



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Implementación de tecnologías SIG para
la gestión almacenamiento y
visualización de datos de sondeos
geotécnicos y geofísicos**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Geomático

P R E S E N T A

Rodrigo Ferat González

ASESOR DE INFORME

M. en I. Jesús Ulises Acosta Robledo



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025

Dedicatoria y Agradecimientos:

Dedico este trabajo a:

Dedico este trabajo a mis padres, Erika y Carlos, quienes incondicionalmente me brindaron su amor, paciencia y apoyo en cada etapa de mi formación. Desde pequeño me inculcaron el valor del esfuerzo, la constancia y la disciplina, recordándome siempre que los sueños se alcanzan con trabajo, humildad y perseverancia. A mi madre, por su ternura, por acompañarme siempre de la mano y enseñarme a mirar la vida con fortaleza. A mi padre, por ser ejemplo de carácter y compromiso, y por inspirarme a superar cada reto con determinación. Gracias por estar presentes en cada logro, por alentarme en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño avance. Para ustedes, que creyeron en mí incluso cuando yo dudaba, todo mi reconocimiento y gratitud.

Dedico también este logro a mi familia extendida, por su cariño, comprensión y aliento constante. Cada palabra de apoyo fue un impulso más en este camino.

Una parte muy importante de mi formación también la viví en el campo de juego. Jugar cinco años en Liga Mayor con los Pumas marcó profundamente mi vida. El deporte me enseñó disciplina, trabajo en equipo y resiliencia; valores que también guiaron mi camino académico. Ser parte de ese equipo fue un privilegio, y vivir la experiencia del campeonato nacional fue un recordatorio de que el esfuerzo colectivo y la pasión pueden convertir los sueños en realidad.

Agradecimientos:

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor, el profesor Ulises, por su orientación constante, su paciencia y su entusiasmo. Desde el primer día de clases demostró no solo su compromiso académico, sino también su calidad humana. Su pasión por la ingeniería, la computación, la tecnología y la mejora continua fue una fuente constante de motivación que despertó en mí un interés aún mayor por aprender y mejorar.

Agradezco también a mis compañeros y amigos, quienes compartieron conmigo largas jornadas de estudio, discusiones, risas y momentos de cansancio. Cada proyecto en equipo y cada conversación fueron parte fundamental de mi crecimiento profesional y personal.

De manera especial, agradezco a mi hermano Alejandro, de quien he aprendido mucho gracias a su carácter y manera de ver la vida. Sus consejos sabios, su apoyo moral y su manera de enfrentar los desafíos me impulsaron a seguir adelante cuando el cansancio parecía ganar, recordándome siempre que el esfuerzo tiene recompensa.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de forma directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de este trabajo: profesores, amigos, familiares y compañeros de equipo que ofrecieron su ayuda, comprensión y compañía en los momentos más importantes de esta etapa.

Tema: Implementación de Tecnologías SIG para la Gestión, Almacenamiento y Visualización de datos Geotécnicos y Geofísicos.

Contenido

Introducción	6
Contexto y Justificación.....	6
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Particulares	7
Capítulo 1 - Fundamentos Teóricos.....	8
1.1 Sistemas de Información Geográfica.....	8
1.1.1 Principales componentes de un SIG	9
1.1.2 Glosario de formatos:.....	10
1.1.3 Los Geoportales	10
1.2 Historia y Evolución de los Geoportales y Visores SIG	11
1.2.1 Tendencias actuales	13
1.3 Casos de Estudio.....	14
1.3.1 Geoportal fronterizo de iSTAR.....	14
1.3.2 Trabajo de Arthur Zizumbo	15
1.3.3 Otros Geoportales de Sondeos Geofísicos	16
1.4 Aplicación del SIG en la Geotecnia y Geofísica.....	17
1.5 Almacenamiento y Visualización de Datos Geoespaciales.....	18
1.5.1 Almacenamiento de Datos Geoespaciales	18
1.5.2 Visualización de Datos Geoespaciales.....	19
1.6 Tecnologías Usadas	19
1.6.1 Almacenamiento	19
1.6.2 BackEnd	20
1.6.3 FrontEnd	20
1.6.4 Estándares OGC para Geoservicios:	21
Capítulo 2 - Descripción del Sistema “Wakah K'an”.....	22
2.1 Definición y Alcance del Sistema.....	22
2.1.1 Alcances del Sistema:.....	23
2.1.2 Límites del Sistema:.....	23
2.2 Arquitectura del Sistema.....	24

2.2.1 Capa de Datos (PostGIS)	24
2.2.2 Capa de Publicación de Servicios (GeoServer)	25
2.2.3 Capa de Aplicación (Node.js).....	25
2.2.4 Capa de Presentación (OpenLayers, Bootstrap y CSS)	25
2.2.5 Capa de Monitorización y Mantenimiento (PM2).....	25
2.2.5 Servicios de Datos Geoespaciales.....	26
2.2.6 Servicios de Mapas Web	26
2.3 Funcionalidades Principales	27
Capítulo 3 - Desarrollo del Sistema	29
3.1 Requerimientos Técnicos	30
3.1.1 Requerimientos de Hardware	30
3.1.2 Requerimientos de Software.....	31
3.1.3 Requerimientos de Red y Conectividad	32
3.1.4 Requerimientos de Seguridad	33
3.1.5 Requerimientos de Mantenimiento y Escalabilidad	33
3.2 Diseño e implementación de la base de Datos	34
3.2.1 Modelo Entidad - Relación	34
3.2.2 Estructuras de Campos y Geometrías	38
3.2.3 Restricciones y Control de Integridad	41
3.2.4 Flujo de Creación y Migración de Datos.....	41
3.2.5 Ventajas de la Implementación.....	44
3.3 Integración de los Servicios WEB	44
3.4 Integración del BackEnd	45
3.5 Integración del FrontEnd	47
3.6 Configuración del Despliegue.....	50
Capítulo 4 - Funcionamiento del Sistema.....	52
4.1 Consulta de Datos.....	52
4.2 Generación de Reportes de Datos Consultados.....	54
Capítulo 5 - Discusión	56
5.1 Impacto en la Gestión y Planificación	56
5.2 Ventajas y Limitaciones	56
5.3 Comparación con Otros Sistemas.....	57
5.4 Mejoras a futuro.....	58
Conclusiones.....	60

6.1. Almacenamiento de los Datos.....	60
6.2. Visualización Interactiva.....	60
6.3. Mejora en la Gestión de los Datos	60
Referencias y Bibliografía:	61
Anexos y Reportes.....	65
1. Ejemplos de Consultas Espaciales	65
2. Proceso de consultas en la aplicación	67

Figuras:

<i>Figura 1.0.1 – Línea de Tiempo de Geoportales.</i>	12
<i>Figura 2.0.1 – Descripción ilustrativa de la unión entre las capas de la Arquitectura del sistema.</i>	26
<i>Figura 2.0.2 – Diagrama que muestra las funciones que tiene el programa.</i>	29
<i>Figura 2.3 – Diagrama Entidad Relación</i>	34
<i>Figura 4.0.1 – Captura de pantalla de la página de presentación del programa.</i>	52
<i>Figura 4.0.2 – Captura de pantalla de la consulta de sondeos.</i>	53
<i>Figura 4.0.3 – Captura de pantalla del reporte de la consulta de un obra.</i>	54
<i>Figura 7.0.1 – Captura de pantalla de una consulta en postgres.</i>	65
<i>Figura 7.0.2 – Captura de pantalla de una consulta en postgres.</i>	65
<i>Figura 8.1 – Muestra como se hace la consulta, empezando por elegir una zona</i>	65
<i>Figura 8.2 – El siguiente filtro es escoger un proyecto.</i>	65
<i>Figura 8.3 – Luego de escoger un proyecto se habilita un selector para filtrar entre los tipos de obras que hay en el proyecto</i>	65
<i>Figura 8.4 – Continuás escogiendo la obra</i>	65
<i>Figura 8.5 – En esta figura se muestra una obra seleccionada</i>	65
<i>Figura 8.6 – Lo siguiente es dar clic en sondeos para obtener los sondeos de la obra y poder mostrarlos uno a uno en el mapa al seleccionarlos</i>	65
<i>Figura 8.7 – Captura de pantalla de la vista de datos rápidos al dar clic en un sondeo (puntos verdes)</i>	65

Tablas:

<i>Tabla 1 – Componentes de la tabla “zonas”</i>	35
<i>Tabla 2 Componentes de la tabla “proyectos”</i>	36
<i>Tabla 3 – Componentes de la tabla “elementos”</i>	36
<i>Tabla 4 – Componentes de la tabla “sondeos”</i>	37
<i>Tabla 5 – Componentes de dos tablas de datos temáticos</i>	37
<i>Tabla 6 – Atributos de la tabla “zonas”</i>	38
<i>Tabla 7 – Atributos para la tabla “proyectos”</i>	39
<i>Tabla 8 – Atributos para la tabla “Elementos”</i>	39
<i>Tabla 9 – Atributos para la tabla “sondeos”</i>	40

Introducción

Contexto y Justificación

En la actualidad, la gestión eficiente de datos geotécnicos y geofísicos es fundamental para el desarrollo de proyectos de infraestructura. Los sistemas de información geográfica (SIG) han demostrado ser herramientas esenciales para el almacenamiento, análisis y visualización de datos espaciales, facilitando la toma de decisiones y mejorando la planificación de proyectos. En este contexto, el proyecto **Wakah K'an** surge como una respuesta a la necesidad de integrar tecnologías SIG avanzadas para manejar grandes volúmenes de datos de sondeos geotécnicos y geofísicos. Este sistema permite almacenar, gestionar y visualizar información de manera eficiente, optimizando los procesos de planeación y decisión en las áreas de geotecnia y estructuras.

Dirac Ingenieros Consultores es una firma de consultoría pionera en México, reconocida por sus altos estándares profesionales, técnicos y éticos, que apoya a entidades públicas y privadas en el desarrollo de proyectos de infraestructura. Estas áreas desempeñan un papel crucial en el desarrollo de obras de infraestructura, ya que la ingeniería estructural y geotécnica requieren un manejo preciso de datos para garantizar la seguridad y estabilidad de las construcciones. Según el portal web de la empresa, el área de estructuras está conformada por profesionales con amplia experiencia en ingeniería estructural y sísmica, quienes aplican normativas actualizadas, métodos de diseño de vanguardia y tecnología BIM en proyectos de gran envergadura, como centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, metros, túneles y puentes. De manera similar, el área de geotecnia cuenta con especialistas que desarrollan estudios y diseños de túneles, taludes, cimentaciones profundas, anclajes y muros de contención, utilizando modelos analíticos y simulaciones en entornos bidimensionales y tridimensionales con integración BIM.

Dado que la eficiencia en el manejo de estos datos es clave para el éxito de los proyectos, **Wakah K'an** se presenta como una herramienta innovadora que facilita la gestión y visualización de información geotécnica y estructural, permitiendo a los especialistas analizar escenarios, evaluar riesgos y optimizar diseños de manera más precisa y efectiva. La integración de SIG con metodologías de modelado y análisis avanzados no solo mejora la toma de decisiones, sino que también impulsa el desarrollo de infraestructura más segura y sostenible.

La implementación de un sistema SIG en el ámbito de los sondeos geotécnicos y estructurales no solo responde a la creciente demanda de soluciones tecnológicas para gestionar grandes volúmenes de datos espaciales, sino que también contribuye significativamente a la precisión y seguridad en la planificación de proyectos de infraestructura. Las áreas de geotecnia y estructuras se enfrentan a la necesidad de integrar datos de diferentes fuentes y formatos, como sondeos de terreno, análisis estructurales y modelados 3D, que requieren una plataforma capaz de almacenar, procesar y visualizar esta información de manera integrada y accesible.

El desarrollo de **Wakah K'an** está justificado por su capacidad para unificar datos geotécnicos en un sistema de consulta y análisis que facilita la toma de decisiones informadas. En comparación con

las metodologías tradicionales, el uso de un sistema SIG permite una visualización interactiva de datos críticos en tiempo real y una mayor flexibilidad en el análisis espacial. Esta solución contribuye a optimizar los procesos de diseño y construcción en áreas de alto riesgo geotécnico, aplicando tecnología avanzada y metodologías de diseño de vanguardia.

La precisión en el análisis de suelos y estructuras es crucial para la seguridad y eficiencia de los proyectos, **Wakah K'an**, representa una herramienta innovadora y adaptable, que permite a los profesionales de la ingeniería estructural y geotécnica acceder a datos precisos, mejorar la evaluación de riesgos y desarrollar proyectos de infraestructura sostenibles y seguros.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar e implementar un software de Sistema de Información Geográfica (SIG) que permita la gestión, almacenamiento y visualización de datos de sondeos geotécnicos y geofísicos en la web, mejorando la eficiencia y la toma de decisiones dentro de las áreas de planeación, geotecnia y estructuras en Dirac.

Objetivos Particulares

- Digitalizar planos estructurales, tablas de registros de sondeos y reportes técnicos existentes, con el propósito de alimentar y estructurar la base de datos del Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Visualizar los distintos elementos estructurales correspondientes a cada proyecto de obra civil, integrando espacialmente los sondeos geotécnicos y geofísicos asociados.
- Integrar en la visualización georreferenciada del SIG los datos técnicos más relevantes de cada sondeo, incluyendo nombre del punto, nivel freático, coordenadas, tipo de sondeo, nivel de brocal y profundidad alcanzada.
- Facilitar la toma de decisiones y planeación con herramientas de medición espacial.

Nota: La medición espacial es una herramienta clave en los sistemas de información geográfica, que permite a los usuarios calcular distancias, áreas, y volúmenes, así como evaluar la proximidad entre elementos. [1]

Capítulo 1

Fundamentos Teóricos

1.1 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan una herramienta clave en la actualidad. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos espaciales, junto con su habilidad para integrar información georreferenciada, los convierte en una tecnología esencial para la toma de decisiones basada en la localización y el análisis geográfico. "Mediante los SIG se pueden elaborar operaciones entre capas, y así obtener resultados en formato vectorial, ráster o tablas de datos. Estos resultados pueden usarse para la elaboración de análisis y modelos. Por ello, no debe considerarse al SIG como una herramienta sólo de captura, almacenamiento, manejo y presentación de mapas". [Peña Llopis Juan]

Como señala el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA, 1990), un SIG es un "sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión"[Peña Llopis Juan]. Esta definición resalta la multifuncionalidad de los SIG, desde la captura y manejo de datos espaciales hasta su uso para resolver problemas complejos en áreas como la gestión territorial, gestión de recursos y análisis de riesgos.

En la actualidad los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta clave. Su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos espaciales y su habilidad para integrar información georreferenciada los convierte en tecnologías esenciales para la toma de decisiones basadas en la localización y el análisis geográfico. Como señala Olaya, "mediante los SIG se pueden elaborar operaciones entre capas, y así obtener resultados en formato vectorial, ráster o tablas de datos. Estos resultados pueden usarse para la elaboración de análisis y modelos. "

En geotecnia, un Sistema de Información Geográfica (SIG) puede aplicarse de manera específica en la gestión de sondeos y prospecciones, ya que constituye un conjunto integrado de hardware, software y procedimientos que permiten capturar, organizar, manipular, analizar y representar espacialmente los datos obtenidos en campo. De este modo, los SIG facilitan la visualización de los resultados, la generación de modelos y el apoyo a la toma de decisiones en estudios geotécnicos.

1.1.1 Principales componentes de un SIG

A continuación, se describen los principales componentes que conforman a un SIG:

Datos: Son la materia prima fundamental de los SIG, y pueden presentarse en varios formatos. En general, los datos de un SIG incluyen elementos vectoriales (puntos, líneas o polígonos para representar ubicaciones, límites y redes), datos ráster (imágenes satelitales, ortofotos y modelos de elevación que proporcionan información continua del terreno) y datos tabulares (archivos en formatos como CSV o XML que contienen atributos y detalles descriptivos). En el desarrollo de "**Wakah K'an**", por ejemplo, para obtener información espacial detallada se consultaron informes técnicos en PDF para identificar coordenadas y atributos específicos; además, los datos en formatos CAD, como DWG, se convirtieron a formatos SIG como Shapefile para facilitar su integración en el sistema y permitir un análisis espacial completo.

Hardware: El hardware de un SIG constituye la infraestructura física necesaria para la operación del sistema, abarcando desde servidores y estaciones de trabajo hasta dispositivos avanzados de captura de datos, como drones y sistemas de posicionamiento global (GPS). Los drones, equipados con cámaras de alta resolución y sensores especializados (incluyendo tecnología LIDAR y multiespectral), han revolucionado la forma en que se recogen datos geoespaciales al posibilitar la captura de imágenes aéreas precisas y de gran detalle, lo cual favorece la elaboración de mapas y modelos tridimensionales.[Colomina] Por otro lado, los sistemas de posicionamiento global proporcionan la precisión necesaria para georreferenciar la información recogida, asegurando que cada dato cuente con una ubicación exacta y, en consecuencia, se integre de forma coherente en las bases de datos del SIG, lo que permite su actualización constante y un análisis espacial más riguroso.[Groves] Estas tecnologías, al trabajar de forma integrada, amplían las capacidades de los sistemas de información geográfica, facilitando el manejo de grandes volúmenes de datos y optimizando la toma de decisiones basada en información espacial precisa.

Software: Es el conjunto de aplicaciones y herramientas que permiten procesar y analizar los datos geoespaciales. Estas aplicaciones incluyen sistemas de bases de datos espaciales, programas como 'QGIS' o 'ARCGIS', o cualquier programa de análisis y/o visualización geoespacial.

Métodos: Son las técnicas y procedimientos que se utilizan para procesar o analizar los datos geoespaciales, estas técnicas suelen incluir análisis, consultas, uniones, recortes, interpolaciones y modelados.

Usuarios: Son los componentes humanos de un SIG y juegan un papel clave, pues son quien interactúan con el sistema, interpretan sus resultados y los aplican. Los usuarios pueden variar en su rol, desde técnicos y analistas hasta tomadores de decisiones o público en general.

1.1.2 Glosario de formatos:

- **DWG:** Es un formato de archivo binario propietario desarrollado por Autodesk para almacenar datos en dibujos y diseños CAD, siendo ampliamente utilizado en aplicaciones de diseño asistido por computadora. [2]
- **CSV:** (Comma-Separated Values) es un formato de archivo de texto plano en el que los datos se organizan en forma de tabla, con los valores separados por comas. Es ideal para la importación y exportación de datos entre aplicaciones como hojas de cálculo. [3]
- **SHP (Shapefile):** Es un formato desarrollado por Esri para el almacenamiento de datos vectoriales en SIG. Es uno de los formatos más comunes para manejar información geoespacial de manera sencilla y eficiente. [4]
- **JSON: (JavaScript Object Notation):** es un formato ligero de intercambio de datos, basado en texto, que utiliza estructuras de pares clave-valor. Es independiente del lenguaje y ampliamente utilizado en aplicaciones web para la transmisión de datos estructurados. [5]
- **GeoJSON:** Es un formato abierto basado en JSON para representar datos geográficos simples, como puntos, líneas y polígonos, así como sus atributos. Es ampliamente usado en aplicaciones web SIG por su simplicidad e interoperabilidad. [6]
- **GeoPackage (GPKG):** Es un formato abierto definido por el Open Geospatial Consortium (OGC) que utiliza una base de datos SQLite para almacenar datos vectoriales, rásteres, mosaicos y atributos geoespaciales en un único archivo portátil y eficiente. [7]
- **GeoParquet:** Es una extensión del formato Parquet que permite almacenar datos geoespaciales en columnas, incluyendo geometrías y metadatos espaciales, con el fin de mejorar la interoperabilidad entre sistemas y optimizar el rendimiento en el análisis geoespacial. [8]

1.1.3 Los Geoportales

Un **geoportal** es un sitio web que permite acceder y utilizar información geográfica y servicios asociados (visualización de mapas, edición de datos, análisis espacial, etc.) de forma integrada.[9] En esencia, los **geoportales** son componentes clave de las *infraestructuras de datos espaciales (IDE)*: conjunto de tecnologías, estándares, políticas y recursos institucionales coordinados para gestionar y compartir datos geográficos.[9] El INDAABIN (Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales) define una IDE como una infraestructura que integra distintos sistemas y aplicaciones incluyendo información geográfica homologada y estandarizada para catalogar, publicar y compartir mapas, con la finalidad de fortalecer la toma de decisiones. [21] Un elemento fundamental de todo geoportal es el **visor SIG** (o visor cartográfico), que actúa como cliente web para presentar mapas interactivos y herramientas geográficas al usuario final.[9] A través de visores web, incluso personas sin formación especializada en SIG pueden navegar mapas, consultar datos

espaciales y realizar análisis básicos de manera amigable.[10] En pocas palabras, los geoportales y sus visores asociados facilitan que la información geoespacial esté disponible *en línea de forma rápida, dinámica y entendible*, democratizando el acceso a la geografía digital.

1.2 Historia y Evolución de los Geoportales y Visores SIG

La **evolución de los geoportales** está estrechamente ligada al desarrollo de las IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) y de estándares abiertos para la interoperabilidad geoespacial.[9] A inicios de la década de 1990, gobiernos y organizaciones comenzaron a digitalizar grandes volúmenes de información geográfica, pero enfrentaban la falta de **estrategias comunes para compartir datos**; distintos formatos y modelos de datos incompatibles dificultaban el intercambio de información en la red.[9] Un hito fundamental fue la adopción de los primeros **estándares de intercambio geográfico** a mediados de los 90. En 1994 surge en Estados Unidos la *National Spatial Data Infrastructure (NSDI)*, acompañada de la red de catálogos *NSDI Clearinghouse*, coordinada por el Federal Geographic Data Committee (FGDC), considerada uno de los **primeros grandes geoportales** a nivel mundial.[9] Esta red inicial permitía que múltiples agencias publicaran y catalogaran sus datos geoespaciales, sentando las bases de una IDE nacional.

