas en pendientes altas o moderadas, como San Andrés y Sigsipamba, (11) presentan un mayor riesgo de escorrentía superficial rápida, lo que podría derivar en contaminación directa de quebradas y ríos en eventos de mal funcionamiento. En contraste (12), PTAR como Ilapo y San Gerardo, situadas en zonas planas, enfrentan problemas de acumulación de efluentes y riesgos de infiltración prolongada al subsuelo, lo que podría impactar negativamente en la calidad de las napas freáticas y suelos agrícolas (13).

La delimitación de zonas de influencia de hasta 1000 metros alrededor de cada planta permitió identificar sectores vulnerables (14) (15), incluyendo áreas agrícolas y comunidades cercanas, donde un deficiente tratamiento de aguas residuales tendría consecuencias sanitarias y ambientales considerables (16) (17).

Estos resultados reafirman la necesidad de incorporar variables geoespaciales, como la topografía y la red de drenaje, en los procesos de planificación (18) (19), diseño y monitoreo de las PTAR, se concluye que un enfoque territorial apoyado en SIG permite anticipar escenarios de riesgo, optimizar recursos y priorizar intervenciones técnicas. Además (20) (21), se evidencia que el funcionamiento adecuado de las PTAR debe entenderse no solo como un requisito técnico, sino como un componente estratégico para la sostenibilidad ambiental y la salud pública en contextos urbanos y rurales vulnerables como el cantón Guano (22)(23).

CONCLUSIONES

La evaluación espacial realizada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió caracterizar con precisión la ubicación, extensión y áreas de influencia de las nueve Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del cantón Guano, integrando datos topográficos, hidrológicos y territoriales relevantes para el análisis ambiental.

Los resultados evidencian que las condiciones topográficas son determinantes en la evaluación del riesgo ambiental asociado al funcionamiento de las PTAR, las plantas situadas en zonas con pendientes moderadas a altas, como San Andrés y Sigsipamba, presentan mayor vulnerabilidad a la escorrentía superficial y arrastre de contaminantes hacia cuerpos hídricos naturales, especialmente en eventos de precipitación intensa.

Las PTAR ubicadas en terrenos planos, como Ilapo y San Gerardo, enfrentan riesgos de acumulación de efluentes y filtración prolongada al subsuelo, lo cual puede comprometer la calidad de las napas freáticas y los suelos agrícolas circundantes, afectando la salud pública y la productividad agropecuaria.

La generación de zonas de influencia de hasta 1000 metros alrededor de cada planta permitió identificar áreas potencialmente afectadas en caso de fallas operativas, incluyendo asentamientos humanos, zonas agrícolas y redes hídricas, esta información es importante para establecer prioridades de intervención y diseñar estrategias de mitigación.

La incorporación de análisis SIG en los procesos de diagnóstico, planificación y mejora de las PTAR es esencial para una gestión integral del saneamiento, ya que facilita la toma de decisiones basada en evidencias espaciales y territoriales.

Se destaca la necesidad urgente de fortalecer el monitoreo técnico, el mantenimiento operativo y la gestión institucional de las PTAR del cantón Guano, integrando herramientas tecnológicas y criterios técnicos que garanticen la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento de la normativa vigente en materia de tratamiento de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ponluisa JDP, López LL, Intriago ACY, Peñaherrera CPN. Evaluación de la planta de tratamiento de Aguas Residuales de “El Corazón” del Cantón Pangua, Ecuador : Evaluation of the El Corazón Wastewater Treatment Plant – Pangua Canton, Ecuador. Rev Científica FINIBUS - Ing Ind Arquít. 31 de julio de 2024;7(14):155-64.
2. Alferez Rivas LE, Nieves Pimiento N. Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado. Rev Caribeña Cienc Soc RCCS. 2019;(6 (junio)):42.
3. López D. EVALUACIÓN AL PROCESO TÉCNICO, OPERATIVO Y AMBIENTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE JIPIJAPA [Internet]. 2019. Disponible en: chrome-

- extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1877/1/UNESUM-ECU-ING.MEDIO-2019-09.pdf?utm_source=chatgpt.com
4. Peterson N. Enhancing Wastewater Utility Mapping and Flow Line Analysis with Geographic Information Systems (GIS). Minnesota [Internet]. 2008;Volume 10. Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gis.smumn.edu/GradProjects/PetersonN.pdf?utm_source=chatgpt.com](https://gis.smumn.edu/GradProjects/PetersonN.pdf?utm_source=chatgpt.com)
 5. Mejía Puentes LE, Pérez Novoa LP. Análisis del estado de las plantas de tratamiento de agua residual de la cuenca alta del río Bogotá dentro de la jurisdicción de la CAR. 2016 [citado 2 de abril de 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14625/20848>
 6. Awawdeh M, Al-Rousan Z, Alkaraki K. Wastewater treatment plant site selection using GIS and multicriteria decision analysis. Arab Gulf J Sci Res. 12 de diciembre de 2023;42(4):1504-17.
 7. SER C. Cadena SER. 2024 [citado 23 de marzo de 2025]. Vecinos de la nueva depuradora de Ibiza denuncian los malos olores de la planta que se expanden en un área de 20 kilómetros. Disponible en: <https://cadenaser.com/baleares/2024/09/11/vecinos-de-la-nueva-depuradora-de-ibiza-denuncias-los-malos-olores-de-la-planta-que-se-expanden-en-un-area-de-20-kilometeos-radio-ibiza/>
 8. Awawdeh, M., Al-Rousan, Z., & Alkaraki, K. (2023). Wastewater treatment plant site selection using GIS and multicriteria decision analysis. Arab Gulf Journal of Scientific Research, 42(4), 1504–1517. <https://doi.org/10.1108/AGJSR-09-2023-0412>
 9. Pillapa Ponluisa, J. D., López López, L., Yépez Intriago, A. C., & Navarro Peñaherrera, C. P. (2024). Evaluación de la planta de tratamiento de Aguas Residuales de “El Corazón” del Cantón Pangua, Ecuador. Revista Científica FINIBUS - Ingeniería, Industria y Arquitectura, 7(14), 155–164. <https://doi.org/10.56124/finibus.v7i14.015>
 10. Morán González, M. R., & Guerrero Calero, J. M. (2022). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, Manabí. MQRInvestigar, 6(4), 925–943. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.925-943>
 11. Echeverría, I., Escalante, C., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., & Montoya, R. (2021). Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basada en lagunas de estabilización acopladas a un reactor anaerobio compartimentado. Investigación & Desarrollo, 21(1). <https://doi.org/10.23881/idupbo.021.1-3i>
 12. Rueda, F. V., Guarín, A. F. M., & Pramparo, L. M. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. Entre Ciencia e Ingeniería, 13(26), 17–26. <https://doi.org/10.31908/19098367.1150>
 13. Rodríguez-González, M. R., Molina-Burgos, J., Jácome-Burgos, A., & Suárez-López, J. (2013). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario de efluentes. Ingeniería Investigación y Tecnología, 14(2), 223–235. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72238-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72238-8)
 14. GilPavas, E., Medina, J., Dobrosz-Gómez, I., & Gómez, M. (2016). Optimización de costos de electro-oxidación en plantas de tratamiento. Ingeniería Industrial, 27(4), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400008>

15. Almario, A. M., Ortega, Y. S., & Rodríguez, E. M. (2017). Reutilización del efluente de una PTAR para riego agrícola. *Revista Ingenierías USBMed*, 18(2), 33–44. <https://doi.org/10.25054/22161325.1824>
16. Ramírez Cadavid, J. D. (2018). Evaluación del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y la elefanta (*Pennisetum purpureum*) en la caracterización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 4(1). Recuperado de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/335340>
17. Gómez Llanos, E. (2017). Aplicación de la familia de huellas ecológicas para el estudio de la eficiencia de estaciones depuradoras de aguas residuales [Tesis doctoral, Universidad de Extremadura]. Dehesa. Recuperado de https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/6224/6/TDUEX_2017_Gomez_Llanos.pdf
18. Castillo, E. F., Solano, J. K., & Rangel, M. P. (2006). Evaluación operacional de un sistema a escala laboratorio de biopelícula anaerobia soportada para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista ION*, 19(1), 18–22. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342030277004.pdf>
19. Esteban Penelas, G. (1989). Los protozoos ciliados como bioindicadores en el tratamiento de las aguas residuales [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. Dialnet. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=196991>
20. Sánchez Marré, M. (1996). Supervisión multinivel en plantas depuradoras (DAI-DEPUR). En A. Trapote Jaume (Ed.), Tesis doctoral (pp. 123–145). Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de https://oa.upm.es/9869/1/Arturo_Trapote_Jaume_Memoria.pdf
21. Barrero, D. (2010). Aplicación de los sistemas de información geográfica en el ordenamiento territorial. *Revista Ventana Informática*, 22. <https://doi.org/10.30554/VENTANAINFORM.22.208.2010>
22. Manso, J. M. D., Riveira, I. S., & Nieto Zas, E. (2018). A aptitude do solo na avaliación de terras para a planificación territorial. *Revista Galega de Economía*, 27(2), 155–170. <https://doi.org/10.15304/RGE.27.2.5665>
23. Osorio, M. (2010). Participación de los SIG en la formulación de instrumentos de planificación y norma urbanística. *Revista Ventana Informática*, 22. <https://doi.org/10.30554/ventanainform.22.209.2010>