Desarrollo de un Visor Geográfico Web para la Gestión Ambiental de la Captación de Agua Subterránea en la Vereda Girón de Resguardo

Wagner Barbosa Bejarano, Jorge Alejandro Martínez Sanabria y Steak Lizcano Aguja

Ingeniería de Sistemas, Fundación Universitaria Compensar

Proyecto Fin de Grado para la Facultad de Ingeniería

Ing. Angie Paola Rique Sabogal

03 de Octubre 2023

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto principalmente a Dios, por permitirnos culminar esta etapa tan importante de nuestras vidas. A nuestras esposas, Mónica Alejandra Bustos (Steak Lizcano Aguja), Soraida Maria Tarazona (Jorge Alejnadro Martinez Sanabria) y Liliana María Rojas Neira (Wagner Barbosa Bejarano), hijos y padres; por su compañía y apoyo en esta lucha por cumplir nuestros sueños. La presencia de ellos ha sido fundamental en el desarrollo y consecución de este logro.

"Pero gracias sean dadas a Dios, que nos da la victoria por medio de nuestro Señor Jesucristo". 1 Corintios 15:57

Agradecimientos

Agradecemos principalmente a Dios por darnos la sabiduría, el entendimiento y la fortaleza para realizar este proyecto. Agradecemos a nuestras familias y padres por el apoyo incondicional, por la confianza depositada, por el esfuerzo que realizaron día a día, por el compromiso hacia nosotros y nuestros hermanos, así como la gran dedicación que permiten que podamos obtener este nuevo logro en nuestras vidas.

Agradecemos a directivos, docentes, compañeros y amigos de las Fundación Universitaria Compensar por su apoyo académico. A nuestra tutora Angie Paola, por su colaboración y cumplimiento a cabalidad de su importante labor como coordinadora de este trabajo de grado, brindándonos su conocimiento y compromiso en el desarrollo del proyecto.

Resumen

La implementación de un Visor Geográfico Web en el municipio de Cáqueza del departamento de Cundinamarca permite un acceso visual de la información geoespacial relevante sobre los recursos hídricos subterráneos. Esto facilita la toma de decisiones informadas para el manejo adecuado de estos recursos, la planificación territorial y la conservación ambiental, beneficios que incluyen la evaluación ambiental, análisis de riesgos, participación comunitaria y la promoción de prácticas sostenibles. El visor geográfico es una herramienta esencial para enfrentar la escasez hídrica y proteger los ecosistemas en esta región.

Palabras clave: Visor Geográfico, Agua Subterránea, Protección Ambiental, Ingeniería de Requerimientos, Programación Web.

Abstract

The implementation of a Web Geographic Viewer in the municipality of Cáqueza, located in the department of Cundinamarca, provides a visual and straightforwars access to relevant geospatial information regarding underground water resources. This facilitates informed decision-making for the proper management of these resource, territorial planning, and environmental, risk analysis, community participation, and the promotion of sustainable practices. The geographic viewer stands as an essential tool to address water scarcity and protect the ecosystems in this region.

Keywords: Geographic Viewer, Groundwater, Environmental Protection, Requirements Engineering, Web programming.

Contenido

Introducción 12
Capítulo I. Generalidades 14
Antecedentes y Justificación 14
Planteamiento del problema e hipótesis 16
Objetivos 18
Objetivo general 18
Objetivos Específicos 18
Alcances y Limitaciones 18
Alcance espacial 20
Alcance técnico 20
Capítulo II. Marco de Referencia 21
Marco Conceptual 21
Visor geográfico web o Geoportal 21
Sistemas de Información Geográfica. 21
Sistema de Posicionamiento Global (GPS) 22
OpenStreetMap 22
Leaflet 22
OpenLayers 23
Mapbox GL JS 23
GeoJSON 23
Shapefile 24
Qgis 24
Marco teórico 24
Ciclo de Vida del Software 24
Arquitectura Cliente/Servidor 25

Datos geoespaciales 25
Ingeniería de requisitos o requerimientos (IR) 27
Marco Normativo 27
Marco Espacial 28
Aspectos generales 28
Localización 29
Límites 30
Superficie 30
Aspecto social 31
Aspectos biofísicos 32
Capítulo III. Metodología 33
Fase diagnóstica o descriptiva 33
Fase de Diseño 39
Requisitos 39
Interfaz de usuario 39
Organización de la información geográfica 40
Fase de Desarrollo 40
Construcción de la funcionalidad 40
Integración de datos geográficos 41
Fase de Validación 41
Pruebas y depuración 41
Documentación 41
Capítulo IV Ejecución del Proyecto 42
Requerimientos del sistema 42
Requerimientos funcionales 42
Requerimientos no funcionales 43
Diseño 44
Casos de uso 45