Hacia finales de los 90 y principios de los 2000, la arquitectura de las IDE maduró rápidamente, impulsada por iniciativas de gobierno electrónico. En 2003, el gobierno estadounidense lanzó **Geospatial One-Stop (GOS)**, un geoportal central para descubrir datos y servicios geográficos, vigente hasta 2011, cuando sus funciones fueron absorbidas por portales de datos abiertos (geo.data.gov) y por la nueva plataforma geoespacial del FGDC.[9] Paralelamente, otros países emprendieron esfuerzos similares: a mediados de la década de los 2000 ya existían geoportales nacionales en Canadá, Francia, España, Reino Unido, Rusia, entre otros.[9] En Europa, la aprobación de la directiva **INSPIRE** en 2007 consolidó la creación de una IDE paneuropea. INSPIRE facilita encontrar, compartir y usar datos espaciales de distintos países a través de un *portal en línea* unificado, asegurando que la información de fuentes dispares sea compatible e integrable.[11] Esto ha promovido que cada país miembro implemente su propio geoportal conforme a estándares comunes.

Un factor que revolucionó los visores SIG fue la aparición de las **aplicaciones web de mapas masivas a mediados de los 2000**. En 2005, productos como *Google Maps* y *Google Earth* acercaron los mapas interactivos al público general. Por primera vez “todo el mundo podía interactuar y beneficiarse de la tecnología GIS”, integrándola en la vida cotidiana.[12] Esta popularización impulsó tanto el desarrollo de visores web más intuitivos en geoportales gubernamentales como la aceptación de estándares de facto (por ejemplo, Google Earth popularizó el formato KML, luego adoptado como estándar OGC en 2008 [13]). También en 2004 nace *OpenStreetMap*, iniciativa de mapas abiertos colaborativos, que evidencia la tendencia hacia datos geoespaciales abiertos y colaborativos.

A lo largo de los años 2010, los geoportales se volvieron herramientas importantes en distintos niveles de gobierno y sectores. En 2011, por ejemplo, Estados Unidos evolucionó su infraestructura con la plataforma **GeoPlatform.gov**, integrando los datos geoespaciales federales en un portal

Línea de Tiempo - Geoportales y Visores SIG



Figura 1.0.1 – Línea de Tiempo de Geoportales.

central moderno. Muchos países de América Latina establecieron sus IDE nacionales con geoportales oficiales (Colombia formalizó su ICDE en 2007, Chile fortaleció su IDE Chile, etc.), reflejando un movimiento global hacia el acceso público a datos territoriales.[13] Actualmente, la

mayoría de entidades públicas que gestionan información geográfica ofrecen algún visor o portal web para consulta ciudadana como lo resume la figura 1.0.1

1.2.1 Tendencias actuales

Los geoportales contemporáneos incorporan tecnologías avanzadas y se adaptan a nuevas necesidades. Destaca la integración de **visualización 3D y realidad aumentada**, permitiendo explorar ciudades en tres dimensiones o superponer datos al entorno real (por ejemplo, visores urbanos 3D).[11] La **movilidad y el tiempo real** son otras tendencias: hoy es común acceder a geoportales desde dispositivos móviles y visualizar capas dinámicas (p. ej., sensores IoT transmitiendo en vivo datos de tráfico o clima). Asimismo, el *big data* geoespacial y la analítica en la nube permiten que geoportales manejen grandes volúmenes de datos (imágenes satelitales, trayectorias GPS, etc.) casi en tiempo real. Todo esto se sustenta en el avance continuo de los **estándares abiertos**. A casi 30 años de su fundación en 1994, el Open Geospatial Consortium (OGC) ha promulgado más de 150 estándares abiertos para garantizar la interoperabilidad entre sistemas geoespaciales heterogéneos.[13] Inicialmente se definieron estándares clave como **WMS** (Servicio Web de Mapas) en el año 2000 y **WFS** (Servicio Web de Entidades) en 2002 [13], que sentaron las bases de los geoservicios web. En la actualidad, nuevas especificaciones (como *OGC API Features* para servicios RESTful) están redefiniendo la forma en que los geoportales sirven datos de manera más eficiente y orientada a API.

En el Valle de México, geoportales como el del Sistema de Información Geográfica de la Ciudad de México [20], que permite acceder a información territorial, urbana y ambiental en tiempo real, apoya a la planificación urbana, la gestión del tránsito y el monitoreo ambiental. Esto demuestra cómo las tendencias globales se aplican localmente para satisfacer necesidades específicas de una megaciudad, facilitando la toma de decisiones basada en datos espaciales confiables.

En resumen, desde los primeros catálogos de los 90 hasta las plataformas colaborativas y en tiempo real de hoy, los **geoportales** han evolucionado para democratizar el acceso a la información geográfica y apoyar la toma de decisiones basada en datos espaciales. En América Latina, investigaciones recientes señalan que, aunque se han hecho progresos importantes en la conformación de IDE abiertas —con avances en interoperabilidad, estándares y datos accesibles— aún persisten retos en cuanto a la uniformidad de las políticas, la capacidad técnica institucional y la inclusión ciudadana en el diseño y uso de estas infraestructuras. [22] Además, estudios sobre sistemas catastrales en Ecuador muestran una tendencia creciente hacia la adopción de modelos catastrales 3D, lo que implica mayores niveles de detalle y precisión espacial, alineados con la demanda de geoportales más inmersivos y robustos. [23]

1.3 Casos de Estudio

1.3.1 Geoportal fronterizo de iSTAR

El *Geoportal Fronterizo iSTAR* es una plataforma web SIG (Sistema de Información Geográfica) desarrollada por el Laboratorio Internacional de Tecnología e Investigación Espacial (iSTAR) de la UNAM en colaboración con la Universidad Estatal de California, Northridge. Su misión es integrar, almacenar, visualizar, analizar y difundir datos geográficos referentes a la región fronteriza México–Estados Unidos, proporcionando herramientas para la planificación y gestión binacional del territorio. Entre los objetivos del geoportal se encuentran promover la colaboración académica internacional entre México y EE. UU. y apoyar la toma de decisiones en temas estratégicos de la frontera mediante un servicio web accesible a usuarios diversos (gobiernos, investigadores, ONG, público general).

El geoportal se caracteriza por ser *bilingüe* (español–inglés) y por su enfoque de software libre y estándares abiertos. Todos sus componentes se desarrollaron con tecnología de código abierto, eliminando costos de licencias comerciales. Presenta una interfaz web intuitiva que no requiere conocimientos especializados en GIS, incluyendo un conjunto completo de herramientas para **integrar, administrar, visualizar, consultar, analizar, editar y descargar** datos geoespaciales. Asimismo, fue diseñado pensando en la versatilidad temática (permite incorporar datos de recursos hídricos, medio ambiente, energía, seguridad, etc.) y en la seguridad e interoperabilidad de la información geográfica. Estas características lo hacen una plataforma robusta y adaptable a múltiples necesidades geográficas de la zona fronteriza.

En cuanto a la **tecnología** empleada, iSTAR implementa una arquitectura de múltiples capas soportada totalmente en software libre. En la capa de datos utiliza una base de datos relacional PostgreSQL con la extensión espacial PostGIS para el almacenamiento de información georreferenciada. En la capa de servicios emplea GeoServer como servidor de mapas para publicar las capas geográficas (aplicando estilos SLD y caché de teselas para optimizar el despliegue). El núcleo de la aplicación (lógica de negocio) está desarrollado en Java, apoyado por frameworks Spring (Security y Data) para gestión de usuarios, seguridad y acceso a datos. Finalmente, en la capa de presentación el geoportal incorpora tecnologías web modernas: TypeScript/JavaScript (con el uso de librerías como **OpenLayers** para los mapas interactivos principales y **Leaflet** en módulos de tablero de control), además de HTML5, CSS y la biblioteca jQuery para la interfaz de usuario. Este conjunto tecnológico le permite al portal ofrecer visualización cartográfica dinámica en un entorno web, manteniendo compatibilidad con estándares OGC (WMS, WFS, etc.) para asegurar la interoperabilidad. [14]

Cabe destacar que el Geoportal iSTAR sirvió como **referencia importante** para el desarrollo del programa SIG descrito en este trabajo profesional. Su éxito demostrando la viabilidad de una solución web GIS de bajo costo basada en software libre orientó varias decisiones de diseño en el proyecto del usuario. En particular, la filosofía de adoptar un stack libre (PostGIS/GeoServer/OpenLayers) y de cumplir estándares abiertos fue inspirada por iSTAR. Del mismo modo, características como la interfaz bilingüe, la disponibilidad de herramientas de análisis

geográfico en línea y la orientación a usuarios no expertos proporcionaron un modelo a seguir para construir una plataforma de sondeos geofísicos accesible y funcional, adaptada eso sí al contexto específico de los datos del proyecto. En resumen, el caso de iSTAR demuestra las ventajas de un geoportal bien estructurado y sirvió de **guía tecnológica** y conceptual para la presente iniciativa.

1.3.2 Trabajo de Arthur Zizumbo

Otro caso de estudio relevante es el **trabajo de tesis de Arthur Jafed Zizumbo Velasco (2016)** titulado *“Implementación de una interfaz SIG web para el despliegue del pronóstico meteorológico”*. [Zizumbo Velasco] Esta es una tesis de licenciatura presentada en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en la especialidad de Ingeniería Geomática. En dicho trabajo, Zizumbo desarrolla una aplicación web GIS diseñada para **visualizar pronósticos meteorológicos** de forma interactiva, abordando el desafío de integrar datos científicos (modelos atmosféricos) en un entorno accesible para usuarios finales. Su contenido abarca tanto la construcción de la interfaz cartográfica como la infraestructura necesaria para gestionar y servir los datos meteorológicos en la web.

El proyecto de Zizumbo se enfoca en desplegar en un mapa web las salidas de un modelo numérico de pronóstico (específicamente el modelo WRF) mediante una interfaz SIG personalizada. Para lograrlo, emplea igualmente un enfoque de **software libre** y estándares abiertos, muy en línea con el caso iSTAR. La arquitectura implementada incluye un servidor web Java (Apache Tomcat) combinado con **GeoServer** como servidor de mapas para publicar las capas de información geoespacial. Además, hace uso de **OWGIS**, una librería o framework especializado que facilita la creación de visores GIS web para datos oceanográficos/atmosféricos, integrando funcionalidades avanzadas para manejar formatos científicos. Los datos de pronóstico meteorológico (archivos de salida del modelo WRF) son procesados y convertidos a formatos adecuados mediante herramientas como **NCO** (Operators para NetCDF) y **NCL** (NCAR Command Language), para luego ser servidos a través de servicios OGC como **WMS**. En particular, la tesis menciona la utilización de **WMS**, un componente para publicar datos en formato NetCDF vía *Web Map Service*. Gracias a esta configuración, el sistema puede mostrar variables meteorológicas (por ejemplo, temperatura, viento, precipitación) sobre un mapa interactivo, permitiendo al usuario consultar diferentes capas, animar la evolución temporal del pronóstico, y cambiar entre dominios o regiones de visualización.

La **relación con el proyecto** del usuario es directa: al igual que el programa de sondeos geofísicos de este trabajo profesional, el trabajo de Zizumbo demuestra cómo implementar un SIG web especializado que pone a disposición datos científicos complejos de manera gráfica e intuitiva. Ambos proyectos comparten desafíos similares, como el manejo de grandes volúmenes de datos, la necesidad de transformar resultados numéricos en capas geográficas visualizables, y la importancia de una interfaz amigable para interpretar la información. En el caso de Zizumbo, la solución adoptada validó el uso de herramientas abiertas (GeoServer, estándares OGC, bibliotecas JavaScript) para crear aplicaciones geoespaciales interactivas, algo que el proyecto de sondeos geofísicos también busca conseguir. Por tanto, esta tesis aporta un precedente valioso pues muestra la factibilidad de integrar datos técnicos (modelos de pronóstico) en un Geoportal, brindando ideas sobre la arquitectura de software y los flujos de trabajo que han orientado el desarrollo del sistema descrito en el informe. En concreto, conceptos como la separación por capas (procesamiento de datos contra la visualización), el uso de servicios web de mapas para distribuir la información, y la

adaptación de la interfaz a un público no especialista, son aprendizajes transferibles del trabajo de Zizumbo al proyecto actual.

1.3.3 Otros Geoportales de Sondeos Geofísicos

Adicionalmente, se investigaron otros Geoportales enfocados en **sondeos geofísicos** para comparar enfoques y ampliar el contexto. En España, por ejemplo, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ofrece el *Catálogo de Sondeos*, un visor cartográfico con información sintetizada de más de **8,000 sondeos de investigación hidrogeológica y geotécnica** realizados en el territorio.[15] Este portal permite consultar la ubicación de cada sondeo (perforación) y acceder a datos asociados, junto con más de 2,000 informes técnicos que documentan los resultados y análisis de dichos estudios. Si bien se trata principalmente de sondeos de perforación (registro de subsuelo con obtención de testigos), es un referente de cómo una institución pública gestiona y difunde información de subsuelo de forma abierta, mediante servicios web de mapas (el catálogo provee sus datos en formatos GIS como shapefiles y servicios WMS). Esto resulta análogo al objetivo de un Geoportal de sondeos geofísicos, en el sentido de compilar datos distribuidos de exploración del subsuelo y presentarlos geográficamente para consulta pública.

Por su parte, en Latinoamérica destaca el caso del **Servicio Geológico Colombiano (SGC)**, que dispone de un Geoportal especializado en datos de **geofísica aplicada**. En particular, el SGC ha integrado en su plataforma geotérmica capas de diversas prospecciones geofísicas, incluyendo **sondeos eléctricos verticales (SEV)**, mediciones gravimétricas, sondeos electromagnéticos transitorios (TEM), estaciones magnetotelúricas, entre otros métodos de exploración. [16] Estas capas georreferenciadas permiten visualizar la distribución espacial de puntos de medición geofísica y sus resultados, sirviendo como una herramienta para investigadores y planificadores en recursos geotérmicos. El Geoportal colombiano está construido sobre tecnología ArcGIS Server, presentando los datos a través de servicios REST/JSON y mapas interactivos en línea. Su existencia demuestra que los **sondeos geofísicos** (en varias técnicas) pueden ser centralizados en una plataforma web para facilitar su análisis conjunto y comparación con otras capas geológicas o geográficas.

A nivel internacional, existen también iniciativas similares. Por ejemplo, en Estados Unidos el Servicio Geológico (USGS) y entidades estatales cuentan con portales de datos geofísicos; uno de ellos es el *Geophysics Portal* del estado de Minnesota, que funge como puerta de acceso a datos aerogeofísicos (aeromagnetismo, gravimetría, propiedades de rocas y sísmica pasiva, entre otros) a través de un sitio web abierto. [17] Asimismo, la División de Geología y Estudios Geofísicos de Alaska dispone de un mapa web interactivo donde es posible filtrar y visualizar información de múltiples levantamientos geofísicos realizados en ese estado, junto con sus productos ráster asociados.[18] Estos ejemplos internacionales confirman la tendencia y la importancia de contar con Geoportales especializados para distintos tipos de datos geocientíficos. Cada portal está adaptado a las particularidades de sus datos (ya sean sondeos eléctricos o perforaciones), pero comparten la meta común de **democratizar el acceso** a la información del subsuelo a través de herramientas SIG en línea.

En conclusión, la revisión de estos casos de estudio tanto el Geoportal iSTAR como la tesis de Arthur Zizumbo, junto con otras plataformas afines proporciona un **marco comparativo** valioso. Permite identificar buenas prácticas (uso de software libre, cumplimiento de estándares, diseño centrado en el usuario) y considerar características deseables en un Geoportal de sondeos geofísicos. Estas referencias guían la justificación y las decisiones de implementación del proyecto descrito en el trabajo profesional, evidenciando cómo se inserta en un contexto más amplio de iniciativas dedicadas a la gestión y visualización de información geoespacial especializada.

1.4 Aplicación del SIG en la Geotecnia y Geofísica

La geotecnia y la geofísica son disciplinas fundamentales en la ingeniería civil, la minería, la construcción de infraestructuras y la exploración de recursos naturales. Ambas áreas se apoyan en el análisis detallado de las propiedades físicas del suelo y del subsuelo para la planificación y ejecución de proyectos de gran envergadura. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han surgido como una herramienta esencial para la gestión, análisis y visualización en conjunto con datos geoespaciales.

Los SIG permiten a los profesionales en geotecnia y geofísica trabajar con grandes volúmenes de datos georreferenciados, facilitando la integración de información procedente de múltiples fuentes, como sondeos, estudios del terreno y mediciones geofísicas. Esta capacidad de unificar y analizar datos espaciales en un único sistema ha revolucionado la forma en que se abordan los estudios del terreno y los análisis de subsuelo, mejorando significativamente la precisión y eficiencia en la toma de decisiones.

En áreas donde el diseño de infraestructuras o la evaluación de riesgos geotécnicos son clave, los SIG podrían proporcionar una plataforma robusta para visualizar tanto datos de superficie como modelos tridimensionales del subsuelo, lo que permite a los profesionales identificar con mayor claridad las características del terreno y las posibles zonas de riesgo o de oportunidad.

En la planificación de proyectos de infraestructura civil, como la construcción de puentes, túneles y edificios, se utiliza SIG para analizar la composición y la estabilidad del suelo. Por ejemplo, en el proyecto de construcción de un nuevo puente, se pueden realizar estudios geotécnicos para evaluar la resistencia del suelo y determinar la profundidad de los cimientos. Aquí los SIG permiten visualizar los datos de sondeos y ensayos de resistencia de forma geoespacial, lo cual ayuda a los ingenieros estructuristas y Arquitectos a diseñar estructuras eficazmente.

También pueden ayudar a evaluar el riesgo de deslizamientos de tierra en áreas montañosas o con pendiente pronunciada. En proyectos de urbanización en regiones propensas a deslizamientos, como en ciertas áreas de América Latina, los SIG pueden integrar datos topográficos, meteorológicos y geológicos para crear modelos de riesgo. Estos modelos ayudan a identificar zonas vulnerables y a planificar medidas de mitigación, como la construcción de drenajes o muros de contención.

Otra rama de aplicación del SIG es la minería y la exploración de recursos naturales, los SIG se pueden usar para analizar la geología de un área y localizar depósitos minerales. Por ejemplo, en la búsqueda de petróleo y gas, se utilizan datos sísmicos y geológicos integrados en un SIG para crear

mapas de substitution que ayudan a identificar lugares con alto potencial de recursos. Esta información es vital para la planificación de perforaciones y la evaluación de la viabilidad de proyectos mineros.

Son muchas y muy diversas las aplicaciones de los SIG, en el proyecto **Wakah K'an** se implementaron tecnologías que ayuden, no solo para almacenar y visualizar los datos de los sondeos geotécnicos, sino también para facilitar la interpretación de los resultados en un entorno accesible y fácil de usar.

En el proyecto **Wakah K'an** se ubican sondeos de penetración estándar (SPT), ensayos presiométricos, técnicas de sondeos geofísicos de método eléctrico, entre otros métodos.

Debido a las características geológicas del Valle de México, la mecánica de suelos ha tenido un considerable desarrollo en nuestro país en las últimas décadas. Su aplicación en el análisis de terrenos que soportan obras de muy diversa índole como edificios importantes, obras de drenaje, vialidades, puertos y el metro de la ciudad de México ha permitido desarrollar métodos de análisis, exploración y muestreo cada vez más eficientes. Es por ello que resulta enriquecedor contar con una aplicación capaz de brindar un análisis eficiente y espacial de los sondeos geotécnicos.

1.5 Almacenamiento y Visualización de Datos Geoespaciales

Los subsistemas de almacenamiento y visualización de datos geoespaciales constituyen la columna vertebral de cualquier Sistema de Información Geográfica (SIG). Estos componentes son esenciales para gestionar de manera eficiente grandes volúmenes de datos y para transformar datos crudos en información procesable, permitiendo así el análisis detallado y la toma de decisiones informadas en proyectos complejos.

1.5.1 Almacenamiento de Datos Geoespaciales

Este subsistema se encarga de guardar y organizar datos espaciales y atributos asociados de forma que se garantice su integridad y accesibilidad. Utilizando la extensión espacial PostGIS en PostgreSQL, se pueden almacenar diferentes tipos de datos vectoriales, ráster y tabulares en una base de datos centralizada. Esto permite ejecutar consultas espaciales complejas, por ejemplo, identificación de intersecciones, cálculos de distancias y análisis de proximidad y optimizar el rendimiento mediante índices espaciales como GiST o R-Tree. En particular, la creación de tablas espaciales con columnas del tipo geometry, la habilitación de la base de datos espacial mediante extensiones, y la correcta administración de índices y funciones espaciales son fundamentales para el buen desempeño y escalabilidad del sistema [24]. La estructura de datos definida en el modelo entidad-relación (ver figura 2.3) mantiene la coherencia y facilita futuras ampliaciones e integración de nuevos datos.

1.5.2 Visualización de Datos Geoespaciales

La visualización es clave para interpretar y analizar la información almacenada. A través de herramientas y tecnologías como GeoServer y bibliotecas de JavaScript (como OpenLayers o Mapbox), se pueden generar mapas interactivos que permitan a los usuarios explorar y analizar los datos en tiempo real. Este subsistema no solo presenta la información de forma gráfica y comprensible, sino que también permite la superposición de múltiples capas, la realización de análisis visuales y la generación de reportes que sintetizan la información para la toma de decisiones. La integración de técnicas de visualización interactiva mejora la experiencia del usuario, facilitando la identificación de patrones y tendencias, y permitiendo un análisis contextual de los datos geoespaciales.

