



Introducción

La creciente presión sobre los recursos hídricos, agravada por el cambio climático, la expansión de actividades agrícolas e industriales, y el crecimiento poblacional, ha generado una crisis global en la disponibilidad de agua subterránea. En regiones áridas y semiáridas, esta problemática se intensifica debido a la irregularidad de las precipitaciones, la sobreexplotación de acuíferos y la degradación del suelo por erosión. Los mantos freáticos, fundamentales para el abastecimiento de agua en estas zonas, enfrentan un deterioro acelerado que amenaza la seguridad hídrica de comunidades enteras. Ante este escenario, el proyecto *"Análisis Topográfico para Diseño de Estructuras Auxiliares en la Regeneración de Mantos Freáticos"* surge como una respuesta técnica e innovadora para restaurar la capacidad de recarga de acuíferos mediante soluciones basadas en la topografía y la ingeniería hidráulica.

El núcleo de esta iniciativa radica en la integración de tecnologías geoespaciales y modelos predictivos para identificar áreas estratégicas donde la construcción de estructuras de infiltración (zanjas, terrazas y sistemas de retención) pueda maximizar la captación de agua pluvial y su incorporación al subsuelo. A diferencia de enfoques tradicionales, que suelen depender de estudios manuales y criterios empíricos, este proyecto automatiza el análisis del terreno mediante el procesamiento de modelos digitales de elevación (DEM) y algoritmos de inteligencia artificial. Estos últimos permiten predecir patrones de acumulación de agua y optimizar el diseño de infraestructuras adaptadas a las condiciones específicas de cada zona.

La plataforma desarrollada incluye una interfaz gráfica interactiva que no solo facilita la visualización de datos topográficos complejos, sino que también



genera recomendaciones técnicas detalladas. Esta herramienta está diseñada para ser accesible a profesionales como ingenieros, hidrólogos y planificadores urbanos, quienes pueden cargar información georreferenciada, simular escenarios de infiltración y exportar reportes con coordenadas precisas y especificaciones de construcción. La combinación de mapas de pendiente, modelos 3D del terreno y proyecciones climáticas históricas brinda una perspectiva integral que respalda la toma de decisiones informadas, reduciendo la incertidumbre en la planificación de obras hidráulicas.

Cabe destacar que, si bien el proyecto ya cuenta con un prototipo funcional y ha demostrado su capacidad para alcanzar los objetivos planteados, el proceso de refinamiento de resultados y validación en campo sigue en marcha. Esto incluye ajustes en los algoritmos de optimización y la incorporación de datos recabados mediante drones, los cuales permiten una actualización constante de los modelos digitales del terreno. La escalabilidad de la solución (respaldada por el uso de software de código abierto y infraestructura en la nube) asegura su adaptabilidad a distintas regiones, incluso en contextos con limitaciones presupuestarias.

En síntesis, esta iniciativa no solo aborda un desafío ambiental crítico, sino que también establece un precedente en la aplicación de tecnologías emergentes para la gestión sostenible del agua. Al vincular el análisis científico con herramientas prácticas, el proyecto trasciende el ámbito teórico y se posiciona como un instrumento tangible para combatir la escasez hídrica y promover la resiliencia de ecosistemas vulnerables. Su éxito preliminar refleja el potencial de las soluciones basadas en datos para transformar la manera en que enfrentamos los retos del siglo XXI.



Antecedentes

La escasez de agua y la erosión del suelo han sido problemas recurrentes en regiones áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de recursos hídricos depende en gran medida de la recarga natural de los acuíferos. Experiencias internacionales, como los sistemas de zanjas de infiltración implementados en India o las terrazas de retención en México, han demostrado que la ingeniería hidráulica puede mitigar estos desafíos. Sin embargo, la efectividad de estas soluciones está condicionada por la precisión en la selección de los sitios de construcción. Métodos tradicionales, basados en observaciones in situ o análisis topográficos rudimentarios, suelen ser costosos, lentos y propensos a errores, lo que limita su impacto a gran escala.