Diagrama de Componentes 49
Diagrama entidad relación 49
Implementación 50
Enlace de ingreso al aplicativo 50
Autenticación de los usuarios 51
Interfaz gráfica 53
Visualizar la información geográfica 53
Administrar capas de información geográfica 56
Consultar información geográfica y de pozos 60
Consultar y exportar datos 61
Módulo de Administrador 62
Capítulo V. Presupuesto 64
Descripción de Costo de Insumos y Materiales 64
Descripción De Viáticos 65
Descripción de Costos por Honorarios 65
Presupuesto Global 66
Capítulo VI. Cronograma de Actividades 67
Capítulo VII. Resultados 69
Evaluación de Resultados 71
Capítulo VIII. Conclusiones 75
Bibliografía 77

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de la vereda Girón de Resguardo (Los autores 2023). 29
Figura 2. División política del municipio de Cáqueza (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023). 30
Figura 3. Unión de los mapas base y determinación del área de estudio (Los autores 2023). 36
Figura 4. Digitalización de la capa de Curvas de Nivel (Los autores 2023). 37
Figura 5. Extracción de la capa de Tipo de Suelo del área de estudio (Los autores 2023). 38
Figura 6. Preparación de la capa de Uso y Cobertura del suelo (Los autores 2023). 38
Figura 7. Diagrama de casos de uso (Los autores 2023). 48
Figura 8. Diagrama de componentes (Los autores 2023). 49
Figura 9. Diagrama entidad relación (Los autores 2023). 50
Figura 10. Interfaz de inicio del Visor Geográfico (Los autores 2023). 51
Figura 11. Login para ingresar al aplicativo (Los autores 2023). 52
Figura 12. Modulo para registrar cuenta (Los autores 2023)..... 52
Figura 13. Modulo para restablecer cuenta (Los autores 2023)..... 52
Figura 14. interfaz gráfica del visor geográfico (Los autores 2023)..... 53
Figura 15. Control del nivel de zoom (Los autores 2023). 54
Figura 16. administrador de capas (Los autores 2023). 54
Figura 17. Cuadro de coordenadas de ubicación (Los autores 2023). 54
Figura 18. Mini mapa (Los autores 2023). 55
Figura 19. Menú desplegable de ubicación de pozos (Los autores 2023). 55
Figura 20. función desplazar o (pan) (Los autores 2023). 56
Figura 21. herramienta de control de escala (Los autores 2023). 56
Figura 22. Mapa base OpenStreetMap (OSM) (Los autores 2023). 57
Figura 23. Mapa base Google Satellite (Los autores 2023). 58
Figura 24. Mapa de tipo de suelo (Los autores 2023)..... 58
Figura 25. Mapa de uso y cobertura del suelo (Los autores 2023). 59

Figura 26. Mapa de curvas de nivel (Los autores 2023). 59
Figura 27. Objeto de control que visualiza la información de cada capa (Los autores 2023). 60
Figura 28. Función del popup en el mapa de curvas de nivel (Los autores 2023)..... 60
Figura 29. Función del popup en cada pozo (Los autores 2023). 61
Figura 30. Opción Consulta de datos (Los autores 2023)..... 61
Figura 31. Modulo para descargar información de pozos (Los autores 2023). 62
Figura 32. Módulo de Administrador (Los autores 2023). 63
Figura 33. Gráfico de los resultados de la evaluación de calidad (Los autores 2023)..... 74

Lista de Tablas

Tabla 1. Legislaciones relacionadas al agua subterránea en Colombia (Legislación Colombiana 2023). 28

Tabla 2. Variables usadas para la recolección de la información (Los autores 2023). 35

Tabla 3. Costo de Insumos y Materiales (Los autores 2023). 64

Tabla 4. Descripción de Viáticos (Los autores 2023). 65

Tabla 5. Costos por Honorarios (Los autores 2023). 66

Tabla 6. Presupuesto Global (Los autores 2023). 66

Tabla 7. Cronograma de actividades (Los autores 2023). 68

Tabla 8. Lista de chequeo requerimientos (Los autores 2023). 70

Tabla 9. Características de calidad ISO/IEC 25010 (NormasISO.org, 2020). 71

Tabla 10. Aspectos para evaluar ISO/IEC 25010 (NormasISO.org, 2020). 71

Tabla 11. Criterios de calificación (Los autores 2023). 72

Tabla 12. Resultado evaluación (Los autores 2023). 73

Tabla 13. Promedio de calificación (Los autores 2023). 73

Introducción

Actualmente, con el fin de suplir las necesidades de abastecimiento de agua potable, la extracción de agua subterránea es una buena alternativa en comparación con las fuentes de agua superficiales; ya que esta se encuentra en gran medida sin contaminar. (Secretaría De Ambiente Bogotá, 2022).

El Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Cáqueza Cundinamarca, nos muestra la existencia de grupos poblacionales que no tienen el acceso al recurso hídrico debido a variados factores como el cambio climático, la sequía, la tala de bosque nativo, el inadecuado uso de la tierra, la alta demanda hídrica en el sector agropecuario e industrial y el aumento de la población en este territorio del oriente de Cundinamarca (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Según el EOT, la importante deficiencia hídrica, se concentra mayormente en la zona norte del municipio, donde se ubica la Vereda Girón de Resguardo. Allí las microcuencas son efímeras, dado que sólo tienen caudal en temporada de lluvias y este desemboca al Río Cáqueza, y este a su vez forma parte de la cuenca del Río Negro. (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023)

En el municipio de Cáqueza existe una deficiencia de lluvias entre los meses de diciembre a abril, por esta razón el recurso hídrico es escaso en esta temporada. (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023). Además, son muy pocas las veredas que cuentan con el servicio de acueducto rural, esto lleva a la comunidad a utilizar pozos hídricos para satisfacer esta necesidad; especialmente en la zona norte del río Cáqueza (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023). Por lo tanto, se generó interés de presentar una propuesta para desarrollar un prototipo de un visor geográfico web, para la gestión ambiental de la captación de agua subterránea en la Vereda Girón de Resguardo del municipio de Cáqueza del departamento de Cundinamarca, permitiendo a los usuarios visualizar y explorar datos

geoespaciales en un entorno en línea, para que los entes responsables puedan tomar decisiones y propender por su adecuado manejo, protección y conservación.

Capítulo I. Generalidades

Antecedentes y Justificación

El desarrollo de visores geográficos en la web aplicados a recursos naturales ofrece al usuario acceder a información geográfica de una manera fácil (Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital - IDECA, 2019). Visualizar y explorar datos geoespaciales de recursos naturales en un entorno en línea tiene como finalidad fomentar, guiar y reglamentar las buenas prácticas ambientales. El desarrollo de estas tecnologías está basado en software de código abierto, normativas accesibles y con directrices de las Infraestructuras de Datos Espaciales (Secretaría De Ambiente Bogotá, 2020).

En Colombia, se encuentra en ejecución el programa PNASUB del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, donde se hace referencia al agua subterránea, como componente importante del ciclo hidrológico e identifica el marco normativo existente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Por tal razón, la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá cuenta con un visor geográfico el cual permite conocer el número de pozos, su ubicación y el tipo de captación, sin embargo, solo cubre el territorio de la ciudad y solo se muestra la ubicación, más no la información técnica (Secretaría De Ambiente Bogotá, 2021).

La Oficina de Planeación Municipal de Cáqueza cuenta con información cartográfica de uso propuesto del suelo elaborada en el año 2007 con fuente principal de cartografía base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000 de los años 1978 y 1989 (Infraestructura de Datos Espaciales Cundinamarca IDEC, 2020). Esta información se encuentra almacenada en formato .dwg, shapefile, PDF y GDB la cual es gestionada por la oficina de

planeación del municipio. Posteriormente, la Secretaría de Planeación de la Gobernación de Cundinamarca, elaboró un modelo digital del terreno a nivel departamental que trata de una malla de celdas raster con una separación de un 1 metro, que cubre solo una porción del área rural y totalmente la cabecera municipal de Cáqueza que comprende a 93.65 Ha efectivas (Infraestructura de Datos Espaciales Cundinamarca IDEC, 2023).

Actualmente el Municipio de Cáqueza no cuenta con una plataforma que contenga información geográfica integrada para la realización de consultas y análisis espaciales. Lo anterior, implica la presencia de desinformación relacionada, lo que no permite tomar decisiones oportunas e inteligentes en la gestión ambiental, más específicamente en la captación de agua subterránea.