Según la Guía práctica para la publicación de datos espaciales, [25] la correcta visualización y publicación de información geoespacial requiere el uso de estándares abiertos y herramientas interoperables como GeoServer, GDAL o bibliotecas JavaScript geoespaciales que garanticen la accesibilidad, comprensión y reutilización de los datos. En conjunto, los subsistemas de almacenamiento y visualización de datos geoespaciales aseguran que la información, desde su recolección hasta su presentación, se gestione de forma eficiente y precisa, contribuyendo al éxito de los proyectos basados en SIG. Esta robusta infraestructura de datos fortalece el análisis espacial y favorece la toma de decisiones más informadas y estratégicas en el ámbito de la planificación y gestión de recursos.

1.6 Tecnologías Usadas

En el desarrollo de la aplicación para la gestión, almacenamiento y visualización geoespacial de los sondeos geotécnicos y geofísicos, se ha optado por utilizar una serie de tecnologías open source que proporcionan flexibilidad, escalabilidad y eficiencia en la manipulación de datos. La elección de estas herramientas responde a la necesidad de trabajar con grandes volúmenes de datos y ofrecer acceso a usuarios en diferentes ubicaciones geográficas.

A continuación, se describen las principales tecnologías empleadas por capas:

1.6.1 Almacenamiento

PostGIS: Es la extensión que PostgreSQL ofrece para manejar objetos geográficos, permitiendo realizar consultas espaciales eficientes. Es una pieza clave en el sistema de información geográfica (SIG), ya que facilita el almacenamiento, gestión y análisis de datos geoespaciales. PostGIS permite manejar sondeos geotécnicos y geofísicos representados en formato vectorial, realizar consultas espaciales complejas y generar representaciones gráficas de las estructuras y elementos del terreno. Su capacidad para realizar operaciones geométricas y su integración con otros sistemas lo hacen ideal para este tipo de proyectos.

1.6.2 BackEnd

GeoServer: Es una plataforma de publicación de datos geoespaciales, que permite compartir y visualizar datos espaciales en diversos formatos y a través de protocolos estándar como Web Map Service (WMS) y Web Feature Service (WFS). En este proyecto, GeoServer actúa como el servidor de mapas que conecta la base de datos PostGIS con la interfaz de usuario. Proporciona una capa intermedia que facilita la visualización de los datos geoespaciales en navegadores web y garantiza la interoperabilidad con otras aplicaciones SIG. La capacidad de GeoServer para manejar datos rasterizados y vectoriales en múltiples formatos garantiza una representación precisa de los sondeos y análisis geotécnicos.

Node.js: Node.js es un entorno de ejecución de JavaScript orientado al desarrollo de aplicaciones del lado del servidor. Para este proyecto, Node.js se utiliza como backend para gestionar la comunicación entre la base de datos, el servidor GeoServer y la interfaz web. Su capacidad para manejar peticiones de manera eficiente y en tiempo real lo convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieren el acceso constante a datos geoespaciales. Además, Node.js facilita el desarrollo de servicios API que permiten la integración con otras herramientas y sistemas externos en un futuro.

PM2: Este es un gestor de procesos para aplicaciones desarrolladas con Node.js, se encarga de mantener el sistema en ejecución de manera continua, reiniciando automáticamente la aplicación en caso de fallos y permitiendo un despliegue continuo. En este proyecto, PM2 asegura que la aplicación esté disponible en todo momento, sin interrupciones en el servicio, lo que es crítico para la gestión de datos en tiempo real.

1.6.3 FrontEnd

OpenLayers: Esta es una biblioteca de JavaScript que facilita la visualización y navegación de mapas interactivos en aplicaciones web. En este proyecto, OpenLayers permite a los usuarios acceder y visualizar los datos de sondeos en tiempo real, interactuando con el mapa para realizar mediciones, visualizar información detallada de cada sondeo y generar análisis específicos según las necesidades del usuario. Esta tecnología proporciona una interfaz gráfica amigable y altamente personalizable, permitiendo a los usuarios manipular los datos geoespaciales sin necesidad de software adicional.

Bootstrap: Bootstrap es un framework de diseño FrontEnd que facilita la creación de interfaces web responsivas y accesibles. En este proyecto, Bootstrap se emplea para construir la interfaz de usuario (frontend), asegurando que la aplicación sea visualmente atractiva y fácil de usar en distintos dispositivos, desde ordenadores de escritorio hasta teléfonos móviles. Su integración con OpenLayers permite una visualización clara y ordenada de los datos geoespaciales, mejorando la experiencia del usuario.

El desarrollo de geoportales se apoya en un **ecosistema tecnológico específico** del ámbito geoespacial, que abarca estándares abiertos, formatos de datos especializados y software GIS tanto comercial como de código abierto. A continuación, se resumen las tecnologías y estándares más relevantes:

1.6.4 Estándares OGC para Geoservicios:

Para garantizar que un geoportal o visor SIG pueda interactuar con distintos servidores de mapas, se emplean los estándares del Open Geospatial Consortium (OGC). Los más usados son:

- **WMS (Web Map Service):** Estándar para servicios web que generan mapas georreferenciados de manera dinámica a partir de información geoespacial. Permite que un geoportal o visor SIG muestre mapas de distintos servidores sin necesidad de acceder directamente a los datos subyacentes. Los mapas producidos pueden estar en formatos ráster (PNG, JPEG, GIF) o vectoriales (SVG, WebCGM) [13]. Este estándar está definido por ISO 19128:2005, que asegura interoperabilidad y consistencia entre distintos servicios de mapas web [26].
- **WFS (Web Feature Service):** Servicio para acceder a *entidades vectoriales* (features) con sus geometrías y atributos vía web.[19] A diferencia de WMS, aquí el cliente obtiene datos vectoriales (por ejemplo en GML, GeoJSON, Shapefile) que puede analizar o descargar. Un WFS permite consultas espaciales (p. ej., “dame los predios dentro de este polígono”) y obtener la data para GIS de escritorio o análisis [13]. Este estándar está alineado con ISO 19142:2010 [27].
- **WCS (Web Coverage Service):** Estándar para servicios de catálogo de metadatos. Permite que un geoportal ofrezca búsquedas de conjuntos de datos geoespaciales a través de metadatos normalizados (frecuentemente utilizando el estándar ISO 19115) [28]. Muchos portales IDE implementan catálogos CSW para interoperar con redes amplias. Este estándar OGC-CSW tiene un perfil común llamado ISO Metadata Application Profile. [13]
- **CSW (Catalog Service for the Web):** Estándar para servicios de catálogo de metadatos. Permite que un geoportal ofrezca búsquedas de conjuntos de datos geoespaciales a través de metadatos normalizados (frecuentemente utilizando el estándar ISO 19115) [29]. Muchos portales IDE implementan catálogos CSW para interoperar con redes amplias. Este estándar OGC-CSW tiene un perfil común llamado ISO Metadata Application Profile. [13]

Estos son algunos estándares que garantizan que un visor web pueda consumir capas de distintos orígenes sin importar la tecnología o plataforma utilizada en el servidor, fomentando la interoperabilidad. Por ejemplo, el geoportal IDE de Costa Rica expone sus mapas mediante servicios OGC para asegurar acceso unificado sin importar la herramienta cliente [19].

Capítulo 2

Descripción del Sistema “Wakah K'an”

El proyecto **Wakah K'an** se nutre de las capacidades avanzadas de los SIG, utilizando su potencial para integrar, gestionar y visualizar grandes volúmenes de datos geoespaciales provenientes de sondeos geotécnicos y geofísicos. Gracias a las tecnologías implementadas, este sistema no solo almacena información crucial para proyectos de infraestructura, sino que también facilita su análisis y modelado, proporcionando una herramienta esencial para optimizar la planificación y ejecución de obras. De este modo, **Wakah K'an** representa un ejemplo claro de cómo los SIG pueden aplicarse para resolver problemas específicos en la gestión de datos espaciales, potenciando la eficiencia y precisión en la toma de decisiones dentro de las áreas de geotecnia y estructuras.

2.1 Definición y Alcance del Sistema

De acuerdo con el trabajo del Consejo de Información y Tecnología Geoespacial (CITGeo) desarrollado para el Instituto Mexicano del Transporte, un geoportal puede entenderse como un portal web que emplea el geoposicionamiento y la navegación por mapas para acceder y mostrar información geográfica, así como para ofrecer servicios asociados como visualización, edición y análisis a través de Internet [32].

El nombre “**Wakah K'an**” tiene raíces en la cultura Maya y hace referencia a la vía láctea y al árbol cósmico, elemento central en la cosmovisión mesoamericana. Según estudios etnoastronómicos, los mayas concebían el cosmos como un árbol central que conectaba los cielos, la tierra y el inframundo, conocido también como el “árbol del mundo” o “Yaxché”, cuya copa se extendía hacia el cielo y sus raíces hacia el inframundo. [Aveni]

Lingüísticamente, el término proviene de la lengua Quiché, donde “**wak**” puede interpretarse como “*erguido*” o “árbol”, y “**k'an**” como “serpiente” o “cielo” [Barrera Vásquez]. Así, “**Wakah K'an**” puede traducirse como “el árbol cósmico”, simbolizando la conexión entre los distintos planos del universo. Esta representación cosmológica refleja orden, interconexión y flujo de energía, conceptos que pueden relacionarse con la estructura de un geoportal: diversas capas y fuentes de datos interconectadas que forman un sistema integral de información.

Elegir este nombre para un geoportal no solo subraya la estructura interconectada de la información geoespacial, sino que también rinde homenaje a los mayas como maestros de la astronomía, la geometría y la observación del entorno, quienes comprendieron cómo los cuerpos celestes y la tierra se relacionan mediante patrones complejos y ordenados. Por lo tanto, “**Wakah K'an**” no es solo un nombre simbólico, sino un puente conceptual que une la sabiduría ancestral maya con las tecnologías modernas de gestión de información geográfica.

La plataforma "**Wakah K'an**" está diseñada para gestionar, almacenar y visualizar datos geoespaciales provenientes de sondeos geotécnicos y geofísicos soportado por una app que se ejecuta en un servidor WEB. La plataforma facilita el análisis espacial y la integración de información técnica para la planificación de proyectos de infraestructura y geotecnia.

El sistema tiene aplicaciones en diversas áreas, incluyendo la geotecnia, la geofísica y la planificación de infraestructura, siendo una herramienta valiosa para la toma de decisiones informadas en proyectos de ingeniería civil.

2.1.1 Alcances del Sistema:

Gestión integral de datos geotécnicos y geofísicos: incluye la capacidad de almacenar y manipular datos (sondeos) en una base de datos especializada (PostGIS), permitiendo su consulta y análisis por los usuarios.

Visualización de información geoespacial: a través de un entorno interactivo que permite a los usuarios explorar datos en mapas dinámicos con múltiples capas, mejorando la comprensión del contexto geológico y estructural de cada proyecto.

Herramientas de análisis geoespacial: Se incluyeron herramientas que permiten realizar análisis espaciales como la generación de isolíneas para mediciones de distancia y polígonos para cálculos volumétricos.

Interoperabilidad: GeoServer implementa estándares internacionales del Open Geospatial Consortium (OGC), incluyendo WMS (Web Map Service) y WFS (Web Feature Service), lo que permite que sus datos y servicios se integren fácilmente con otras plataformas SIG y bases de datos externas. Según el manual oficial de GeoServer [33], esta compatibilidad con estándares abiertos garantiza que diferentes clientes y aplicaciones puedan acceder y consumir los datos de manera consistente, sin depender de la tecnología subyacente del servidor.

2.1.2 Límites del Sistema:

Sondeos sin soporte: El sistema puede almacenar cualquier tipo de sondeo geotécnico o geofísico siempre y cuando se proporcione un conjunto mínimo de atributos obligatorios:

- Ubicación geográfica (X, Y, Z): coordenadas espaciales del punto de sondeo.
- Profundidad: valor numérico que determina el alcance vertical del sondeo.
- Tipo de sondeo (nombre): clasificación o denominación del método empleado (ej. penetrómetro, eléctrico, mecánico).

Los sondeos que no cumplen con estos campos básicos no pueden ser cargados en la base de datos. Por tanto, se requiere que la información esté previamente estandarizada para garantizar su correcta integración y posterior consulta en el sistema.

Análisis geoespaciales complejos: Aunque el sistema permite consultas y operaciones espaciales básicas (mediciones de distancia y áreas generando polígonos), análisis más avanzados como modelado 3D de subsuelo, simulaciones hidrológicas o análisis predictivos requieren software especializado externo.

Carga y actualización manual de datos: La incorporación, modificación y eliminación de proyectos, sondeos y estructuras todavía se realiza con herramientas externas (QGIS o pgAdmin), lo cual limita la autonomía de los usuarios finales. En fases posteriores se contempla un módulo CRUD integrado.

Acceso y control de usuarios: El sistema aún no cuenta con un esquema de autenticación y permisos, lo que restringe la posibilidad de diferenciar roles (administradores, editores, consultores). Esto puede limitar su implementación en entornos colaborativos más amplios.

Dependencia de infraestructura local: El desempeño del sistema depende de la capacidad del servidor en uso. Escenarios de alta demanda o usuarios concurrentes podrían requerir ajustes en hardware o migración hacia soluciones en la nube.

2.2 Arquitectura del Sistema

La arquitectura de **Wakah K'an** es una solución **cliente-servidor, multicapa y orientada a servicios**, lo que permite gestionar y procesar datos geoespaciales de forma eficiente, escalable y accesible para distintos usuarios a través de un navegador, vea la figura 2.01. Este enfoque combina características de varios paradigmas arquitectónicos:

- **Modelo cliente - servidor:** En la arquitectura cliente-servidor, los clientes (navegadores) envían solicitudes al servidor para obtener y manipular datos. En **Wakah K'an**, el servidor maneja todas las solicitudes de acceso a datos y procesamiento geoespacial, facilitando así una infraestructura centralizada que simplifica el mantenimiento, mejora la seguridad y permite el control del acceso a la información.
- **Arquitectura de Múltiples capas:** La estructura de **Wakah K'an** se organiza en varias capas especializadas que trabajan en conjunto para procesar y presentar la información geoespacial.
- **Arquitectura orientada a servicios (SOA):** Se basa también en principios de la arquitectura orientada a servicios, donde cada componente clave (como PostGIS y GeoServer) proporciona servicios específicos que pueden ser consumidos independientemente por otras partes del sistema

2.2.1 Capa de Datos (PostGIS)

Los datos del Geoportal se administrarán con PostgreSQL, pues como ya se mencionó, permite el almacenamiento y consulta de datos espaciales. En esta capa se almacenan las geometrías, por ejemplo, en el caso de los sondeos, está el punto y sus especificaciones (profundidad, tipo de suelo, ubicación, etc.). PostGIS es responsable de realizar operaciones espaciales y consultas complejas

que permiten obtener información detallada de los sondeos y de las relaciones espaciales entre los elementos.

2.2.2 Capa de Publicación de Servicios (GeoServer)

GeoServer actúa como el servidor de mapas, proporcionando la capa de publicación de servicios geoespaciales. Mediante GeoServer, se expone la información geoespacial almacenada en PostGIS a través de protocolos como WMS (Web Map Service) y WFS (Web Feature Service), permitiendo a los usuarios acceder y visualizar los datos de manera interactiva.

2.2.3 Capa de Aplicación (Node.js)

Node.js es el motor del backend que gestiona la lógica del sistema y maneja las solicitudes de los usuarios. Esta capa se encarga de la gestión y actualización de datos geoespaciales. Facilita la comunicación entre GeoServer y la base de datos, asegurando que las solicitudes del cliente sean procesadas de manera eficiente.

2.2.4 Capa de Presentación (OpenLayers, Bootstrap y CSS)

La interfaz gráfica de usuario está construida con OpenLayers, una biblioteca de JavaScript que permite la visualización de mapas interactivos directamente en el navegador web. Los usuarios pueden navegar por los mapas, interactuar con las diferentes capas geoespaciales y acceder a información detallada de los sondeos.

El diseño visual del sistema está apoyado en Bootstrap y CSS, lo que asegura que la interfaz sea responsive y adaptable a diferentes dispositivos (escritorio, móvil, tablet), proporcionando una experiencia de usuario amigable.

2.2.5 Capa de Monitorización y Mantenimiento (PM2)

El despliegue y la monitorización del sistema se gestionan con PM2, un gestor de procesos que garantiza que el sistema esté siempre disponible y funcionando correctamente, permitiendo reiniciar los servicios eficazmente en caso de fallos y facilitando el mantenimiento continuo. PM2, desarrollado por Alexandre Strzelewicz, es una herramienta de código abierto creada para aplicaciones Node.js, ampliamente utilizada para asegurar la disponibilidad y estabilidad en entornos de producción.

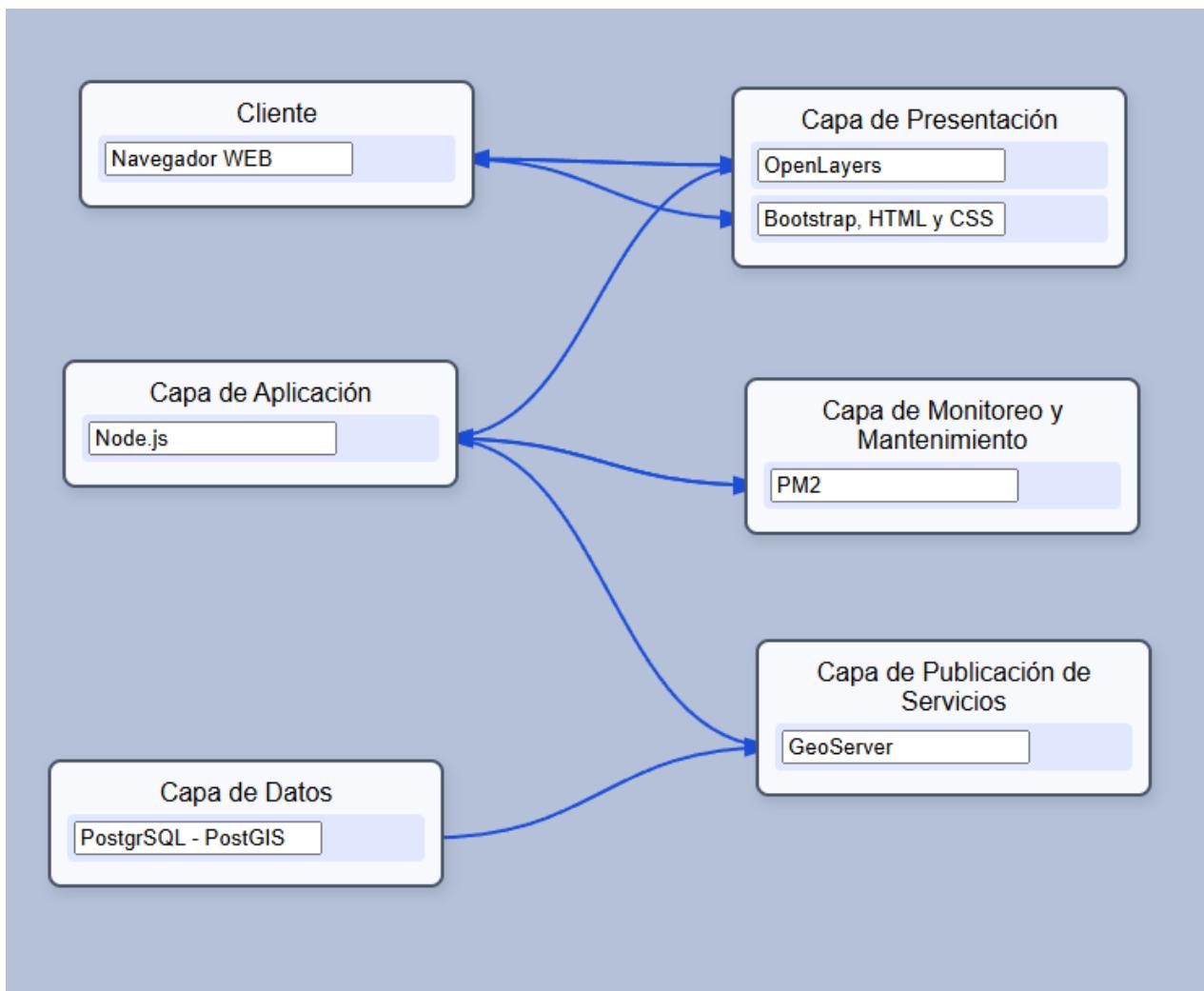


Figura 2.0.1 – Descripción ilustrativa de la unión entre las capas de la Arquitectura del sistema.

2.2.5 Servicios de Datos Geoespaciales

Al momento de utilizar PostGIS para almacenar y procesar los datos espaciales, se abre la posibilidad de usar GeoServer para publicar estos datos mediante servicios web. De modo que otras aplicaciones o usuarios pueden consumir estos servicios de manera independiente, lo que facilita la interoperabilidad y la escalabilidad del proyecto.

2.2.6 Servicios de Mapas Web

Los servicios de GeoServer (WMS y WFS) permiten exponer los datos en formatos estándares abiertos, lo que posibilita que los clientes accedan a mapas y datos geoespaciales sin necesidad de conectarse directamente a la base de datos. Esto mejora la seguridad, facilita la distribución de los

datos y asegura la interoperabilidad con distintas aplicaciones cliente, incluyendo OpenLayers y otros visores web.