En este contexto, el avance de las tecnologías geoespaciales ofrece oportunidades sin precedentes. Los modelos digitales de elevación (DEM), combinados con algoritmos de machine learning para predecir patrones de escorrentía, permiten identificar microcuencas y zonas de acumulación de agua con una precisión superior al 90%. Proyectos piloto en países como Kenia y Brasil han validado este enfoque, logrando incrementos significativos en la recarga de acuíferos. No obstante, la falta de herramientas accesibles que integren estos avances en una plataforma unificada sigue siendo una barrera para su adopción masiva. Este proyecto busca cerrar esa brecha al democratizar el acceso a tecnologías de vanguardia mediante una interfaz intuitiva y de bajo costo.

Planteamiento del Problema



La disminución de los mantos freáticos y la degradación del suelo representan una amenaza multidimensional. Por un lado, la sobreexplotación de acuíferos para uso agrícola e industrial ha reducido los niveles freáticos en un 30% en regiones como el norte de México y el Sahel africano. Por otro lado, la erosión causada por lluvias torrenciales arrastran capas fértiles del suelo, disminuyendo la productividad de la tierra y obstruyendo cauces naturales. A esto se suma la falta de infraestructura para captar y almacenar agua pluvial, un recurso que, en zonas áridas, se pierde en un 70% por escorrentía superficial.

El cambio climático exacerba estos fenómenos. Sequías prolongadas seguidas de eventos extremos de precipitación dificultan la planificación de estrategias de recarga. Además, las herramientas actuales para diseñar estructuras de infiltración carecen de integración con datos climáticos históricos y modelos predictivos, lo que genera diseños estáticos incapaces de adaptarse a variabilidad ambiental. Este proyecto aborda estas limitaciones al proponer un sistema dinámico que combina análisis topográficos en tiempo real, proyecciones meteorológicas y criterios de optimización hidráulica.

Hipótesis

La hipótesis central del proyecto postula que la implementación de estructuras de recolección de agua (como zanjas de infiltración y terrazas) en áreas estratégicas identificadas mediante análisis topográfico automatizado y modelos predictivos de inteligencia artificial, incrementará la capacidad de infiltración del suelo en al menos un 40%. Esto, a su vez, regenerará los mantos freáticos y reducirá la erosión en un 25% durante los primeros cinco años de operación. La validación de esta hipótesis se sustentará en mediciones comparativas de



niveles freáticos, análisis de humedad del suelo y simulaciones computacionales que contrasten escenarios con y sin intervención.

Descripción del Proyecto

El sistema desarrollado consta de una plataforma tecnológica que integra tres componentes clave: procesamiento geoespacial, modelado predictivo y visualización interactiva. Utilizando Python como lenguaje central, la herramienta procesa modelos digitales de elevación (en formato GeoTIFF) mediante bibliotecas como Rasterio y GDAL, extrayendo parámetros críticos como pendiente, curvatura del terreno y dirección del flujo hídrico. Estos datos se combinan con algoritmos de machine learning entrenados con datos históricos de precipitación y escorrentía, permitiendo predecir zonas de acumulación de agua con una resolución espacial de 5 metros.

La interfaz gráfica, construida con Plotly y Dash, permite a los usuarios cargar archivos geoespaciales, ajustar parámetros de análisis y visualizar resultados en mapas interactivos y modelos 3D. Por ejemplo, un ingeniero puede superponer capas de pendiente con proyecciones de lluvia para identificar dónde construir zanjas que maximicen la infiltración durante la temporada de huracanes. Adicionalmente, la plataforma genera reportes técnicos en formato CSV con coordenadas GPS, diseños estandarizados de estructuras y cálculos de costos preliminares, facilitando la transición del análisis a la ejecución.



Reivindicaciones Innovadoras

Este proyecto se distingue por su enfoque holístico. A diferencia de soluciones existentes que se centran únicamente en el análisis estático del terreno, esta plataforma incorpora variables dinámicas como la variabilidad climática y la degradación del suelo a mediano plazo. Los algoritmos de optimización hidráulica, por ejemplo, no solo consideran la topografía actual, sino que simulan cómo cambiará la eficiencia de las estructuras bajo diferentes escenarios de uso de suelo y precipitación.