Es necesario recordar, que el suministro de agua potable es vital para mejorar la calidad de vida de los habitantes de una ciudad o municipio. Así mismo, es fundamental para su desarrollo económico y social (Naciones Unidas, 2020). A medida que la población requiere cada vez más agua de buena calidad, se vuelve imprescindible utilizar los recursos hídricos subterráneos para satisfacer esta demanda y cubrir las necesidades del desarrollo municipal, industrial y agrícola (Axel Dourojeanni, 2022).

La implementación de un Visor Geográfico Web permitirá a los entes responsables y a la comunidad en general acceder de manera visual a la información geoespacial relevante. La visualización y exploración de datos geográficos en línea facilitará la toma de decisiones informadas en cuanto al manejo adecuado de los recursos hídricos subterráneos. La administración del municipio podrá identificar áreas prioritarias, establecer medidas de protección, implementar políticas de conservación y promover prácticas sostenibles en el uso del agua y la gestión del territorio.

La propuesta de desarrollo de un Visor Geográfico Web para la gestión ambiental de la captación de agua subterránea en la Vereda Girón de Resguardo del Municipio de Cáqueza responde a la necesidad de tener una información geoespacial unificada que facilite el proceso de tomar decisiones y así minimizar impactos negativos en los recursos hídricos subterráneos, que promueva la conservación ambiental en una zona caracterizada por la escasez hídrica y el deterioro de los ecosistemas.

Planteamiento del problema e hipótesis

El municipio de Caqueza tiene una amplia zona rural, que cubre el 80% de su extension total, se caracteriza por estar dividida en minifundios donde se realizan actividades agricolas y pecuarias con baja tecnificacion. Los suelos son de regular calidad donde su fertilidad está determinada de media a baja, lo que obliga a los agricultores a hacer uso excesivo de fertilizantes para obtener rendimientos en el cultivo; siendo estas sustancias la principal causa de contaminacion de aguas subterraneas (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

La mayoría de las veredas de Cáqueza son zonas donde la utilización del suelo supera su capacidad, generando graves inconvenientes para el ecosistema al estar ocupadas en actividades agropecuarias, aun cuando estas se encuentran en áreas de conservación y protección. En este contexto, la vereda Girón de Resguardo está clasificada como zona de sensibilidad ambiental, lo que la hace susceptible al deterioro. Sumado a esto, en el lugar se practica la tala indiscriminada de bosque autóctono (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

En el municipio de Cáqueza existen dos áreas hidrológicamente bien delimitadas. La región ubicada al sur se distingue por tener una mayor cantidad de arroyos que la atraviesan, donde sus aguas fluyen durante una parte significativa del año.

Al norte del Municipio donde se encuentra la vereda Girón de Resguardo se cuenta con una situación diferente, siendo corrientes con un bajo caudal de agua durante gran parte del año y con un escaso cubrimiento de arroyos, lo que obliga a sus habitantes a la utilización de pozos de agua subterránea. Esto se ha convertido en una opción para satisfacer las demandas del suministro de agua potable, ya que la mayoría de las veredas no disponen del servicio de acueducto (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

El uso de pozos de agua se realiza sin ningún tipo de precauciones para prevenir la contaminación. En el municipio de Cáqueza, los habitantes practican actividades no recomendables cerca del área de captación como son pastoreo de ganado y la utilización de fertilizantes. Adicionalmente, la actividad agrícola ha surgido mediante la deforestación del bosque autóctono, lo que conlleva a una inadecuada disposición de basuras y aguas residuales, ya que, el alcantarillado rural es inexistente, y, por tanto, los habitantes de las distintas veredas se ven forzados a liberar los desechos al aire libre. El 34% de las aguas residuales se descargan en fosas sépticas construidas sin seguir ninguna guía técnica, lo que contribuye a la contaminación del suelo y las aguas subterráneas (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

La parcelación de las fincas por el crecimiento de la población en este sector, a incrementando la construcción de viviendas y pozos de aguas negras cerca de puntos de captación de agua potable y no se han tomado medidas preventivas a la contaminación (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Lo descrito anteriormente, plantea la siguiente cuestión: ¿Cómo a partir de información geoespacial es posible el desarrollo de un Visor Geográfico Web en la Vereda Girón de Resguardo

del Municipio de Cáqueza en Colombia, que permita la caracterización de pozos de captación de agua subterránea?