La elección de GeoServer se fundamenta en varios criterios:

Experiencia previa y alineación metodológica: La arquitectura se basa en la metodología desarrollada por el laboratorio internacional de tecnología e investigación espacial iSTAR, conformado por el grupo de investigación GITS de la UNAM y el CGST de CSUN. La experiencia de iSTAR en el proyecto “Geoportal Fronterizo” evidenció que GeoServer permite integrar eficientemente los distintos componentes de un geoportal, optimizando el flujo de datos y la escalabilidad del sistema.

Compatibilidad y estándares abiertos: GeoServer soporta WMS, WFS y WCS, lo que garantiza la compatibilidad con múltiples clientes y herramientas de visualización geoespacial [33]. Esto es crítico para garantizar que el geoportal Wakah K'an pueda ser utilizado por distintos usuarios sin depender de software propietario. Según la Open Geospatial Consortium (OGC), los estándares como WMS, WFS y WCS permiten la interoperabilidad entre servicios geoespaciales por ello fomentan la reutilización de datos [28], [30] y [31].

Rendimiento y escalabilidad: GeoServer maneja grandes volúmenes de datos geoespaciales de manera eficiente y permite configurar cachés y servicios distribuidos, algo esencial para un sistema con múltiples capas y consultas en tiempo real [33].

Elección frente a QGIS Server u otros: QGIS Server es potente para publicar proyectos de QGIS directamente, pero depende de que los proyectos se mantengan dentro del ecosistema QGIS y su integración con aplicaciones web puede ser más limitada [34]. Otros servidores (como MapServer o ArcGIS Server) presentan desafíos similares; algunos requieren licencias comerciales o carecen de integración directa con herramientas de frontend modernas como OpenLayers.

Por estas razones, GeoServer es la solución más equilibrada entre código abierto, cumplimiento de estándares, rendimiento y facilidad de integración, alineándose con las metodologías propuestas por iSTAR [14], asegurando un geoportal escalable, seguro y eficiente.

2.3 Funcionalidades Principales

El sistema **Wakah K'an** cuenta con una serie de funcionalidades que permiten gestionar, visualizar y analizar datos geoespaciales de manera eficiente, ver figura 2.0.2. A continuación, se describen las principales:

Gestión de Sondeos: Una de las funcionalidades clave es la gestión de los sondeos geotécnicos y geofísicos. Los usuarios pueden agregar nuevos sondeos, actualizar información existente, y eliminar datos obsoletos. La información de cada sondeo incluye coordenadas espaciales, profundidad, tipo de suelo, características geológicas y cualquier otro dato relevante. Estos datos se almacenan en PostGIS, permitiendo consultas espaciales y análisis avanzados.

Visualización de Mapas Interactivos: El sistema permite visualizar los sondeos sobre un mapa interactivo a través de la plataforma OpenLayers. Los usuarios pueden navegar por los mapas, hacer zoom en áreas específicas, activar y desactivar capas de información, y acceder a los detalles de cada sondeo haciendo clic en los puntos correspondientes en el mapa. Además, el sistema soporta la superposición de diferentes capas geográficas, lo que permite visualizar tanto la información de los sondeos como otras capas relevantes (hidrología, topografía, etc.).

Ánálisis Geoespacial: Wakah K'an permite realizar análisis geoespaciales complejos, como mediciones de distancia, cálculo de áreas y análisis de proximidad entre los sondeos y otros elementos geográficos como cuerpos de agua, localidades y las obras de infraestructura elaboradas. Los usuarios pueden seleccionar áreas de interés y generar reportes con información detallada sobre los sondeos y sus características.

Exportación e Importación de Datos: El sistema facilita la importación y exportación de datos geoespaciales en formatos estándar, como Shapefiles, GeoJSON y KML. Esta funcionalidad permite integrar datos externos al sistema, así como exportar los resultados de los análisis para utilizarlos en otras plataformas o en informes técnicos.

Generación de Reportes: Los usuarios pueden generar reportes personalizados con información detallada sobre los sondeos y los análisis realizados. Estos reportes incluyen una impresión del mapa consultado y también puede contener los datos geoespaciales consultados.

Con estas funcionalidades, Wakah K'an se convierte en una herramienta integral para la gestión y análisis de datos geoespaciales en proyectos de geotecnia y geofísica, facilitando la planificación y la ejecución de proyectos.

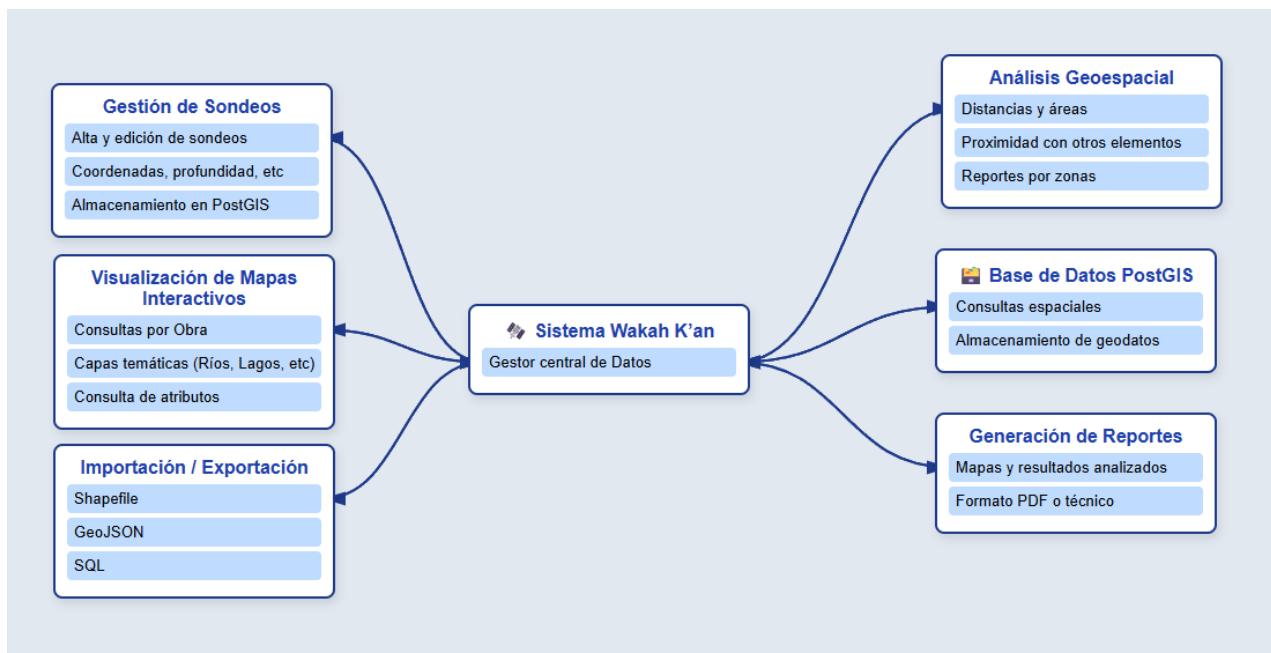


Figura 2.0.2 – Diagrama que muestra las funciones que tiene el programa.

Capítulo 3

Desarrollo del Sistema

A diferencia de las soluciones tradicionales como QGIS Desktop, ampliamente utilizada en el ámbito geoespacial, **Wakah K'an** fue diseñado aprovechando una gama de tecnologías web open source, incluyendo OpenLayers, PostGIS, GeoServer, y Node.js. Estas herramientas permiten una mayor flexibilidad, escalabilidad y acceso remoto a través de navegadores, creando un sistema personalizado que no solo gestiona datos geoespaciales, sino que también facilita la visualización y manipulación de estos datos sin la necesidad de software adicional en el usuario final. La comunidad activa de desarrolladores y la mejora continua de estas tecnologías open source hicieron posible implementar un sistema eficiente y robusto, adaptable a las necesidades específicas de los usuarios y accesible para múltiples colaboradores en tiempo real. Este enfoque demuestra que el uso de tecnologías web abiertas (open source) son un camino viable y flexible para el desarrollo de soluciones innovadoras y accesibles en el ámbito de los sistemas de información geográfica (SIG).

En **Wakah K'an**, se implementó una arquitectura robusta de almacenamiento basada en bases de datos espaciales, específicamente PostGIS, que ofrece funcionalidades avanzadas para la manipulación de datos geoespaciales. Esto permite almacenar información relevante de sondeos geotécnicos y geofísicos, como localizaciones, características del terreno y resultados de análisis, organizados en tablas estructuradas que optimizan el acceso y la consulta de datos, y aseguran la capacidad de crecimiento del sistema a largo plazo. Las tablas en PostGIS contienen coordenadas geográficas y atributos descriptivos (tipo de suelo, profundidad de perforación, resultados de pruebas), facilitando el acceso eficiente y rápido a los datos para el análisis y la toma de decisiones.

La visualización de estos datos es igualmente fundamental para el éxito del proyecto. A través de OpenLayers, se desarrollaron mapas interactivos que permiten a los usuarios explorar los datos de sondeos geotécnicos de manera intuitiva. La interactividad en la visualización no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también permite superponer diferentes capas de información, como las características geológicas y los límites de los proyectos, ofreciendo una representación integral del entorno geoespacial. La posibilidad de realizar mediciones, identificar proximidades y visualizar capas de riesgo mejora la eficiencia en la toma de decisiones.

La capacidad de visualizar y manipular datos geoespaciales permite a los ingenieros y planificadores tomar decisiones informadas basadas en el análisis contextual del terreno. El sistema facilita la identificación de patrones y tendencias cruciales para el éxito de los proyectos. Por ejemplo, al observar la distribución de tipos de suelo y propiedades geotécnicas, los ingenieros pueden ajustar el diseño de estructuras o las metodologías de construcción en función de los factores del terreno, optimizando la seguridad y la sostenibilidad del proyecto.

3.1 Requerimientos Técnicos

Para implementar el sistema "**Wakah K'an**", fue necesario establecer una infraestructura técnica adecuada que permita el funcionamiento eficiente y escalable de sus componentes. A continuación, se describen los requerimientos técnicos que se consideran esenciales para el desarrollo y despliegue de este sistema.

3.1.1 Requerimientos de Hardware

El rendimiento del sistema depende de una infraestructura de hardware que soporte las operaciones de almacenamiento, procesamiento y visualización de datos geoespaciales en tiempo real. Los siguientes son los requerimientos mínimos y recomendados:

- **Servidor de Base de Datos (PostGIS)**
 - *CPU*: Procesador de 4 núcleos mínimo; 8 núcleos recomendados para optimizar consultas espaciales.
 - *RAM*: 8 GB como mínimo; 16 GB o más recomendado para manejar grandes volúmenes de datos geoespaciales.
 - *Almacenamiento*: 500 GB de espacio en disco mínimo, preferiblemente en discos SSD para mejorar la velocidad de acceso a los datos.
 - *Conectividad de Red*: 1 Gbps o más para garantizar la rápida transferencia de datos en consultas y visualización.
- **Servidor de Aplicación (Node.js y GeoServer)**
 - *CPU*: 4 núcleos como mínimo; recomendado 8 núcleos.
 - *RAM*: 8 GB mínimo; 16 GB o más recomendado, especialmente si se espera un alto tráfico de usuarios.

- *Almacenamiento*: 250 GB para almacenamiento temporal y archivos de servicio; SSD recomendado para mayor rendimiento.
- *Conectividad de Red*: 1 Gbps para garantizar una buena respuesta en la interacción de usuarios con el sistema.
- **Estaciones de Trabajo de Usuario Final**
 - *CPU*: Procesador de 2 núcleos como mínimo.
 - *RAM*: 4 GB como mínimo; 8 GB recomendado para tareas de visualización intensiva.
 - *Gráficos*: Tarjeta gráfica con soporte WebGL para optimizar la visualización de mapas en navegadores modernos.
 - *Conexión a Internet*: Velocidad mínima de 10 Mbps para garantizar un acceso fluido a la plataforma en línea.

3.1.2 Requerimientos de Software

Para el funcionamiento y despliegue de **Wakah K'an**, es esencial contar con un conjunto específico de software de base y herramientas de desarrollo. A continuación, se listan los requisitos de software para cada componente principal del sistema:

- **Sistema Operativo**
 - **Servidor**: Preferiblemente Linux (Ubuntu 20.04 o superior) por su estabilidad y compatibilidad con PostGIS y GeoServer.
 - **Estaciones de Trabajo**: Compatibilidad con sistemas Windows, macOS y Linux para los usuarios finales.
- **Software de Base de Datos**
 - **PostgreSQL** con extensión PostGIS (versión 13.0 o superior), que permite el almacenamiento y manipulación de datos geoespaciales.
- **Servidor de Mapas**
 - **GeoServer** (versión 2.18 o superior) para la publicación de servicios de mapas y el soporte de protocolos de interoperabilidad (WMS, WFS).
- **Backend de la Aplicación**
 - **Node.js** (versión 14 o superior) como entorno de ejecución de JavaScript para el desarrollo del backend y la gestión de las API REST.
- **Frontend de la Aplicación**
 - **OpenLayers** como biblioteca principal para la visualización de mapas interactivos en el navegador.
 - **Bootstrap** para la creación de una interfaz de usuario responsive y accesible.
- **Gestión de Procesos**
 - **PM2** para la monitorización y gestión de procesos de Node.js, lo que garantiza el funcionamiento ininterrumpido de la aplicación en el servidor.

- **Librerías Adicionales**

- **GDAL** (Geospatial Data Abstraction Library) para la conversión y manipulación de archivos geoespaciales.
- **Python** con bibliotecas específicas para tareas de procesamiento y manipulación de datos (si se requieren scripts adicionales de análisis).

3.1.3 Requerimientos de Red y Conectividad

Para el acceso y uso eficiente de **Wakah K'an**, es necesario contar con una infraestructura de red adecuada que permita el acceso remoto y la interoperabilidad con otros sistemas SIG:

Velocidad de Conexión: Se recomienda una conexión de **1 Gbps** o superior en el servidor, debido a que las operaciones del sistema involucran el manejo de grandes volúmenes de datos geoespaciales, acceso concurrente de usuarios y la interoperabilidad con servicios OGC (WMS, WFS, WCS, entre otros).

Las consultas geoespaciales suelen requerir la transmisión de archivos vectoriales o ráster de alta resolución, así como la entrega dinámica de mosaicos cartográficos. Estas operaciones demandan un ancho de banda considerable para asegurar una experiencia fluida y eficiente. Una conexión de 1 Gbps permite:

- Transferencia eficiente de datos SIG, reduciendo los tiempos de respuesta en operaciones que involucran grandes volúmenes de información espacial.
- Soporte simultáneo de múltiples usuarios, evitando saturación de la red durante accesos concurrentes al visor o a la base de datos PostGIS.
- Interoperabilidad fluida con otros sistemas, garantizando una comunicación estable y de baja latencia con servicios externos, como GeoServer o API REST desarrolladas en Node.js.
- Visualización cartográfica en tiempo real, con renderizado rápido de capas vectoriales y ráster.
- Escalabilidad futura, permitiendo que la infraestructura crezca para incorporar análisis geoespaciales avanzados o procesamiento distribuido sin requerir cambios inmediatos en la red.

En síntesis, una conexión Gigabit Ethernet es un componente esencial para garantizar la eficiencia, estabilidad y escalabilidad del sistema **Wakah K'an**, asegurando un rendimiento óptimo en la gestión, visualización y análisis de datos geoespaciales [35].

Protocolos de Red: El sistema debe estar configurado para manejar tráfico HTTPS, garantizando la seguridad y confidencialidad de los datos en tránsito entre el servidor y los clientes.

Puertos de Red:

- PostgreSQL/PostGIS: Puerto 5432 para la base de datos.
- GeoServer: Puerto 8080 (puerto configurado para los servicios de mapas).
- Node.js: Puerto 3000 (configurado para el backend de la aplicación).

3.1.4 Requerimientos de Seguridad

Dado que **Wakah K'an** maneja datos sensibles y puede estar accesible para múltiples usuarios, es esencial contar con medidas de seguridad robustas:

- **Cifrado de Datos:** Uso de SSL/TLS para el cifrado de datos en tránsito y para asegurar las comunicaciones entre el cliente y el servidor.
- **Autenticación y Autorización:** Implementación de autenticación de usuarios y control de acceso basado en roles para asegurar que solo personal autorizado acceda a datos y funciones específicas.
- **Copia de Seguridad de la Base de Datos:** Configuración de copias de seguridad automáticas para garantizar la recuperación de datos en caso de fallos o pérdidas de información.
- **Firewall y Protección contra Intrusiones:** Configuración de un firewall y un sistema de detección de intrusiones (IDS) para proteger el sistema contra ataques externos.

3.1.5 Requerimientos de Mantenimiento y Escalabilidad

Para asegurar que el sistema **Wakah K'an** permanezca operativo y se mantenga actualizado conforme aumentan los volúmenes de datos y los usuarios, es necesario implementar políticas de mantenimiento y escalabilidad:

- **Monitoreo Continuo:** Implementación de herramientas de monitoreo para supervisar el uso de CPU, memoria y almacenamiento, asegurando que el sistema funcione de manera óptima.
- **Escalabilidad Horizontal y Vertical:** La infraestructura debe permitir la adición de más recursos de hardware o la incorporación de servidores adicionales en caso de que se incrementen los requisitos de carga.
- **Actualización de Software:** Plan de actualización regular de las versiones de software para mantener la compatibilidad y seguridad del sistema.

3.2 Diseño e implementación de la base de Datos

La construcción de la base de datos **Wakah K'an** enfatizó el modelado eficiente de entidades y relaciones con el propósito de gestionar información geoespacial asociada a proyectos de ingeniería y estudios geotécnicos. El enfoque principal consistió en integrar datos alfanuméricos (atributos descriptivos de proyectos, estructuras o sondeos) con datos geométricos (ubicaciones, áreas y geometrías de referencia), de modo que ambos pudieran ser consultados y analizados de manera conjunta. La fase inicial fue generar un Modelo de Entidad-Relación (ERM), aquí se identificaron las principales entidades del sistema: Proyectos, Sondeos, Estructuras, Localidades, Corrientes de Agua, entre otras. Estas entidades se vinculan mediante relaciones de dependencia jerárquica (por ejemplo, un proyecto contiene múltiples sondeos o estructuras). Este modelo garantizó que la información pudiera ser organizada de manera consistente y que las consultas posteriores aprovecharan tanto atributos espaciales como no espaciales.

En su ejecución, se implementó PostgreSQL 14 como el sistema de gestión de bases de datos, aumentado con PostGIS para definir campos geométricos especializados (puntos, polígonos y líneas) sujetos a las restricciones de validez que se han establecido. Las restricciones ayudan a lograr la coherencia espacial de la información recopilada, lo que puede asegurar la no superposición de geometrías o el requisito de una referencia geográfica en cada uno de los registros.

Un aspecto clave del diseño fue la definición de claves primarias y foráneas para mantener la integridad entre tablas. Por ejemplo, cada sondeo está vinculado a un proyecto mediante un identificador único, lo que facilita las consultas relacionales. Asimismo, se emplearon índices espaciales (GiST) para optimizar la velocidad de las consultas geográficas, reduciendo considerablemente los tiempos de respuesta en operaciones como la búsqueda de intersecciones o proximidad. De esta manera, la base de datos se diseñó no solo como un repositorio de información, sino como el núcleo que permite la integración con los servicios web (GeoServer) y el consumo de datos desde el FrontEnd.

3.2.1 Modelo Entidad - Relación

Para reflejar la información manejada por el sistema, se desarrolló un Modelo Entidad-Relación (MER) en el que cada tabla representa una entidad con atributos específicos y, en ciertos casos, con un campo de tipo "geometry" que es el campo que contiene la geometría y su relación geoespacial.