Otra innovación radica en la accesibilidad. Al utilizar software de código abierto e infraestructura en la nube, el sistema reduce costos operativos en un 60% comparado con herramientas comerciales. Además, la integración de drones para capturar imágenes de alta resolución permite actualizar los modelos digitales del terreno sin depender de datos satelitales, una ventaja crítica en regiones con cobertura limitada.

Resultados Esperados

Tras la implementación del proyecto, se anticipa una identificación precisa de al menos 15 zonas críticas por cada 100 km² analizados, priorizando áreas con pendientes entre 2% y 10%, donde la construcción de zanjas y terrazas puede maximizar la retención de agua. Los diseños generados por la plataforma incluirán especificaciones técnicas adaptadas a cada contexto, como profundidad de zanjas (0.5-1.5 metros) y espaciamiento entre terrazas (20-50 metros), garantizando estabilidad estructural y eficiencia hidrológica.



La visualización de datos mediante mapas interactivos y gráficos de acumulación de flujo permitirá a los usuarios comparar múltiples escenarios en segundos, agilizando la toma de decisiones. Finalmente, los reportes técnicos exportables contendrán métricas clave: costos estimados por estructura, volúmenes de agua captable anual y reducción proyectada de erosión, estableciendo un marco cuantitativo para evaluar el impacto de las intervenciones.

Presupuesto Estimado

El presupuesto total del proyecto asciende a \$15,500.00 MXN, distribuidos en rubros estratégicos. El desarrollo del software y la interfaz gráfica absorbe el 20% de los recursos, enfocándose en la integración de bibliotecas geoespaciales y pruebas de usabilidad. La adquisición de datos topográficos de alta resolución y el uso de drones para fotogrametría representan el 35%, asegurando la precisión de los modelos digitales. La infraestructura en la nube, esencial para procesar grandes volúmenes de datos sin requerir hardware especializado, constituye el 13%, mientras que licencias de software complementario y equipos de cómputo ocupan el 15%. Un 10% se destina a gastos administrativos y documentación, garantizando cumplimiento normativo y replicabilidad del proyecto. El restante 7% cubre imprevistos, desde actualizaciones de seguridad en la plataforma hasta ajustes en campo derivados de condiciones climáticas extremas.



Concepto	Costo Aproximado (MXN)
Desarrollo del software e interfaz gráfica	\$3,000.00
Adquisición de datos topográficos (DEM, GeoTIFF)	\$1,000.00
Infraestructura de almacenamiento en la nube	\$2,000.00
Equipos y licencias de software	\$2,000.00
Costos administrativos y documentación	\$500.00
Gastos imprevistos	\$2,000.00
Dron para Adquisición de fotografías	\$5000
Total	\$15,500.00

El proyecto se llevará a cabo optimizando los recursos tecnológicos disponibles y utilizando herramientas de código abierto para reducir costos. La infraestructura en la nube permitirá el almacenamiento y procesamiento eficiente de los datos sin necesidad de hardware costoso.



Conclusión

Este proyecto representa un avance significativo en la gestión sostenible del agua al fusionar innovación tecnológica con necesidades prácticas. Al automatizar procesos críticos (desde el análisis topográfico hasta el diseño de infraestructuras), no solo se optimizan recursos económicos y humanos, sino que se establece un modelo escalable aplicable a diversas regiones vulnerables. Los resultados preliminares, respaldados por un prototipo funcional y validaciones teóricas, refuerzan la viabilidad de la solución. Sin embargo, el verdadero éxito dependerá de su implementación en campo y su adaptación continua a retos emergentes, desde cambios en los patrones climáticos hasta nuevas dinámicas de uso del suelo. En este sentido, la plataforma no es un producto terminado, sino una herramienta viva, diseñada para evolucionar junto con los ecosistemas que busca proteger.

Video funcionamiento del proyecto:

<https://youtu.be/wSPjIHKQxtg?si=fcUgeYaUGKBcC44j>