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un prototipo funcional de un Visor Geográfico Web para la gestión ambiental de la captación de agua subterránea en la Vereda Girón de Resguardo, a partir de información geoespacial.

Objetivos Específicos

1. Establecer los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema que permitan el desarrollo del visor geográfico.
2. Diseñar la arquitectura del software mediante diagramas de historia de usuarios y casos de uso que permita la administración estructurada de la información.
3. Implementar el prototipo del visor geográfico web teniendo en cuenta su compatibilidad y desempeño funcional.

Alcances y Limitaciones

La aplicación de un Visor Geográfico Web para la gestión ambiental de la captación de agua subterránea en la Vereda Girón de Resguardo del Municipio de Cáqueza ofrece beneficios como:

1. *Acceso y visualización de datos geoespaciales*: Mediante el visor geográfico, los usuarios pueden acceder y visualizar de una manera fácil a datos geoespaciales relevantes, como la ubicación de los pozos de agua subterránea, las áreas de captación,

la red de corrientes y las zonas de fragilidad ecológica. Esto permite comprender la distribución espacial del recurso hídrico y su relación con el entorno natural.

2. *Evaluación y análisis ambiental*: El visor geográfico facilita la evaluación ambiental de los puntos de agua subterránea, identificando posibles fuentes de contaminación y riesgos asociados. Se superponen capas de información, como tipo de suelo y la ubicación de actividades antrópicas potencialmente contaminantes, así como la capa de curvas de nivel para identificar la altura sobre el nivel del mar de puntos específicos del área de estudio. Esto permitirá realizar análisis espaciales y tomar decisiones informadas para la protección y conservación de los recursos hídricos.
3. *Toma de decisiones y planificación*: Los entes responsables, como la Alcaldía Municipal y las autoridades ambientales, podrán utilizar la información proporcionada por el visor geográfico para tomar decisiones estratégicas en cuanto al manejo adecuado de los recursos hídricos subterráneos. Podrán identificar áreas prioritarias para la implementación de medidas de protección, establecer zonas de conservación, definir normativas y promover prácticas sostenibles en el uso del agua y el territorio.
4. *Participación comunitaria*: El visor geográfico web también puede ser una herramienta de participación ciudadana, permitiendo a la comunidad acceder a la información y visualizar el estado de los recursos hídricos en su área. Esto fomentará la conciencia ambiental y el compromiso de los habitantes en la conservación del agua y el entorno natural. Además, podrán reportar situaciones de riesgo o contaminación a través de la plataforma, lo que facilitará la detección temprana de problemas y la respuesta oportuna por parte de las autoridades.

Alcance espacial

El visor geográfico web se diseñará para disponer información geográfica que cubra la vereda Girón de Resguardo del Municipio de Cáqueza, del Departamento de Cundinamarca; no obstante, el usuario podrá explorar otras áreas de los mapas base disponibles en el aplicativo.

Alcance técnico

El proyecto técnicamente está enfocado en el desarrollo de un visor geográfico web que ofrece funcionalidades esenciales de navegación como: vista principal, aumentar vista (zoom in), disminuir vista (zoom out), desplazamiento en todos los puntos cardinales (paneo), cambio de escala, visualización de coordenadas del cursor; así como también de contar con funcionalidad para administración de capas temáticas en formato GeoJSON y capas base como Open Street Map y Google Satellite.

El visor geográfico permite consultar la información atributiva de los pozos donde se sustrae el agua subterránea por medio de un popup, también se puede visualizar la información atributiva de las capas de información temáticas dispuestas en formato GeoJSON, a través de un objeto control que visualiza los datos al interactuar el cursor con cada objeto o polígono de cada capa, resaltándolos visualmente de un color diferente.

Capítulo II. Marco de Referencia

Marco Conceptual

Es importante conocer los conceptos involucrados en el desarrollo del Visor Geográfico Web que son claves en la estructura argumentativa del proyecto siendo estos los más importantes:

Visor geográfico web o Geoportal

Un visor geográfico o cartográfico web es un programa interactivo para la observación, consulta y estudio de información geográfica. Las diferencias entre un visor geográfico web y un SIG (sistema de información geográfica) han cambiado notablemente por el adelanto en la tecnología, lo que facilita la posibilidad de tener un sistema de información geográfica integrar en internet lo que se llama como un SIG Web (Geoinnova, 2021).