A continuación, se describen las tablas:

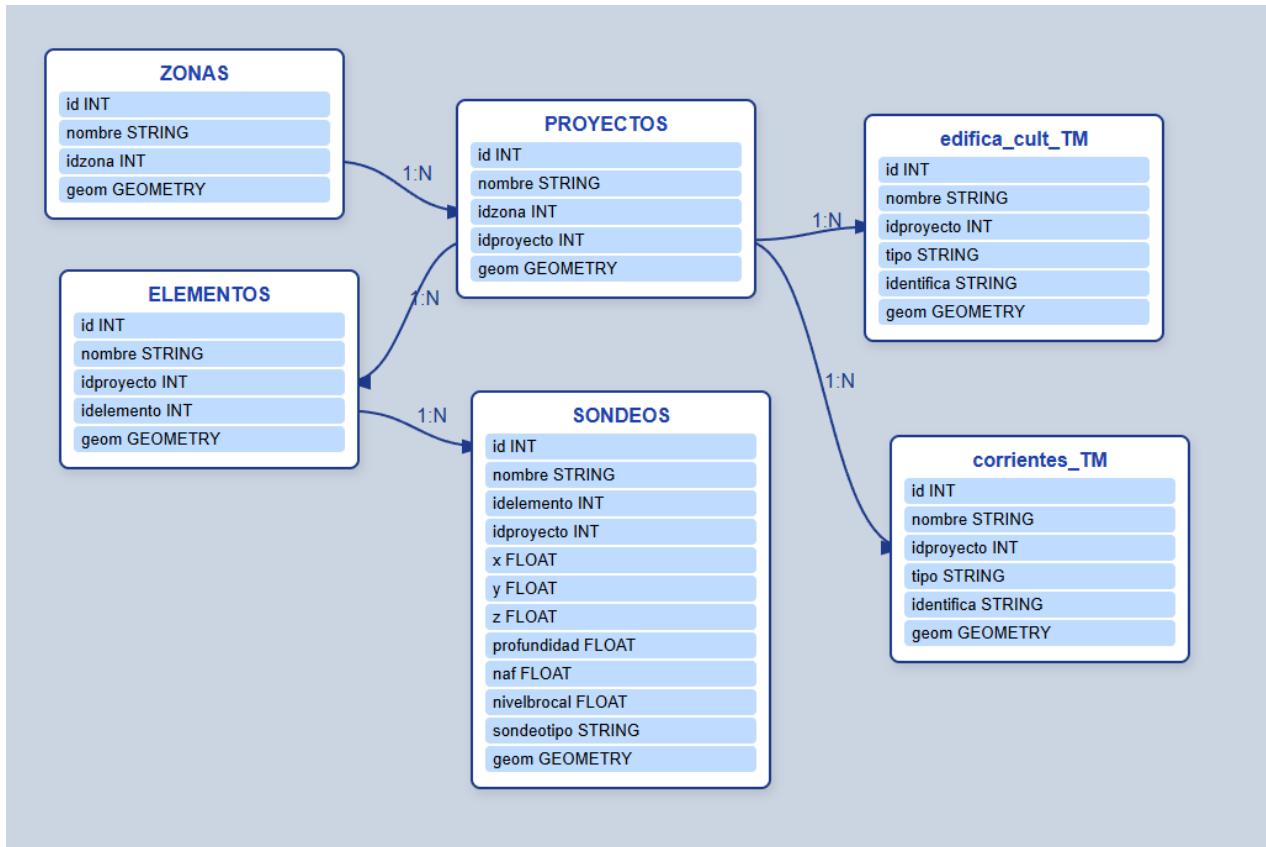


Figura 2.3 – Diagrama Entidad Relación

Zonas: Representa las áreas o regiones de estudio. Dirac tiene proyectos en toda la República Mexicana, así que se optó por dividir el país en 3 regiones: norte, sur y centro. Esta tabla incluye atributos como un identificador único, un campo de nombre y la respectiva geometría de la zona.

Tabla 1 – Componentes de la tabla “zonas”

ZONAS		
int	id	PK
string	nombre	
int	idzona	FK
geometry	geom	

Proyectos: Agrupa la información espacial de cada proyecto de infraestructura civil de Dirac y lo vincula a la zona del país a la que corresponde, incluye atributos como nombre del proyecto y su geometría.

Tabla 2 Componentes de la tabla “proyectos”

PROYECTOS		
int	id	PK
string	nombre	
int	idzona	FK
int	idproyecto	FK
geometry	geom	

Elementos: Esta tabla define los distintos componentes, obras o estructuras que en conjunto forman parte de cada proyecto, por lo tanto, cada elemento está asociado si o si a un proyecto, de modo que se construye una organización jerárquica de la información.

Tabla 3 – Componentes de la tabla “elementos”

ELEMENTOS		
int	id	PK
string	nombre	
int	idproyecto	FK
int	idelemento	
geometry	geom	

Tabla 4 – Componentes de la tabla “sondeos”

SONDEOS		
int	id	PK
string	nombre	
int	idproyecto	FK
int	idelemento	FK
float	x	
float	y	
float	z	
float	profundidad	
float	naf	
float	nivelbrocal	
string	sondeotipo	
geometry	geom	

Sondeos: Aquí se almacenan los datos de sondeos geofísicos y geotécnicos, es uno de los niveles de información que son más ricos para el usuario, pues pueden proporcionar información clave para la toma de decisiones, por ello se registra el nombre, un identificador único, geometría e información técnica clave como profundidad, elevación y tipo de sondeo.

Tablas temáticas TM: Estas son tablas específicas para almacenar información complementaria como cuerpos de agua, localidades, edificaciones, entre otros, cada una está vinculada a un proyecto y muestra atributos descriptivos de sus propiedades.

Tabla 5 – Componentes de dos tablas de datos temáticos

edifica_cult_TM		
int	id	PK
string	nombre	
int	idproyecto	FK
string	geografico	
geometry	geom	
string	tipo	
string	identifica	

corrientes_TM		
int	id	PK
string	nombre	
int	idproyecto	FK
string	geografico	
geometry	geom	
string	tipo	
string	identifica	

Las relaciones entre estas entidades se establecen mediante llaves foráneas, lo que garantiza la integridad referencial y facilita la realización de consultas espaciales complejas a través de PostGIS. Este modelo no solo garantiza la información de manera lógica y coherente, sino que también optimiza el rendimiento de las operaciones de consulta y análisis, siendo un pilar fundamental en el diseño de la base de datos de **wakah k'an**. (ver figura 1 para la representación gráfica del MER.)

3.2.2 Estructuras de Campos y Geometrías

En cada tabla se definieron llaves primarias (PK) de tipo entero (id, por ejemplo), mientras que las llaves foráneas (FK) se utilizaron para establecer la relación entre proyectos, zonas y elementos. El campo "geom" se declaró con un tipo de geometría específico, es decir, con una referencia geoespacial general para todo el sistema, se eligió el EPSG 3857, que es un identificador único asociado a un sistema de coordenadas y proyección de los datos espaciales para permitir la compatibilidad con datos georreferenciados a nivel global y obtener estándares de intercambio de información global con distintas fuentes. Además del EPSG el campo "geom" contiene el dato específico del tipo de geometría, punto, línea, polígono o multi polígono, este campo tiene la capacidad de guardar toda esa información en código binario y es guardado desde un archivo geoespacial como ESRI shape file o un geoJSON.

A continuación, una tabla con la descripción de atributos, por tabla:

Tabla 6 – Atributos de la tabla “zonas”

ZONAS			
NOMBRE	TIPO DE DATO	LLAVE	DESCRIPCIÓN
id	numérico	Primaria	Es la identificación, es no repetible y consecutiva
nombre	texto		Es un texto con el nombre de la zona
idzona	numérico	Foránea	Es un número consecutivo y no repetible
geom	geometría espacial		Es el campo donde se almacena la geometría georeferenciada

Tabla 7 – Atributos para la tabla “proyectos”

PROYECTOS			
NOMBRE	TIPO DE DATO	LLAVE	DESCRIPCIÓN
id	numérico	Primaria	Es la identificación, es no repetible y consecutiva
nombre	texto		Es un texto con el nombre del Proyecto
idzona	numérico	Foránea	Es un número consecutivo y no repetible, une cada fila con un dato específico de la tabla ZONAS
idproyecto	numérico	Foránea	Es un número consecutivo y no repetible, une cada fila con un dato específico de la tabla ELEMENTOS
geom	geometría espacial		Es el campo donde se almacena la geometría georeferenciada

Tabla 8 – Atributos para la tabla “Elementos”

ELEMENTOS			
NOMBRE	TIPO DE DATO	LLAVE	DESCRIPCIÓN
id	numérico	Primaria	Es la identificación, es no repetible y consecutiva
nombre	texto		Es un texto con el nombre del Proyecto
idproyecto	numérico	Foránea	Es un número consecutivo y no repetible, une cada fila con un dato específico de la tabla ELEMENTOS
idelemento	numérico		Es un número consecutivo y no repetible que identifica a cada elemento.
geom	geometría espacial		Es el campo donde se almacena la geometría georeferenciada

Tabla 9 – Atributos para la tabla “sondeos”

SONDEOS			
NOMBRE	TIPO DE DATO	LLAVE	DESCRIPCIÓN
id	numérico	Primaria	Es la identificación, es no repetible y consecutiva.
nombre	texto		Es un texto con el nombre del Proyecto.
idproyecto	numérico	Foránea	Es un número consecutivo y no repetible, une cada fila con un dato específico de la tabla ELEMENTOS.
idelemento	numérico		Es un número consecutivo y no repetible que identifica a cada elemento.
x	texto		Es la coordenada UTM en el eje de las "X".
y	texto		Es la coordenada UTM en el eje de las "Y".
z	texto		Algunas coordenadas incluyen altitud, aquí se coloca ese dato.
profundidad	texto		Es la profundidad que se alcanzó en la perforación.
naf	texto		Nivel de Aguas Fríatico.
nivelbrocal	texto		Corresponde a un dato de perforación, nivel de brocal.
sondeotipo	texto		Es el tipo de Sondeo.
geom	geometría espacial		Es el campo donde se almacena la geometría georeferenciada.

3.2.3 Restricciones y Control de Integridad

Para mantener la calidad de los datos, se definieron de este modo:

- **Restricciones de llave primaria y llave foránea:** De este modo se garantiza la integridad referencial; por ejemplo, no se puede consultar un sondeo sin hacer referencia a una estructura y una estructura sin un proyecto. Tampoco podrías guardar una estructura perteneciente a un proyecto inexistente.
- **Restricción espacial:** Se vigila que la geometría corresponda al EPSG 3857, que pertenece a un sistema de referencia geográfico global (WGS84), de modo que para colocar datos requieres hacer transformaciones cartográficas si vienes de un sistema de referencia distinto. Se eligió un sistema de referencia global pues si se unen un sistema local como uno proyectado en alguna zona UTM, nos limitaría al momento de cargar información geográfica a grande escala.
- **Autoreferencias:** Toda fila de cada una de las tablas cuenta con su propio identificador único, para garantizar una mejor jerarquía y un mejor análisis en las consultas.

3.2.4 Flujo de Creación y Migración de Datos

El proceso de creación y migración de datos en **wakah k'an** fue estructurado siguiendo los lineamientos y metodología para geoportales que propone iSTAR del instituto de geografía de la UNAM. Este enfoque permite una transición ordenada y controlada desde la obtención de datos hasta su integración en la base de datos espacial, a continuación se describen las fases principales:

1. **Planificación y Evaluación de Fuentes de Datos:** Se identifican y evalúan las fuentes de datos disponibles (tablas CSV, documentos PDF, planos CAD, reportes, imágenes, entre otros), verificando su calidad, consistencia y compatibilidad con el sistema. Esta fase establece las bases para el modelado de la información y determina las transformaciones necesarias.
2. **Diseño del Modelo de Datos:** Basándose en el modelo entidad - relación (MER) antes definido, se estructura la base de datos, instalando PostgreSQL en el servidor, estableciendo las tablas, sus atributos, cardinalidad y reglas que garantizan la integridad y coherencia de la información. Este diseño se adapta a las necesidades específicas del sistema, pues puede permitir la realización de consultas y análisis complejos.
3. **Conversión y Migración de Datos:** Los datos se extraen de las diversas fuentes de almacenamiento con las que cuenta Dirac y se transforman al formato requerido. Por ejemplo, la información de infraestructuras y obras civiles proviene de archivos CAD (DWG), por lo que se debe convertir a formato SIG como geoJSON o SHP, mediante herramientas como QGIS o GDAL, mientras que datos tabulares se deben limpiar y estandarizar antes de ser importados a la base de datos, como la información específica de cada sondeo. Este proceso se realiza utilizando comandos en terminal para subir los datos al sistema manejador de base de datos o mediante la importación integrada que ofrece QGIS,

siempre asegurando que los datos se estandaricen en el sistema de referencia reglado (EPSG: 3857).

4. **Validación y verificación:** Una vez migrados los datos, se llevan a cabo pruebas de calidad para asegurar que los datos se hayan integrado correctamente. Esto incluye la verificación de geometrías, la validación de relaciones entre tablas y la comprobación de que los datos espaciales cumplan las restricciones especificadas. Se utilizan herramientas de visualización y consultas espaciales desde Pgadmin 4 para llevar a cabo este proceso.
5. **Integración y Publicación:** Finalmente, la base de datos se integra a geoserver, permitiendo la publicación de capas a través de servicios WMS y WFS. Esto facilita la visualización interactiva de los datos en el Frontend, asegurando que la información migrada esté disponible para el análisis y consulta en tiempo real.

A continuación, el flujo del proceso:

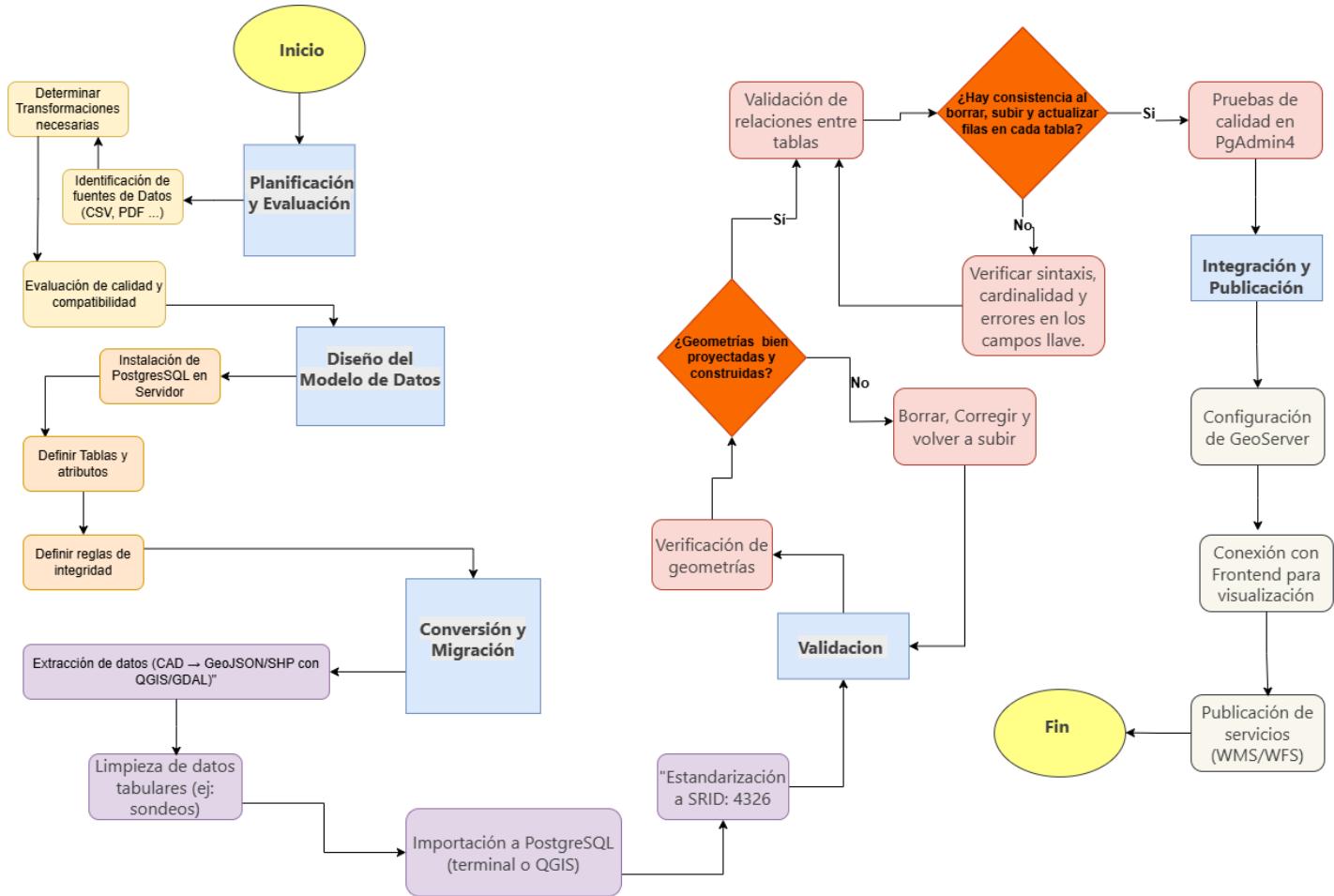


Figura 3.0.2 – Diagrama del proceso general de creación del programa.

Este flujo de trabajo, inspirado en la metodología iSTAR, no solo garantiza la correcta migración y estandarización de los datos, sino que también establece una base sólida y escalable para el análisis geoespacial en **wakah k'an**. La integración de herramientas open source y la validación continua asegura que el sistema se mantenga apto para soportar las demandas de análisis y visualización en el ámbito de la ingeniería civil.

3.2.5 Ventajas de la Implementación

- **Consultas Espaciales:** Al contar con PostGIS, se pueden realizar consultas avanzadas (cálculo de distancias, intersecciones, buffers, etc.), lo que resulta esencial para el análisis geotécnico. Revisar el anexo 1.
- **Escalabilidad:** El modelo relacional permite añadir nuevas tablas o campos conforme se requiera manejar información adicional (más tipos de elementos, diferentes fases del proyecto, etc.).
- **Integración con GeoServer:** Al ser la base de datos geoespacial el núcleo del sistema, la capa de publicación de servicios (GeoServer) puede acceder directamente a los datos para su visualización y análisis, facilitando la interoperabilidad.
- **Mantenimiento de la Integridad:** Las llaves foráneas y las restricciones espaciales refuerzan la coherencia de la información, evitando inserciones inválidas o datos sin relación adecuada.

3.3 Integración de los Servicios WEB

La integración de los servicios web en **Wakah K'an** constituye un componente esencial para conectar la base de datos espacial, el servidor de mapas y la interfaz de usuario, permitiendo el acceso remoto y la interoperabilidad del sistema. Para ello, se han adoptado las siguientes estrategias:

- **GeoServer como Publicador de Servicios:**

GeoServer actúa como puente entre la base de datos PostGIS y el FrontEnd, publicando capas de datos geoespaciales mediante protocolos estándar como WMS (Web Map Service) y WFS (Web Feature Service). Estos servicios permiten a los usuarios visualizar mapas interactivos y consultar atributos espaciales en tiempo real.

- **Interfaz RESTful:**

La comunicación entre el FrontEnd y el BackEnd se establece mediante APIs RESTful. Estas APIs, basadas en los métodos HTTP (GET, POST, PUT, DELETE), permiten que el sistema gestione las solicitudes de consulta, actualización e inserción de datos de manera modular y sin estado. De este modo, los distintos componentes del sistema pueden interactuar de forma eficiente, facilitando la integración y el mantenimiento continuo.

- **Implementación en el FrontEnd:**

En el archivo main.js se configuran y ejecutan las llamadas a las URL expuestas por GeoServer, de modo que cada botón o acción en la interfaz activa una consulta a los servicios web correspondientes. Aunque se ofrece una breve mención aquí, los detalles específicos de estas implementaciones se desarrollarán en el capítulo dedicado al FrontEnd.

- **Optimización y Escalabilidad:**

La utilización de tecnologías open source y servicios basados en estándares permite que la integración de los servicios web pueda escalar de acuerdo a la demanda, facilitando la incorporación de nuevas fuentes de datos y la expansión de funcionalidades sin afectar el rendimiento global del sistema.

- **Control de Acceso (Planificado):**

Si bien la versión actual de **Wakah K'an** no implementa mecanismos de autenticación y autorización, se planifica incluir controles de acceso en una fase futura para asegurar que sólo usuarios autorizados puedan interactuar con datos sensibles y realizar operaciones críticas.

La integración de los servicios web en **Wakah K'an** permite que los datos almacenados en PostGIS sean accesibles y visualizables a través de GeoServer, mientras que las APIs RESTful facilitan una comunicación fluida entre el BackEnd y el FrontEnd. Esto garantiza que la información geoespacial esté disponible en tiempo real, facilitando el análisis y la toma de decisiones en el ámbito geotécnico y geofísico.

3.4 Integración del BackEnd

El BackEnd corresponde a la parte del sistema encargada del procesamiento de datos, la lógica de negocio y la interacción con la base de datos y otros servicios, sin que estos procesos sean visibles para el usuario final. El desarrollo del BackEnd de **Wakah K'an** se planteó utilizando Node.js como entorno de ejecución principal, lo que permite una arquitectura modular, escalable y orientada a servicios mediante APIs RESTful. Esta elección se justifica por la capacidad de Node.js para gestionar múltiples conexiones concurrentes y por la amplia disponibilidad de módulos open source que facilitan su integración con otros componentes del sistema, ver figura 3.0.3.

El BackEnd tiene como función principal procesar las solicitudes del FrontEnd y coordinar la comunicación con la base de datos espacial (PostGIS) y el servidor de mapas (GeoServer). En su diseño y desarrollo se han considerado las siguientes funcionalidades principales:

- **Gestión de Consultas y Actualizaciones:** El sistema contempla la creación de APIs capaces de ejecutar consultas espaciales complejas sobre los datos almacenados en PostGIS,

utilizando funciones geográficas avanzadas como cálculos de distancias, intersecciones y buffers. Estas operaciones son fundamentales para el análisis geotécnico y geofísico, permitiendo a los usuarios obtener información precisa y contextualizada a partir de los datos geoespaciales.

Si bien en la versión actual las consultas se ejecutan mediante endpoints básicos, la arquitectura ya está preparada para ampliar su alcance e incluir filtros espaciales dinámicos y operaciones multiusuario optimizadas.

- **Interfaz con GeoServer:** El BackEnd está diseñado para actuar como intermediario entre el FrontEnd y GeoServer. A través de solicitudes HTTP, el sistema podrá gestionar la publicación, actualización y consulta de servicios de mapas (WMS y WFS), permitiendo la visualización en tiempo real de capas geográficas y la incorporación de nuevos datos en el geoportal sin intervención manual directa. Esta integración es esencial para mantener la interoperabilidad entre la base de datos espacial y la interfaz cartográfica
- **Estructura Basada en APIs RESTful:** Cada funcionalidad del sistema se expone mediante *endpoints* RESTful (Representational State Transfer) [36], empleando los métodos HTTP estándar (GET, POST, PUT, DELETE). Este enfoque modular y sin estado facilita la ampliación del sistema, la integración de nuevos servicios y el mantenimiento a largo plazo, garantizando al mismo tiempo una comunicación eficiente entre componentes distribuidos.
- **Control de Errores y Registro (Planificado):** En la versión actual aún no se ha implementado un sistema de control de errores ni registro (logging); sin embargo, la estructura del código ya contempla la integración de estos mecanismos. En futuras iteraciones, se incorporarán módulos de monitoreo y manejo de excepciones que permitirán:
 - Registrar y analizar errores en tiempo real.
 - Detectar cuellos de botella o interrupciones en la comunicación con la base de datos o el servidor de mapas.
 - Generar reportes automáticos para diagnóstico y mantenimiento.

Estas funciones fortalecerán la estabilidad y confiabilidad del BackEnd.

- **Registro y Control de Usuarios (Planificado):** Como se ya se mencionó, **Wakah K'an** no cuenta con un sistema de autenticación o control de acceso; no obstante, se ha diseñado la arquitectura considerando la implementación futura de un módulo de registro y autorización de usuarios. Este permitirá diferenciar niveles de acceso (administrador, analista, usuario público) y proteger operaciones críticas, garantizando la integridad y confidencialidad de la información.

En resumen, el BackEnd de **Wakah K'an**, implementado en Node.js, es la columna vertebral del sistema, facilitando una comunicación eficiente y modular entre la base de datos PostGIS, el servidor GeoServer y la interfaz del usuario. Aunque algunas funciones como el *registro de usuarios* y el *control de errores* están aún en fase de planificación, la arquitectura del sistema se ha preparado para incorporarlas en futuras versiones, asegurando así un crecimiento ordenado y una mejora continua en términos de seguridad, estabilidad y rendimiento.

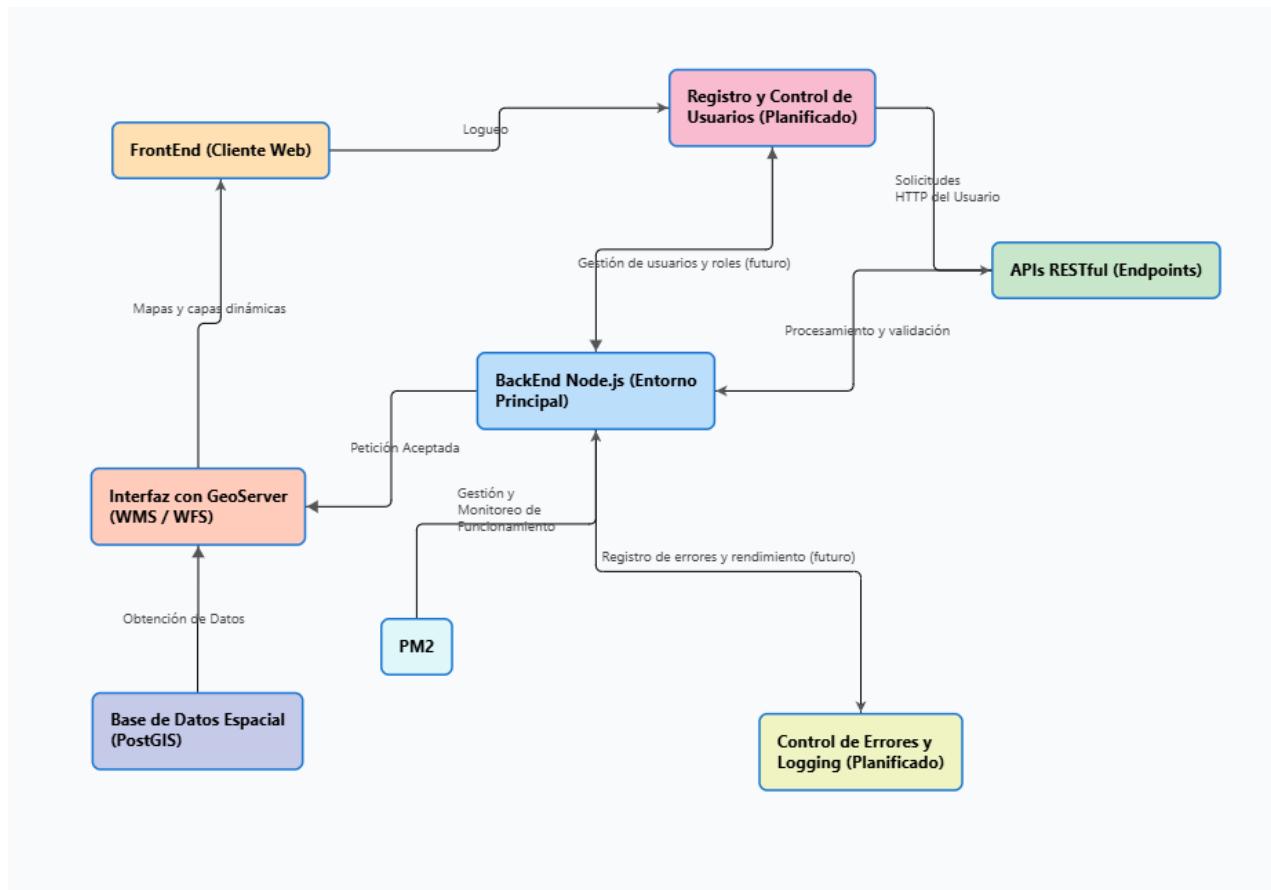


Figura 3.0.3 – Diagrama que ilustra la composición del BackEnd del sistema.

3.5 Integración del FrontEnd

El FrontEnd se refiere a la parte del sistema con la que interactúa directamente el usuario, es decir, la interfaz gráfica y todos los elementos que facilitan la visualización y manipulación de la información, para el sistema **Wakah K'an** se desarrolló un FrontEnd que ofrece una experiencia de usuario intuitiva, interactiva y responsive, permitiendo a los usuarios visualizar y manipular datos geoespaciales en tiempo real. Para lograrlo, se emplearon tecnologías open source que garantizan tanto la flexibilidad como la escalabilidad del Geoportal.

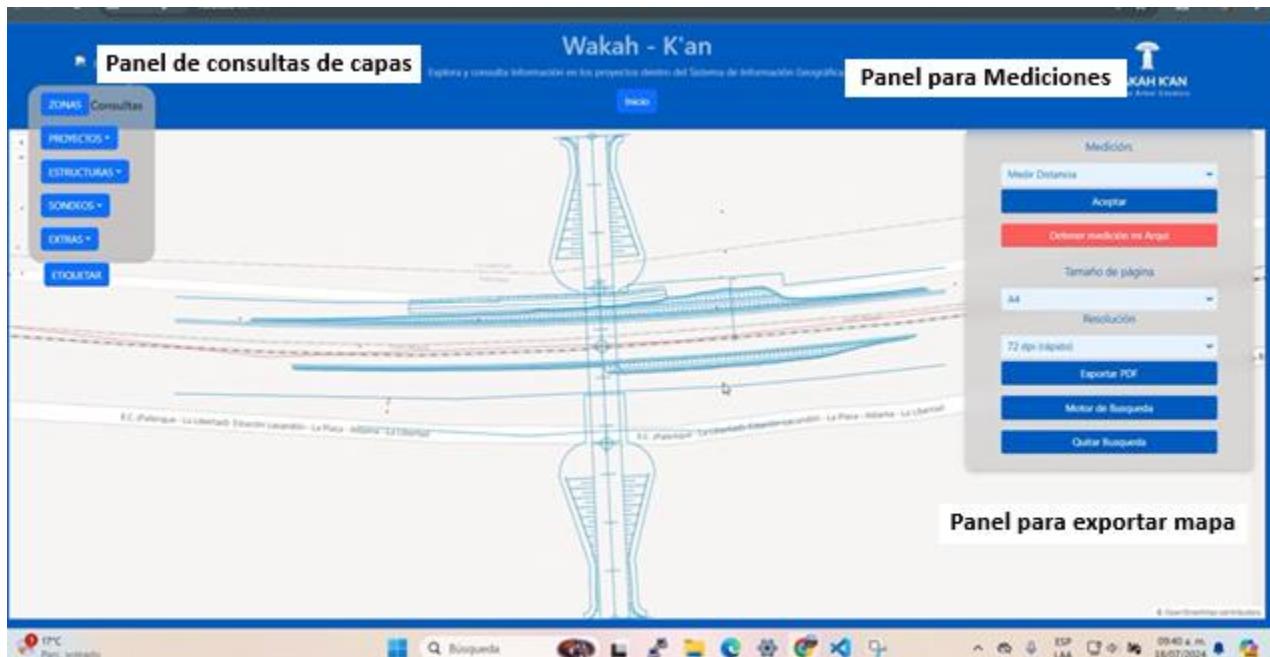


Figura 3.0.4 – Captura de pantalla del FrontEnd del sistema

A continuación, se describen los aspectos clave de la implementación del FrontEnd:

- **Visualización de Mapas Interactivos con OpenLayers:**

La herramienta principal para la representación de mapas es OpenLayers, una biblioteca JavaScript que permite la integración directa de capas geoespaciales publicadas en GeoServer a través de servicios WMS y WFS. Con OpenLayers, los usuarios pueden realizar operaciones como zoom, desplazamiento y selección de elementos, lo que facilita la exploración detallada de los sondeos y otras entidades espaciales.

- **Diseño Responsivo y Estilizado con Bootstrap y CSS:**

Para asegurar que la interfaz sea accesible en diferentes dispositivos (escritorio, tablet, móvil), se utilizó el framework Bootstrap junto con hojas de estilo CSS personalizadas. Esto garantiza una presentación coherente, moderna y adaptable, permitiendo que los elementos visuales se reorganizan automáticamente según el tamaño de la pantalla.

- **Integración con APIs RESTful:**

La comunicación entre el FrontEnd y el BackEnd se efectúa mediante llamadas a APIs RESTful. El archivo principal, generalmente denominado main.js, contiene la lógica para enviar solicitudes HTTP a los endpoints de GeoServer y del BackEnd, recuperando datos en formatos JSON o XML y actualizando dinámicamente los mapas y paneles de información. Cada acción del usuario, como hacer clic en un botón para consultar datos o aplicar un filtro, desencadena una llamada a la API correspondiente, lo que permite una interacción en tiempo real y una experiencia de usuario fluida.

- **Interacción y Usabilidad:**

Se han implementado componentes interactivos, como menús desplegables, botones y paneles de información, que permiten a los usuarios filtrar, seleccionar y analizar los datos de manera sencilla. Las herramientas de medición espacial, integradas en la interfaz, posibilitan la consulta de distancias, áreas y otras métricas relevantes para el análisis geotécnico y geofísico.

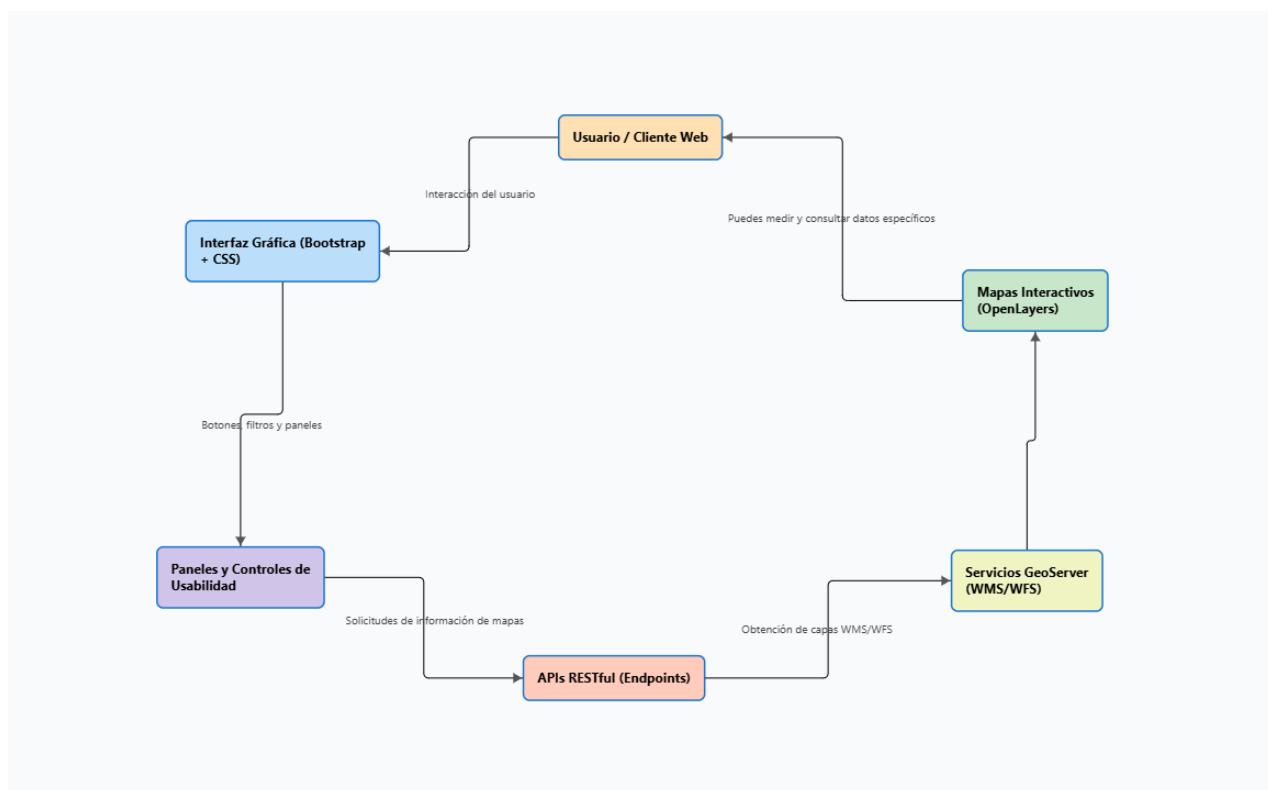


Figura 3.0.5 – Diagrama que muestra los componentes del FrontEnd

En conjunto, la implementación del FrontEnd en **Wakah K'an** asegura que la información geoespacial almacenada y procesada en el BackEnd se presente de forma clara y accesible, facilitando la toma de decisiones y el análisis en tiempo real a través de un geoportal moderno y responsivo.

3.6 Configuración del Despliegue

La configuración del despliegue de **Wakah K'an** se orienta a garantizar la disponibilidad, escalabilidad y rendimiento óptimo del sistema en un entorno de producción. Para ello, se implementaron diversas estrategias y herramientas que integran los componentes del BackEnd, la base de datos y el servidor de mapas, asegurando una operación continua y una fácil administración del sistema. A continuación, se detallan los aspectos clave de la configuración del despliegue:

- **Gestión de Procesos con PM2:** Se emplea PM2 como gestor de procesos para la aplicación Node.js, lo que permite monitorear y administrar los servicios en tiempo real. PM2 facilita el reinicio automático en caso de fallos, el balanceo de carga para manejar múltiples conexiones y la monitorización del uso de recursos (CPU, memoria, etc.), asegurando que el sistema esté siempre disponible.
- **Configuración del Servidor y Variables de Entorno:** Se definieron variables de entorno para gestionar configuraciones críticas, como las credenciales de acceso a la base de datos PostGIS y los endpoints de GeoServer. Esta práctica no solo mejora la seguridad, evitando la exposición de información sensible en el código fuente, sino que también facilita la adaptación del sistema a distintos entornos (desarrollo, pruebas y producción).
- **Integración de Componentes y Flujo de Comunicación:** La arquitectura desplegada garantiza una comunicación fluida entre los diferentes componentes del sistema: la base de datos (PostGIS), el servidor de mapas (GeoServer) y el BackEnd implementado en Node.js. La configuración de estos componentes se realizó siguiendo estándares y protocolos (por ejemplo, WMS y WFS para GeoServer), permitiendo que los servicios sean consumidos de manera óptima por el FrontEnd.
- **Escalabilidad y Balanceo de Carga:** La infraestructura de despliegue está preparada para escalar según la demanda. Gracias a PM2 y a la arquitectura modular, es posible añadir nuevas instancias del BackEnd o ampliar la capacidad del servidor para atender incrementos en el tráfico o en el volumen de datos, sin afectar el rendimiento general del sistema.
- **Seguridad y Monitoreo Continuo:** Se implementaron prácticas de seguridad en el despliegue, tales como el uso de conexiones cifradas (SSL/TLS) para la comunicación entre clientes y servidores, y la restricción de accesos mediante firewalls. Además, el monitoreo

continuo de los servicios permite detectar y resolver de forma proactiva cualquier incidencia que pueda surgir en la operación del sistema.

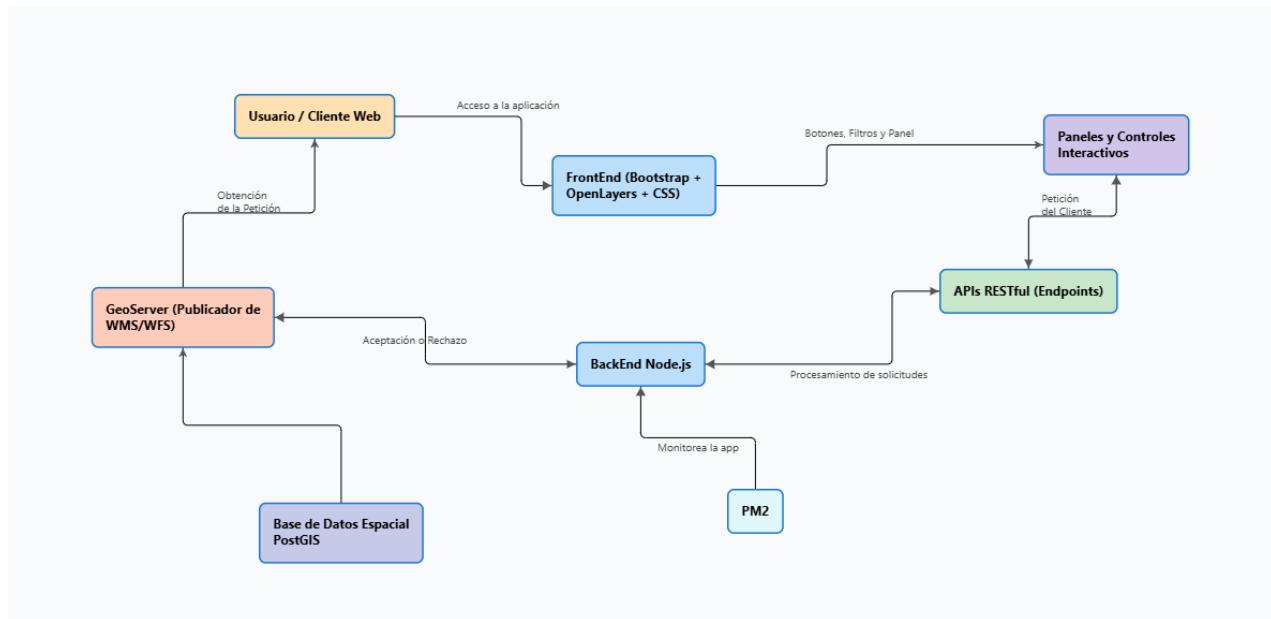


Figura 3.0.6 – Diagrama que muestra el despliegue en conjunto del BackEnd y el FrontEnd.

En conjunto, esta configuración del despliegue garantiza que **Wakah K'an** se mantenga operativo de forma continua, ofreciendo un entorno robusto y escalable que soporta el análisis y visualización en tiempo real de datos geoespaciales, y facilitando futuras mejoras en la seguridad y funcionalidad del sistema.

Capítulo 4

Funcionamiento del Sistema

El correcto funcionamiento de **Wakah K'an** se basa en la capacidad del sistema para procesar y presentar datos geoespaciales de manera dinámica, permitiendo a los usuarios acceder, analizar y extraer información relevante de forma intuitiva. En este capítulo se describen dos aspectos fundamentales: la consulta de datos y la generación de reportes a partir de los datos consultados.

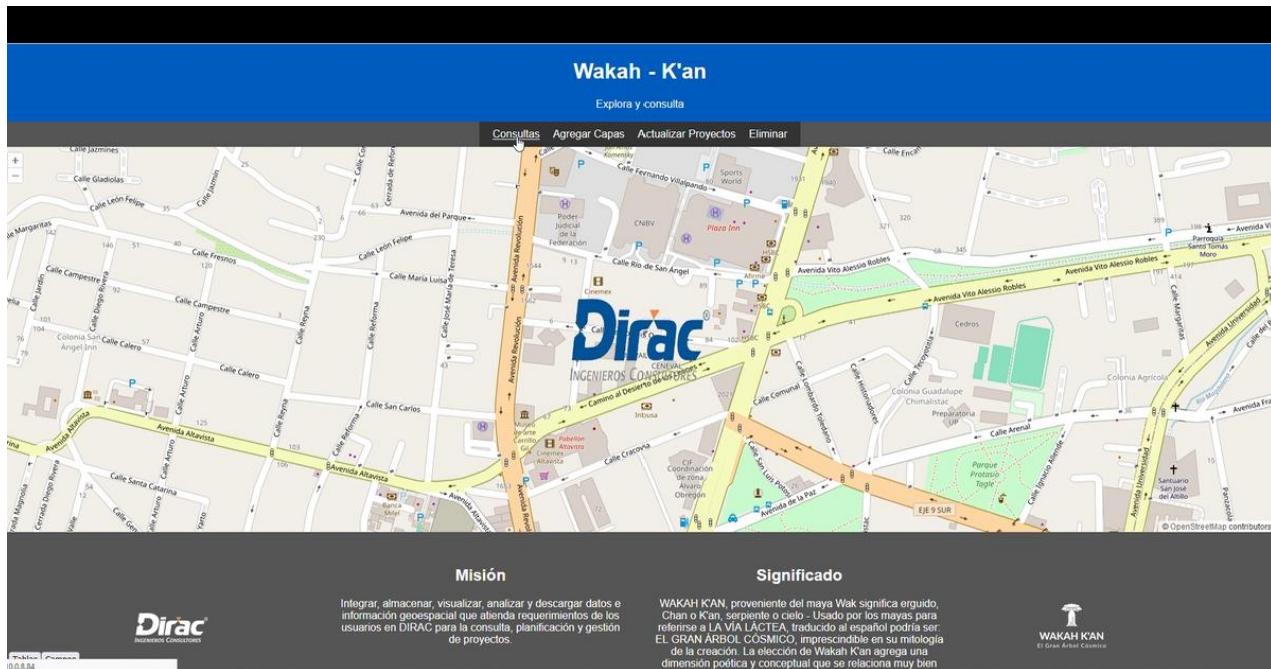


Figura 4.0.1 – Captura de pantalla de la página de presentación del programa.