La brecha que marca actualmente entre estos dos sistemas es que los sistemas de información geográfica son usados en equipos de escritorio o localmente, mientras que un visor geográfico es una aplicación que se puede visualizar o ejecutar en cualquier lugar donde haya conexión a internet independientemente del equipo que se esté utilizando. (Geoinnova, 2021)

Sistemas de Información Geográfica.

El sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta que posibilita la recolección, administración y análisis de datos geográficas, el SIG incorpora diversos tipos de información y analiza su ubicación en la superficie de un territorio. Utilizando mapas y visualización en 3D, el SIG ayuda a revelar patrones, relaciones y situaciones, proporcionando un

mayor entendimiento de los datos. Esto permite al usuario tomar decisiones más informadas e inteligentes (ESRI España, 2023).

Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Un sistema de posicionamiento por satélite proporciona información precisa de posición, navegación y tiempo a los usuarios. Este sistema está disponible constantemente a nivel mundial y no depende de las condiciones meteorológicas. En resumen, el sistema de navegación por satélite ofrece una forma confiable de determinar la ubicación y la navegación, sin importar la ubicación geográfica o las condiciones climáticas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2018).

OpenStreetMap

El proyecto colaborativo de mapas editables y libres es una iniciativa impulsada por una comunidad global de mapeadores. Se trata de un claro ejemplo de colaboración abierta conocido como "crowdsourcing". En este proyecto, los usuarios se dedican a recopilar datos cartográficos con el objetivo de crear un mapa detallado del mundo. La idea es contar con la participación de personas de diferentes lugares, quienes contribuyen con sus conocimientos y experiencias para enriquecer el mapa global. En resumen, este proyecto fomenta la colaboración abierta y la participación ciudadana para crear un mapa del mundo lo más completo posible (Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba, 2020).

Leaflet

Leaflet es una librería de código abierto de JavaScript que facilita la creación de mapas interactivos. Es una opción ligera, sencilla y muy versátil para la visualización de datos geográficos en aplicaciones web. Leaflet se destaca por su simplicidad de operación y su amplio conjunto de

características, lo que la convierte en una alternativa libre y gratuita a Google Maps (Grandes, 2017).

OpenLayers

OpenLayers es una librería JavaScript de alto rendimiento diseñada para crear mapas interactivos en la web. Ofrece una amplia variedad de funcionalidades, permite la visualización de mapas teselado, datos vectoriales y marcadores provenientes de diversas fuentes. OpenLayers ha sido desarrollado con el objetivo de promover el uso de información geográfica en todo tipo de aplicaciones web (Grandes, 2017).

Mapbox GL JS

Mapbox GL JS es una biblioteca de JavaScript que usa WebGL, una tecnología gráfica de aceleración por hardware, para crear mapas interactivos a partir de mosaicos vectoriales. Proporciona una visualización eficiente y fluida de los datos geográficos en aplicaciones web, permitiendo la visualización de mapas personalizados con una amplia gama de estilos y capas de información (ESRI Colombia, 2023).

GeoJSON

Es un estándar abierto para compartir datos geoespaciales, se utiliza para representar entidades geográficas y sus atributos en forma de objetos. Este formato está basado en JavaScript Object Notation (JSON) y permite representar una amplia gama de datos geográficos en formato codificado, como puntos, líneas y polígonos, junto con sus propiedades no espaciales. GeoJSON se utiliza en aplicaciones web y sistemas de información geográfica (SIG) para intercambiar y analizar datos geoespaciales de manera eficiente (ArcGis Enterprise, 2023).

Shapefile

Es un formato de archivo para almacenar datos vectoriales desarrollado por Esri, que se usa para guardar la posición, la geometría y las características de entidades geográficas. Consiste en una serie de archivos interconectados que incluyen un tipo de entidad. El shapefile es utilizado en herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) de escritorio y son adecuados para almacenar entidades geográficas grandes con una gran cantidad de datos asociados. Este formato se ha establecido como estándar en la industria ya que permite representar y analizar datos geográficos de manera eficiente (ArcGis Enterprise, 2023).

Qgis

Es un SIG (Sistema de Información Geográfica) de software libre con licencia General Public License GNU. El QGIS es una iniciativa respaldada oficialmente por Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Es compatible con Windows, Mac, Linux, Unix, Android y OSX. Ofrece soporte para una variedad de formatos y funciones para datos ráster, vectoriales y bases de datos (QGIS, 2022).