4.1 Consulta de Datos

La consulta de datos en **Wakah K'an** se realiza a través de una interfaz web interactiva que permite a los usuarios acceder a la información geoespacial almacenada en la base de datos PostGIS. Mediante el uso de tecnologías como GeoServer y APIs RESTful, el sistema habilita la realización de consultas espaciales y de atributos de forma rápida y precisa.

- **Interacción del Usuario:** Los usuarios pueden navegar por mapas interactivos, aplicar filtros y seleccionar capas específicas (como sondeos, proyectos o elementos geotécnicos) para obtener información detallada sobre cada entidad. La funcionalidad de consulta permite obtener datos puntuales, visualizar áreas de interés y realizar análisis comparativos entre diferentes regiones o proyectos.
- **Procesamiento de Consultas:** Cuando se realiza una consulta, el FrontEnd envía una solicitud a través de la API RESTful, generando la URL correspondiente. El BackEnd recibe esta solicitud, procesa la información y se comunica con GeoServer para obtener el mapa solicitado, aplicando el coloreado y recuperando los atributos asociados que serán entregados al cliente.
- **Visualización en Tiempo Real:** La integración entre GeoServer y el FrontEnd permite que los resultados de las consultas se actualicen en tiempo real, ofreciendo a los usuarios una experiencia interactiva y dinámica. Esto resulta especialmente útil para la toma de decisiones, ya que permite evaluar rápidamente el impacto de los diferentes parámetros y condiciones en el contexto geoespacial del proyecto.

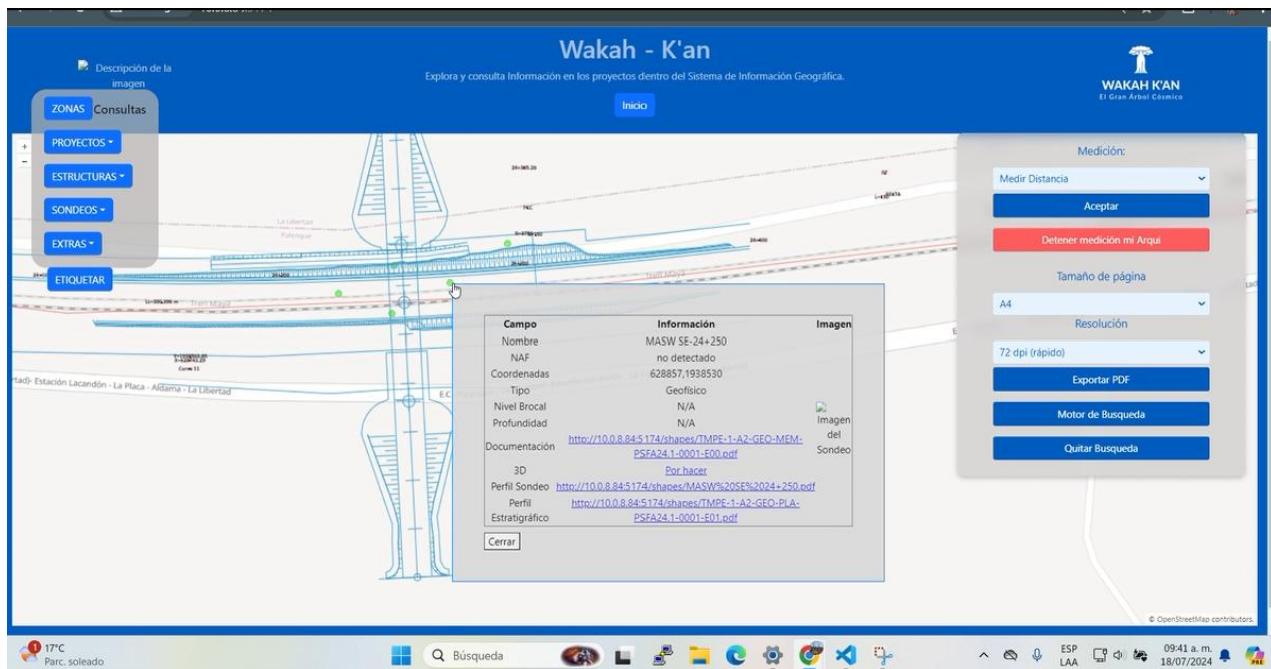


Figura 4.0.2 – Captura de pantalla de la consulta de sondeos.

4.2 Generación de Reportes de Datos Consultados

La generación de reportes en **Wakah K'an** se orienta a sintetizar y documentar los resultados obtenidos mediante las consultas de datos, facilitando la presentación y análisis de información crítica para la toma de decisiones en proyectos geotécnicos y geofísicos.

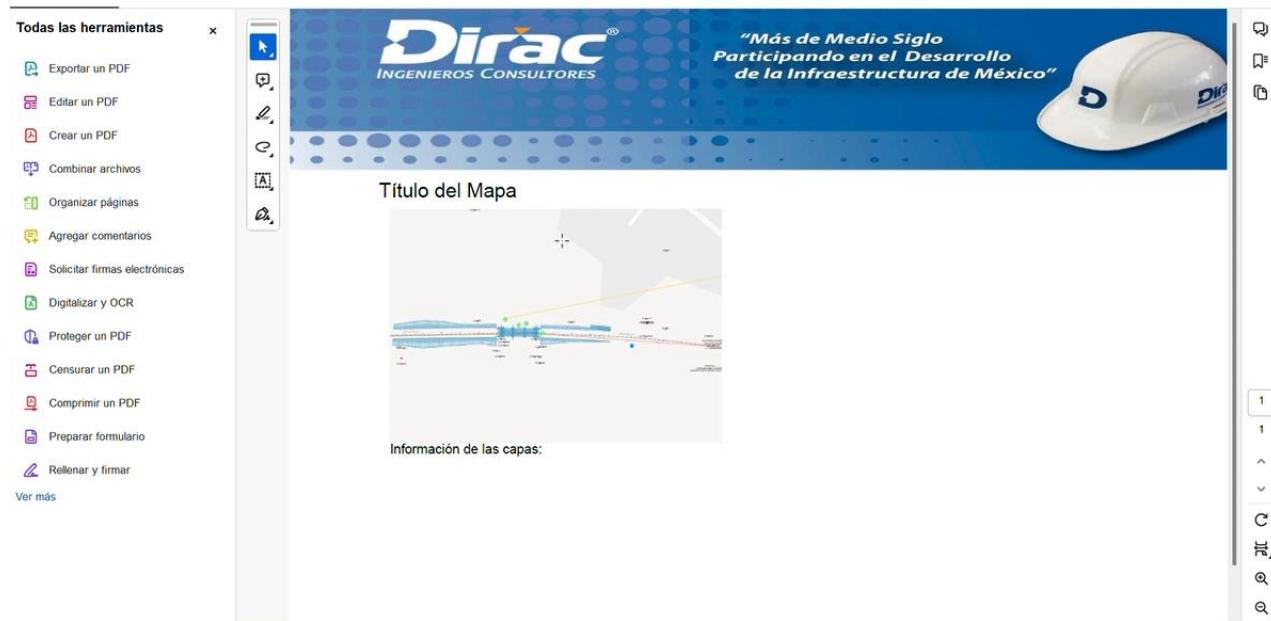


Figura 4.0.3 – Captura de pantalla del reporte de la consulta de un obra.

- **Automatización del Proceso:** Una vez que el usuario finaliza una consulta, el sistema ofrece la opción de generar reportes que consolidan la información visualizada. Estos reportes se pueden configurar para incluir tanto los datos espaciales (como mapas interactivos, gráficos y tablas) como los atributos descriptivos asociados a cada consulta, permitiendo un análisis profundo y detallado.
- **Formatos de Reporte:** Los reportes pueden generarse en diversos formatos, como PDF o Excel, lo que facilita su distribución, impresión y almacenamiento. La generación de estos documentos se realiza a partir de las APIs del BackEnd, que formatean y organizan la información obtenida de la base de datos y de GeoServer, garantizando que los datos presentados sean precisos y coherentes con las consultas realizadas.
- **Personalización y Flexibilidad:** El sistema permite que los usuarios personalicen los reportes de acuerdo a sus necesidades específicas, eligiendo qué capas, atributos o análisis incluir. Esta flexibilidad resulta fundamental para adaptar los reportes a diferentes tipos de

análisis y a los requerimientos particulares de cada proyecto, ya sea para evaluación de riesgos, planificación de infraestructuras o análisis comparativos.

En resumen, el funcionamiento del sistema en cuanto a la consulta de datos y la generación de reportes se orienta a facilitar una experiencia integral, en la que los usuarios pueden extraer información geoespacial en tiempo real, analizarla en profundidad y documentar los resultados de manera profesional, lo que resulta esencial para la toma de decisiones informadas en el ámbito geotécnico y geofísico.

Capítulo 5

Discusión

En este capítulo se analizan los resultados y se evalúa el desempeño del sistema *Wakah K'an* en relación con su impacto en la gestión y planificación, sus ventajas y limitaciones, la comparación con otras soluciones existentes y las posibles mejoras que se pueden implementar en futuras versiones.

5.1 Impacto en la Gestión y Planificación

La implementación de **Wakah K'an** ha demostrado un impacto significativo en la gestión y planificación de proyectos geotécnicos y geofísicos. Al centralizar y gestionar la información geoespacial a través de una base de datos espacial y servicios web, el sistema permite:

- **Mejora en la Toma de Decisiones:** La capacidad de visualizar datos en tiempo real y realizar consultas espaciales avanzadas facilita a los ingenieros y planificadores evaluar diferentes escenarios, identificar áreas de riesgo y ajustar los diseños estructurales de manera más informada.
- **Optimización de Recursos:** La integración de datos y la generación de reportes permiten optimizar la asignación de recursos y la planificación de obras, reduciendo tiempos de respuesta y minimizando errores en la interpretación de la información del terreno.
- **Acceso a Información Actualizada:** La interoperabilidad del sistema y la integración con GeoServer garantizan que la información geoespacial esté siempre disponible y actualizada, lo que resulta esencial en la planificación de proyectos y en la monitorización de obras en curso.

5.2 Ventajas y Limitaciones

Ventajas:

- **Escalabilidad y Flexibilidad:** El uso de tecnologías open source, como Node.js, GeoServer y PostGIS, permite que el sistema se adapte a crecientes volúmenes de datos y a nuevas necesidades sin requerir cambios radicales en la arquitectura.

- **Interoperabilidad:** La adopción de estándares abiertos (WMS, WFS, APIs RESTful) asegura la compatibilidad con otros sistemas y facilita la integración de diferentes fuentes de datos geoespaciales.
- **Visualización Interactiva:** El FrontEnd basado en OpenLayers y Bootstrap ofrece una interfaz intuitiva y responsive, permitiendo a los usuarios explorar y analizar los datos de forma dinámica y en tiempo real.

Limitaciones:

- **Falta de Subsistema de Control de Acceso en la Versión Actual:** Aunque se planea implementarlo en fases futuras, la ausencia de un sistema robusto de autenticación y autorización puede limitar el uso en entornos donde la seguridad de los datos es crítica.

Mitigación: Se contempla la incorporación de un sistema de roles y permisos basado en estándares de seguridad (OAuth2 o JWT), que permitirá controlar el acceso según perfiles de usuario (administrador, consultor, visualizador). Esto garantizará la protección de la información sensible y la trazabilidad de las acciones dentro del geoportal.

- **Dependencia de Tecnologías Open Source:** Si bien las soluciones open source ofrecen gran flexibilidad y ahorro de costos, también pueden presentar desafíos relacionados con el soporte técnico y la integración en entornos corporativos altamente regulados.

Mitigación: Para reducir riesgos, se ha priorizado el uso de tecnologías con amplia comunidad activa, documentación consolidada y soporte comercial opcional (ej. Boundless para GeoServer o Red Hat para PostgreSQL). Además, la arquitectura modular del sistema permite, en caso necesario, migrar componentes a soluciones propietarias sin rediseñar todo el sistema.

- **Curva de Aprendizaje:** La implementación y mantenimiento del sistema requieren conocimientos avanzados en SIG y tecnologías web, lo que puede representar un obstáculo para equipos de administración y desarrollo con menos experiencia en estas áreas.

Mitigación: Para contrarrestar esta dificultad, se propone la elaboración de manuales de usuario, guías técnicas y talleres de capacitación dirigidos tanto a usuarios finales como a administradores del sistema. Asimismo, se busca diseñar una interfaz intuitiva que reduzca la necesidad de conocimientos técnicos avanzados en el uso cotidiano del sistema.

5.3 Comparación con Otros Sistemas

En comparación con soluciones tradicionales como QGIS Desktop, QGIS Server y geoportales comerciales, **Wakah K'an** ofrece varias ventajas destacables:

- **Accesibilidad y Uso Remoto:**
Mientras que herramientas como QGIS se utilizan mayoritariamente en entornos de escritorio, **Wakah K'an** permite el acceso a través de navegadores web, facilitando la colaboración y el uso remoto en tiempo real.
- **Integración y Centralización de Datos:**
La arquitectura orientada a servicios y el uso de una base de datos espacial centralizada permiten una integración fluida de múltiples fuentes de datos, algo que en soluciones tradicionales puede resultar fragmentado y menos dinámico.
- **Escalabilidad:**
La modularidad del sistema, basada en tecnologías open source y una API, permite adaptarse a incrementos en la carga de trabajo y a la incorporación de nuevas funcionalidades sin reestructurar completamente la arquitectura.
- **Personalización:**
A diferencia de soluciones comerciales que pueden ofrecer opciones limitadas de personalización, **Wakah K'an** se diseñó para adaptarse a las necesidades específicas de proyectos geotécnicos y geofísicos, permitiendo ajustar el análisis y la visualización de datos de acuerdo con los requerimientos particulares.

5.4 Mejoras a futuro

Si bien **Wakah K'an** ha logrado consolidar una solución robusta para la gestión de datos geoespaciales, existen áreas de mejora que se podrían abordar en futuras versiones:

- **Implementación de Control de Acceso y Seguridad:** Incorporar mecanismos de autenticación y autorización para proteger la información sensible y garantizar que solo usuarios autorizados puedan acceder y modificar los datos.
- **Optimización del Rendimiento:** Mejorar la velocidad de las consultas y la visualización mediante técnicas de caching, optimización de índices espaciales y ajustes en la configuración de GeoServer.
- **Integración de Análisis Avanzado:** Desarrollar módulos adicionales que permitan realizar análisis y modelado avanzado de datos geoespaciales, aprovechando los beneficios de PostgreSQL para realizar consultas y mejorar la toma de decisiones.
- **Interfaz de Usuario Más Intuitiva:** Continuar mejorando la experiencia del usuario, incorporando nuevas funcionalidades de interacción y visualización, y adaptando la interfaz a las necesidades de usuarios menos técnicos.

- **Soporte para Nuevos Formatos y Fuentes de Datos:** Ampliar la capacidad del sistema para integrar otros tipos de datos geoespaciales y mejorar los procesos de migración y conversión, asegurando una mayor compatibilidad y flexibilidad.

El sistema **Wakah K'an** representa una solución innovadora y escalable para la gestión y análisis de datos geoespaciales en proyectos de geotecnia y geofísica. A través de la integración de tecnologías open source y un enfoque modular, el sistema facilita la toma de decisiones informadas, optimiza la planificación de obras y se posiciona como una herramienta adaptable a las necesidades cambiantes del sector. Las mejoras propuestas en este capítulo apuntan a fortalecer aún más la funcionalidad, seguridad y usabilidad del sistema, abriendo el camino para futuras innovaciones en la gestión de información geoespacial dentro del propio sistema.

Conclusiones

El presente trabajo ha permitido desarrollar **Wakah K'an**, un sistema integral de información geográfica que se centra en la gestión, almacenamiento y visualización de datos geotécnicos y geofísicos. A lo largo del proyecto se evidenció el potencial de las tecnologías open source para ofrecer soluciones innovadoras y escalables, integrando múltiples componentes y protocolos estandarizados que facilitan la toma de decisiones.

Las principales conclusiones son:

6.1. Almacenamiento de los Datos

El uso de una base de datos espacial basada en PostGIS ha permitido almacenar y gestionar de forma eficiente grandes volúmenes de datos geoespaciales. La implementación de tablas bien definidas, con atributos que integran información técnica y espacial, ha asegurado la integridad y coherencia de los datos. Este enfoque no solo garantiza consultas rápidas y precisas, sino que también sienta las bases para una solución escalable, capaz de adaptarse a futuras necesidades de ampliación o incorporación de nuevos tipos de información.

6.2. Visualización Interactiva

La integración de Geoserver con herramientas de visualización como OpenLayers y Bootstrap ha proporcionado una interfaz de usuario intuitiva y responsive, permitiendo a los usuarios interactuar en tiempo real con los datos geoespaciales. La capacidad para superponer múltiples capas y realizar análisis visuales detallados mejora significativamente la interpretación de la información, facilitando la identificación de patrones y la toma de decisiones informadas. Esta visualización interactiva se ha revelado fundamental para el análisis de proyectos geotécnicos y geofísicos.

6.3. Mejora en la Gestión de los Datos

La centralización de datos provenientes de diversas fuentes y formatos en una única base de datos unificada ha optimizado la gestión de la información. La implementación de APIs RESTful y una arquitectura modular han permitido actualizar y mantener los datos de forma continua, garantizando su precisión y disponibilidad. Este enfoque mejora el flujo de trabajo, permitiendo a los profesionales obtener perspectivas valiosas y realizar análisis complejos que potencian la eficiencia en la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura.

En conjunto, **Wakah K'an** representa un avance significativo en el ámbito de los Sistemas de Información Geográfica, demostrando que la adopción de tecnologías open source y un diseño arquitectónico robusto pueden transformar la forma en que se gestionan y analizan los datos espaciales, aportando beneficios tangibles a la planificación y toma de decisiones en proyectos geotécnicos y geofísicos.