Marco teórico

Ciclo de Vida del Software

En la década de 1970 se estableció una perspectiva de desarrollo del software, propuesto por Winston Walker Royce, mediante un modelo de ciclo de vida en cascada. Este método representa el ciclo típico del desarrollo de software, implementando un procedimiento sistemático y progresivo de desarrollo que inicia con la ingeniería de sistemas y avanza mediante el análisis, planificación, programación, evaluación y mantenimiento. Normalmente, el ciclo de desarrollo de software se separa en tres etapas: planificación, desarrollo y mantenimiento, que comprenden a las

seis fases (Ingeniería del sistema, análisis de los requerimientos, diseño, programación, evaluación y mantenimiento) convencionales en el ciclo de vida del software (Fernando Alonso, 2005).

En la etapa de planificación del software abarca las fases de Ingeniería del sistema o análisis del sistema, específicamente la definición de los requisitos de software (Plan de Software) y su análisis, se traduce en una "Especificación de Requerimientos". La fase de desarrollo incluye las etapas de diseño, programación, pruebas y despliegue, la fase de mantenimiento incorpora únicamente la etapa propia del mantenimiento (Fernando Alonso, 2005).

Arquitectura Cliente/Servidor

El diseño arquitectónico más común se fundamenta en el modelo conocido como Cliente / Servidor, fundamentado en el concepto de servicio, donde el cliente es un elemento que consume servicios y el servidor es un medio que suministra ese servicio. Por otra parte, esta conexión está sólidamente establecida mediante la comunicación de mensajes como el único vínculo entre ambas partes. El solicitante de información es llamado cliente, mientras que el programa informático que atiende a esa petición se identifica como servidor. En un procedimiento común el cliente es quien comienza la transferencia de información, pidiendo al servidor datos que responde transmitiendo uno o varias secuencias de información al cliente. Aparte de la transferencia de datos efectiva, el intercambio puede necesitar información complementaria, como la verificación del usuario o el reconocimiento del archivo de datos que se planea transferir (Marcos López J. V., 2014).

Datos geoespaciales

Los datos geoespaciales son datos que caracteriza objetos, eventos u otras propiedades con una posición en la superficie terrestre. Los datos geoespaciales generalmente integra información de localización (normalmente con coordenadas en la superficie terrestre) junto con datos sobre sus

atributos (las características del objeto, evento o fenómeno) y su información temporal de su existencia. La posición suministrada puede ser inalterable a corto plazo (por ejemplo, la posición de un dispositivo, un evento sísmico, jóvenes en situación de precariedad) o en movimiento (por ejemplo, un vehículo o peatón desplazándose, la propagación de una enfermedad contagiosa). (IBM, 2020).

Los datos geoespaciales por lo general abarcan extensos conjuntos de información espacial recolectados de numerosos orígenes en diferentes formatos y pueden abarcar datos censales, fotografías aéreas, información meteorológica, registros de dispositivos móviles, representaciones visuales y datos provenientes de plataformas de redes sociales, entre otros ejemplos. Los datos geoespaciales son más valiosos cuando son accesibles, compartidos, analizados y utilizados en conjunto con los datos comerciales convencionales. (IBM, 2020).

Existen dos formas fundamentales de datos geoespaciales que son: datos vectoriales y datos ráster.

Los datos vectoriales son datos en los que puntos, líneas y polígonos son utilizados para representar atributos tales como áreas de terreno, ciudades, caminos, elevaciones y cuerpos de agua. Un ejemplo puede ser, una representación gráfica que emplea información vectorial podría mostrar casas mediante puntos, carreteras y caminos mediante líneas y poblaciones mediante polígonos (IBM, 2020).

Los datos ráster consisten en celdas de píxeles o una cuadricula identificada por filas y columnas donde cada cuadro o pixel contiene un valor en color o matiz independiente que al agruparse forman una imagen. Estos datos de tipo ráster generan imágenes más elaboradas y complejas, tales como imágenes de satélite, imágenes de radar o fotografías aéreas (IBM, 2020).

Ingeniería de requisitos o requerimientos (IR)

Un requerimiento es una exigencia o capacidad necesaria para que el usuario pueda resolver una situación complicada o alcance un objetivo específico. Obtener los requerimientos de un producto de software es el paso inicial para su creación. La recolección, análisis y definición de requerimientos (incluso la evaluación), son componentes vitales, de esta fase se apoya en gran medida el cumplimiento de los objetivos finales. Se han concebido modelos y variados procedimientos para estos propósitos, aunque aún no está estandarizado, se hace referencia a la Ingeniería de Requerimientos (Marcos López F. S., 2015).