Referencias y Bibliografía:

- [1] OpenLayers. (s.f.). Measure example. Recuperado el 8 de Abril del 2025, de [https://openlayers.org/en/latest/examples/measure.html](#)
- [2] Autodesk. (s.f.). DWG file format overview. Recuperado el 8 de Abril del 2025, de <https://www.autodesk.com/autocad/dwg-format-overview>
- [3] RFC 4180. (2005). Common Format and MIME Type for CSV Files. Recuperado el 8 de Abril del 2025, de <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4180>
- [4] Esri. (s.f.). *Shapefile Technical Description*. Recuperado el 10 de Abril del 2025, de <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/how-shapefiles-work.htm>
- [5] Library of Congress. (2021). JSON (JavaScript Object Notation). Recuperado el 25 de septiembre de 2025, de <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000381.shtml>
- [6] Library of Congress. (2021). GeoJSON (Geographic JSON). Recuperado el 25 de septiembre de 2025, de <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000382.shtml>
- [7] OGC. (2019). GeoPackage Encoding Standard. Recuperado el 25 de septiembre de 2025, de <https://www.geopackage.org/spec/>
- [8] Esri. (s.f.). GeoParquet data format. Recuperado el 25 de septiembre de 2025, de <https://developers.arcgis.com/geoanalytics/data/data-sources/geoparquet/>
- [9] Franco, R. “*Geoportales y visores geográficos en Colombia*” (2016). Recuperado el 10 de Abril del 2025, de <https://www.studocu.com/pe/document/servicio-nacional-de-adiestramiento-en-trabajo-industrial/lenguaje/rodolfo-franco-geoportales-y-visores-geograficos-en-colombia-v1-61/66214205>
- [10] Llano Extremo (Blog). *Visores cartográficos, utilidad y futuro* (2016). Recuperado el 9 de Abril del 2025, de <https://llanoextremo.blogspot.com/2016/05/visores-o-visualizadores-cartograficos.html#:~:text=El%20visor%20cartogr%C3%A1fico%20es%20una,o%20enfermedades%20y%20ordenamiento%20territorial>
- [11] MappingGIS (Blog), “*¿Qué es la directiva INSPIRE?*” (2023), Historia y evolución de los Geoportales y Visores SIG, Estándares clave. Recuperado de <https://mappinggis.com/2023/03/10-tendencias-de-futuro-en-gis/#:~:text=1,AR>
- [12] History of GIS, Historia y línea de tiempo del SIG. Recuperado el 9 de Abril del 2025, de: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/history-of-gis#:~:text=2005%20Google%20Maps%20With%20the,is%20released%2C%20bringing%20cloud%20data>

- [13] Open Geospatial Consortium. (n.d.). *Nuestra historia*. Recuperado el 9 de abril de 2025, de <https://www.ogc.org/es/our-history/#:~:text=2005%3A%20Web%20Map%20Service%20,ISO>
- [14] Laboratorio iSTAR – UNAM. (s.f.). “*Geoportal Fronterizo México–Estados Unidos – Ficha técnica del proyecto*”. Recuperado el 10 de Abril del 2025, de <https://www.istar.igg.unam.mx/lab/geoportal-ficha-tecnica>
- [15] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (España). (s.f.). *Catálogo de sondeos* [Visor cartográfico]. Recuperado el 10 de Abril del 2025, de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-subterráneas/catalogo-de-sondeos.html>
- [16] Geoportal SGC. (2023). Mapa Geoportal Geotermia 2023 – Estación adquisición magnetotelúrica [Servicio REST]. Recuperado el 9 de abril de 2025, de https://geoportal.sgc.gov.co/arcgis/rest/services/Geotermia/Mapa_Geoportal_Geotermia_2023/MapServer/11
- [17] Minnesota Geological Survey. (n.d.). Geophysics [Web page]. ArcGIS Open Data. Recuperado el 9 de abril de 2025, de <https://mngs-umn.opendata.arcgis.com/pages/geophysics>
- [18] Alaska Department of Natural Resources. (s.f.). Alaska Geophysical Surveys Web Map: About. Recuperado el 9 de abril de 2025, de <https://gis.data.alaska.gov/maps/SOA-DNR::alaska-geophysical-surveys-web-map/about>
- [19] SNITCR. (s.f.). ICO Servicios OGC. Recuperado el 9 de abril de 2025, de https://www.snitcr.go.cr/ico_servicios_ogc#:~:text=El%20SNIT%20cuenta%20con%20dis tintos,SIG
- [20] Sistema de Información Geográfica de la Ciudad de México (SIEG). Recuperado el 29 de Septiembre de 2025, de <https://sieg.cdmx.gob.mx/>
- [21] Definición de IDE según INDAABIN. Recuperado el 10 de Octubre de 2025, de <https://sistemas.indaabbin.gob.mx/IDE/acercaDe.aspx>
- [22] Ballari, D., Siabato, W., Claramunt, C., Mata, F., Zagal, R., & Franco, R. (2025). On the development of open geographical data infrastructures in Latin America: progress and challenges. *ArXiv Preprint*, recuperado de <https://arxiv.org/abs/2501.13235?utm>
- [23] Velastegui-Cáceres, J., Rodríguez-Espinosa, V. M., & Padilla-Almeida, O. (2020). Urban cadastral situation in Ecuador: Analysis to Determine the Degree of Proximity of the Cadastral Systems to the 3D Cadastral Model. *Land*, 9(10), 357, recuperado el 10 de Octubre de 2025 de <https://www.mdpi.com/2073-445X/9/10/357>

- [24] PostGIS Development Group. (2025). *Manual PostGIS 3.7.0dev. PostGIS*. Recuperado de <https://postgis.net/docs/manual-dev/postgis-es.html>
- [25] Gobierno de España. (2019). *Guía práctica para la publicación de datos espaciales*. Portal datos.gob.es. Recuperado de https://datos.gob.es/sites/default/files/doc/file/guia_publicacion_datos_espaciales.pdf
- [26] International Organization for Standardization. (2005). ISO 19128:2005 Geographic information Web map server interface. ISO. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/32546.html>
- [27] International Organization for Standardization. (2010). ISO 19142:2010 — Geographic information — Web Feature Service. ISO. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/42136.html>
- [28] Open Geospatial Consortium. (2012). OGC 09-110r4 — Web Coverage Service (WCS) 2.0 Interface Standard — Core. OGC. Recuperado de <https://docs.ogc.org/is/09-110r4/09-110r4.html>
- [29] International Organization for Standardization. (2007). ISO 19115:2003/Cor 1:2006 — Geographic information — Metadata (enlace con OGC CSW 2.0.2 ISO Metadata Application Profile). ISO. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/26020.html>
- [30] Open Geospatial Consortium. (2007). OGC 05-007r7 — Web Processing Service (WPS) Implementation Specification 1.0.0. OGC. Recuperado de <https://docs.ogc.org/is/05-007r7/05-007r7.html>
- [31] Dailey, M., & Herring, J. (2008). RFC 5165 — A Uniform Resource Name (URN) Namespace for the Open Geospatial Consortium (OGC). *Internet Engineering Task Force (IETF)*. Recuperado de <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5165>
- [32] Morales Bautista, E. M., Vázquez Paulino, J. C., González Moreno, J. O., & Backhoff Pohls, M. A. (2015). Diseño, conformación y desarrollo del geoportal interno del Consejo de Información y Tecnología Geoespacial – IMT (CITGeo) (Publicación Técnica No. 431). *Instituto Mexicano del Transporte*. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt431.pdf>
- [33] GeoServer. (2024). GeoServer User Manual (Version 2.24.2). *The Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)*. Recuperado de <https://docs.geoserver.org/latest/en/user/>
- [34] QGIS Development Team. (2024). QGIS Server Documentation (Version 3.34). Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Recuperado de https://docs.qgis.org/latest/en/docs/server_manual/

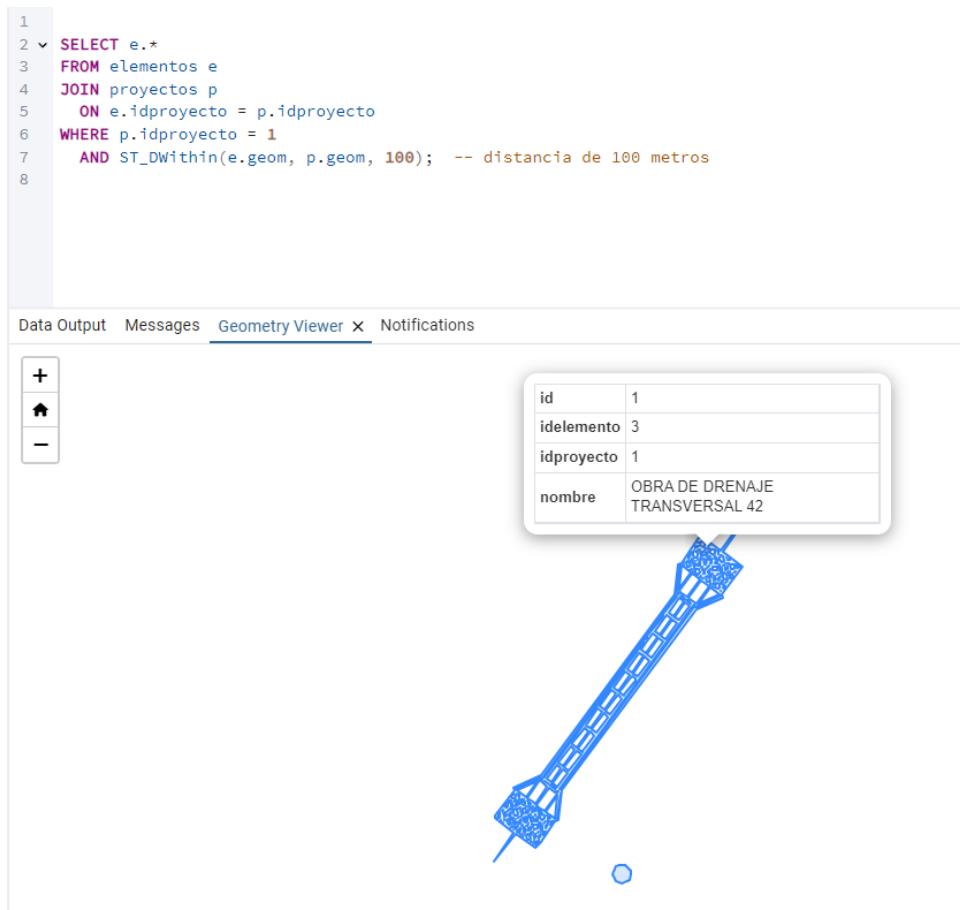
- [35] IEEE. (1999). IEEE Standard 802.3ab: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 1 Gb/s Operation over a Single Twisted-Pair Copper Cable. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Recuperado de https://standards.ieee.org/standard/802_3ab-1999.html
- [36] Fielding, R. T. (2000). Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. University of California, Irvine. Recuperado de https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm
- [L1]: Peña Llopis Juan, “Sistemas de Información Geográfica aplicados a Gestión de Territorio”, Editorial Club Universitario, San Vicente (Alicante), primera edición.
- [L2]: Olaya, V. (2020). Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de <https://volaya.github.io/libro-sig/>
- [L3] Colomina, I., & Molina, P. (2014), ”Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing”, Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271614000501?via%3Dihub>
- [L4] Groves, P. D. (2013), ”Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems”. Artech House.
- [L5] Zizumbo Velasco, A. J. (2023). ”Implementación de una interfaz SIG web para el despliegue del pronóstico meteorológico”, Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [L6] Aveni, A. F. (2001). ”Skywatchers: A Revised & Updated Version of Skywatchers of Ancient Mexico”, University of Texas Press.
- [L7] Barrera Vásquez, A. (1980). ”Diccionario Maya Cordemex: Maya-Español, Español-Maya.” Editorial Cordemex.

Anexos y Reportes

1. Ejemplos de Consultas Espaciales

Ejemplo A: Obtener las obras cercanas a un Proyecto

Para esta consulta se usa la función `ST_DWITHIN` para ver que elementos están cerca de un proyecto específico. Se hace en las tablas “*proyectos*” y en “*elementos*”. Se buscan elementos cercanos al proyecto con `idproyecto = 1`.



The screenshot shows a PostgreSQL query interface with the following details:

- SQL Query:**

```
1
2 v SELECT e.*
3   FROM elementos e
4     JOIN proyectos p
5       ON e.idproyecto = p.idproyecto
6 WHERE p.idproyecto = 1
7   AND ST_DWithin(e.geom, p.geom, 100); -- distancia de 100 metros
8
```
- Table Data:**

id	1
idelemento	3
idproyecto	1
nombre	OBRA DE DRENAGE TRANSVERSAL 42
- Geometry Viewer:** A map showing a blue line representing a drainage structure (OBRA DE DRENAGE TRANSVERSAL 42) and a small blue circle representing the project point (idproyecto = 1).

Figura 7.0.1 – Captura de pantalla de una consulta en postgres

Ejemplo B: Consulta por Intersección

Aquí hice una identificación de los proyectos que se encuentren dentro de la zona con *idzona* = 3, esto funciona porque cada proyecto está dentro de alguna de las zonas que se tienen en la tabla de *zonas*.

```
3
4 SELECT p.idproyecto, p.nombre, p.geom
5   FROM proyectos p
6 JOIN zonas z ON ST_Intersects(p.geom, z.geom)
7   WHERE z.idzona = 3;
```

Data Output Messages Geometry Viewer Notifications

SQL

	idproyecto bigint	nombre character varying (20)	geom geometry
1	1	tramo uno tren maya	
2			

Figura 7.0.2 - Captura de pantalla de una consulta en postgres.

2. Proceso de consultas en la aplicación

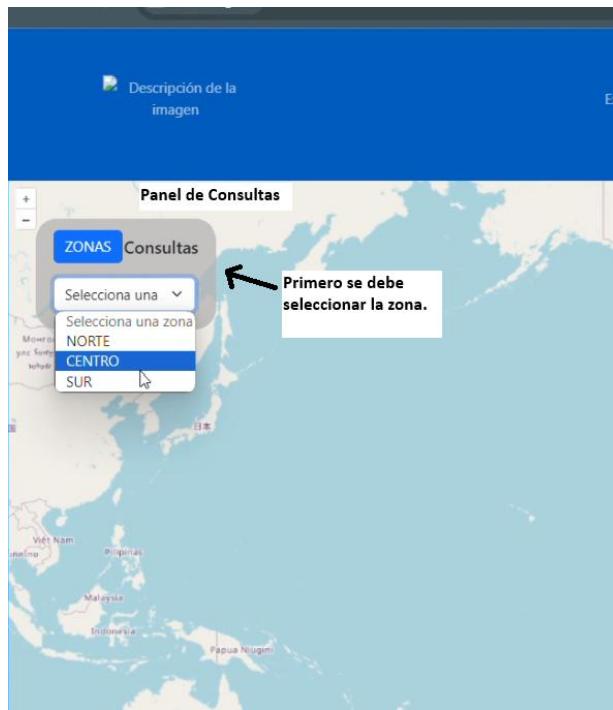


Figura 8.1 - Muestra como se hace la consulta, empezando por elegir una zona.

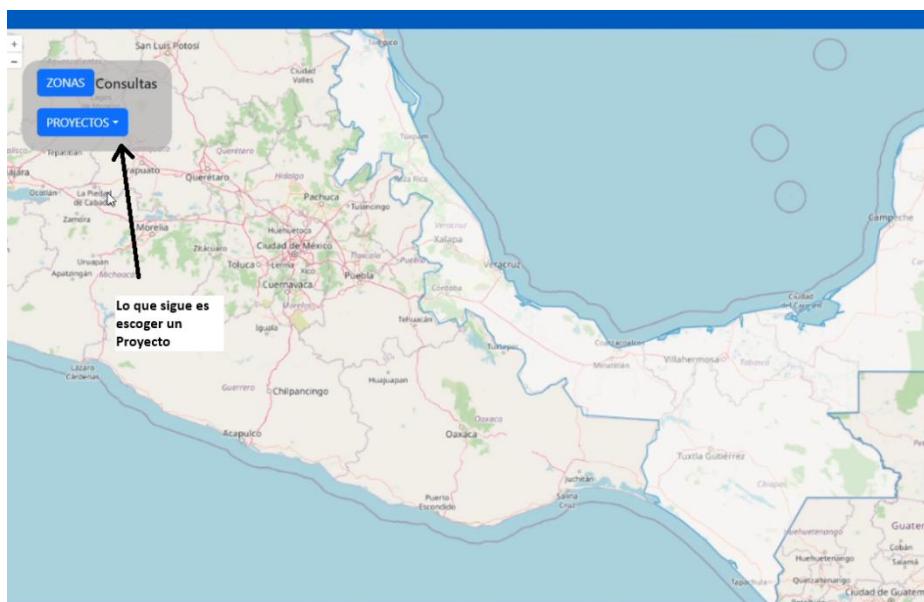


Figura 8.2 – El siguiente filtro es escoger un proyecto.

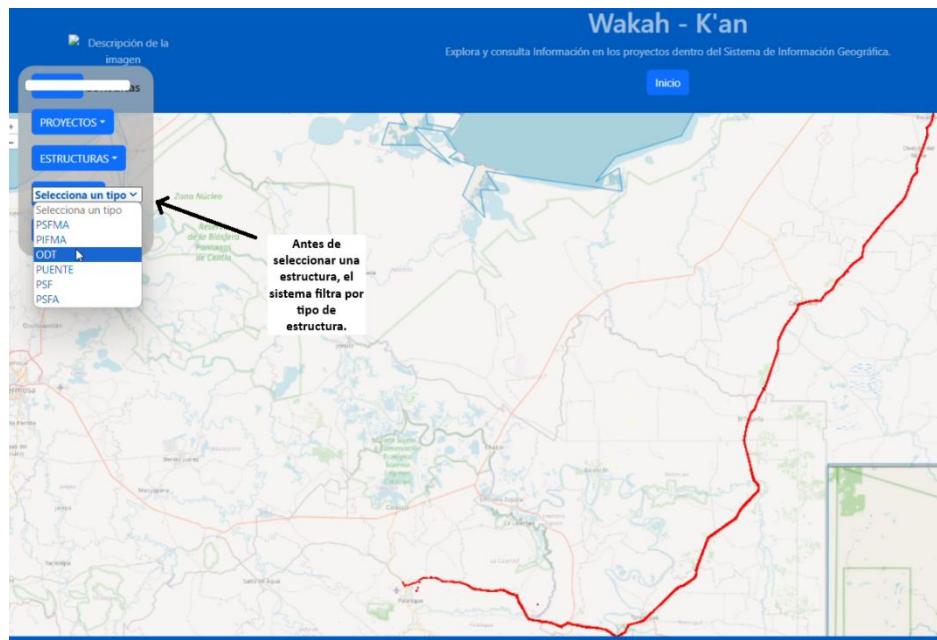


Figura 8.3 – Luego de escoger un proyecto se habilita un selector para filtrar entre los tipos de obras que hay en el proyecto.

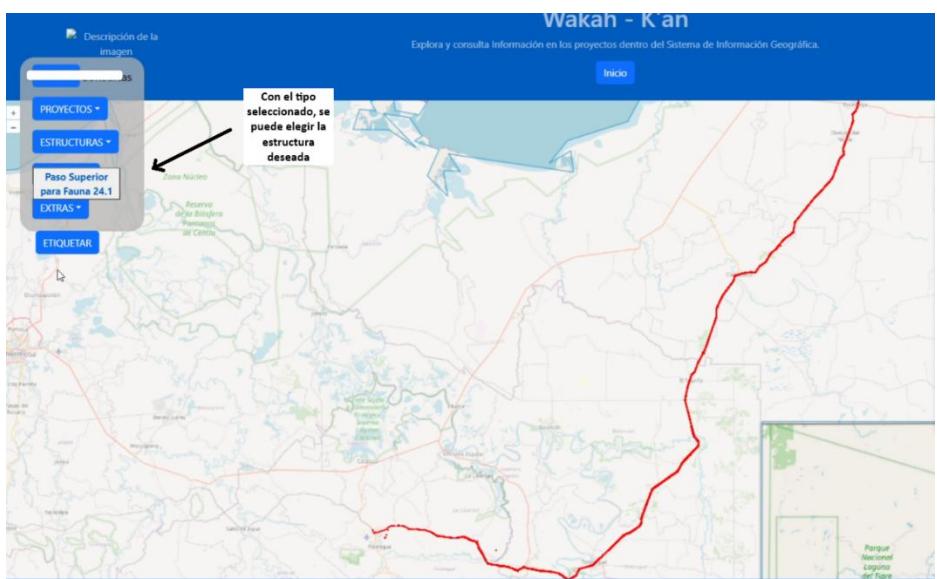


Figura 8.4 – Continúa escogiendo la obra.

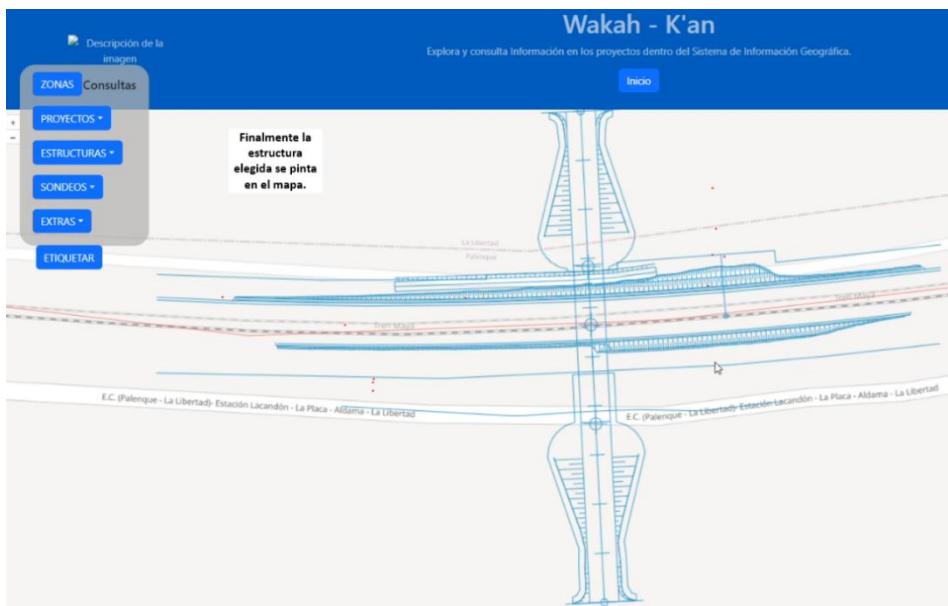


Figura 8.5 – En esta figura se muestra una obra seleccionada.

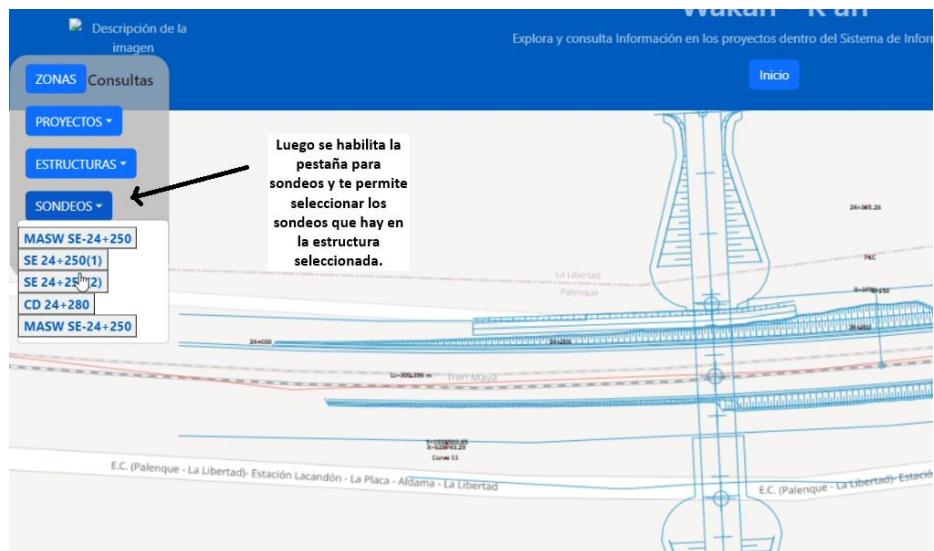


Figura 8.6 – Lo siguiente es dar clic en sondeos para obtener los sondeos de la obra y poder mostrarlos uno a uno en el mapa al seleccionarlos.



Figura 8.7 – Captura de pantalla de la vista de datos rápidos al dar clic en un sondeo (puntos verdes).