La norma IEEE STD. 830 de 1998 regula la elaboración de las especificaciones de requerimientos de software, definiendo como especificación la labor de describir minuciosamente el software a ser desarrollado, de manera matemáticamente estricta. En la práctica, la mayoría de las especificaciones de requerimientos se han redactado para comprender y perfeccionar aplicaciones previamente creadas (Marcos López F. S., 2015).

Marco Normativo

A continuación, se muestra algunas legislaciones relacionadas sobre el recurso hídrico en Colombia en el siguiente cuadro.

Norma	Año	Alcance
Ley 23	1973	Expone la necesidad de salvaguardar los recursos renovables naturales, establece niveles mínimos de contaminación y prescribe penalizaciones por infringir las normativas.
Decreto 1600	1994	Por medio del cual se norma parcialmente el SINA (Sistema Nacional Ambiental) en lo referente a los sistemas nacionales de investigación ambiental.
Ley 373	1997	El cual se instituye el plan para la utilización eficiente y conservación del agua.
Decreto 3100	2003	Esta normativa regula las tarifas relacionadas con el uso directo del agua como receptor de desechos puntuales, además de abordar otras disposiciones.
Resolución 104 IDEAM	2003	Esta ley define los estándares y factores para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas.

Decreto 155	2004	Se normaliza el artículo 43 Ley 99 de 1993 referente a tasas por el uso de aguas y se introduce otras disposiciones incluyendo sus modificaciones.
Decreto 1443	2004	Regula parcialmente el manejo de plaguicidas y residuos peligrosos, en concordancia con leyes ambientales previas como la ley 430 de 1998.
Resolución 240	2004	Se establecen los principios para calcular la depreciación y se fija la tarifa mínima de la tasa por el uso de aguas.
Resolución 865	2004	Esta ley adopta la metodología para calcular el índice de escasez de aguas superficiales, conforme al Decreto 155 de 2004, e incluye otras disposiciones relacionadas.
Resolución 1433	2004	Planes de saneamiento y gestión de descargas, PSMV, y sus ajustes.
Resolución 872	2006	Se define la metodología para calcular el índice de escasez de aguas subterráneas según el Decreto 155 de 2004, e incorpora otras disposiciones pertinentes.
Decreto 1324	2007	Se establece el registro de usuarios del recurso hídrico y se promulga otras normativas.
Decreto 1323	2007	Por medio del cual se establece el SIRH (sistema de información del recurso hídrico).
Decreto 1480	2007	Por medio del cual se asigna prioridad a nivel nacional al ordenamiento y la intervención de determinadas cuencas hidrográficas y se emiten otras disposiciones.
Resolución 2115	2007	Establece los lineamientos para el monitoreo y control de los acuíferos subterráneos en Colombia. Se establece los criterios técnicos para la planificación y realización de programas para el monitoreo de aguas subterráneas.
Decreto 1076	2015	Contiene disposiciones vinculadas a la administración integral, que incluye aspectos de calidad, disponibilidad y aprovechamiento de las fuentes de agua subterráneas.

Tabla 1. Legislaciones relacionadas al agua subterránea en Colombia (Legislación Colombiana 2023).

Marco Espacial

A continuación, se muestra una breve presentación de los aspectos físicos, demográficos, sociales, políticos y administrativos relevantes para el Desarrollo del Visor Geográfico Web para la Gestión Ambiental de la Captación de Agua Subterránea en la Vereda Girón de Resguardo del Municipio de Cáqueza, en el Departamento de Cundinamarca.

Aspectos generales

El proyecto se desarrolló en el municipio de Cáqueza en la vereda Girón de Resguardo, el cual se encuentra ubicado al oriente del Departamento de Cundinamarca en la Cordillera Oriental de Colombia, es capital de la Provincia de Oriente que la conforma diez municipios: Choachí, Fómeque, Une, Fosca, Guayabetal, Gutiérrez, Quetame, Ubaque, Chipaque y Cáqueza; su

totalidad de habitantes es de 18.122; de estos, 6.372 habitan en la cabecera municipal y 11.750 en la zona rural (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Localización

Localizado entre las coordenadas 4.412 grados de latitud norte y -73.929 grados de longitud oeste. Su temperatura media es de 19 grados centígrados, ubicado en la base de una extensa pendiente en las cercanías del río Cáqueza, la altitud respecto al nivel del mar es de 1.746 m, con una media de precipitación de 1.150 mm (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

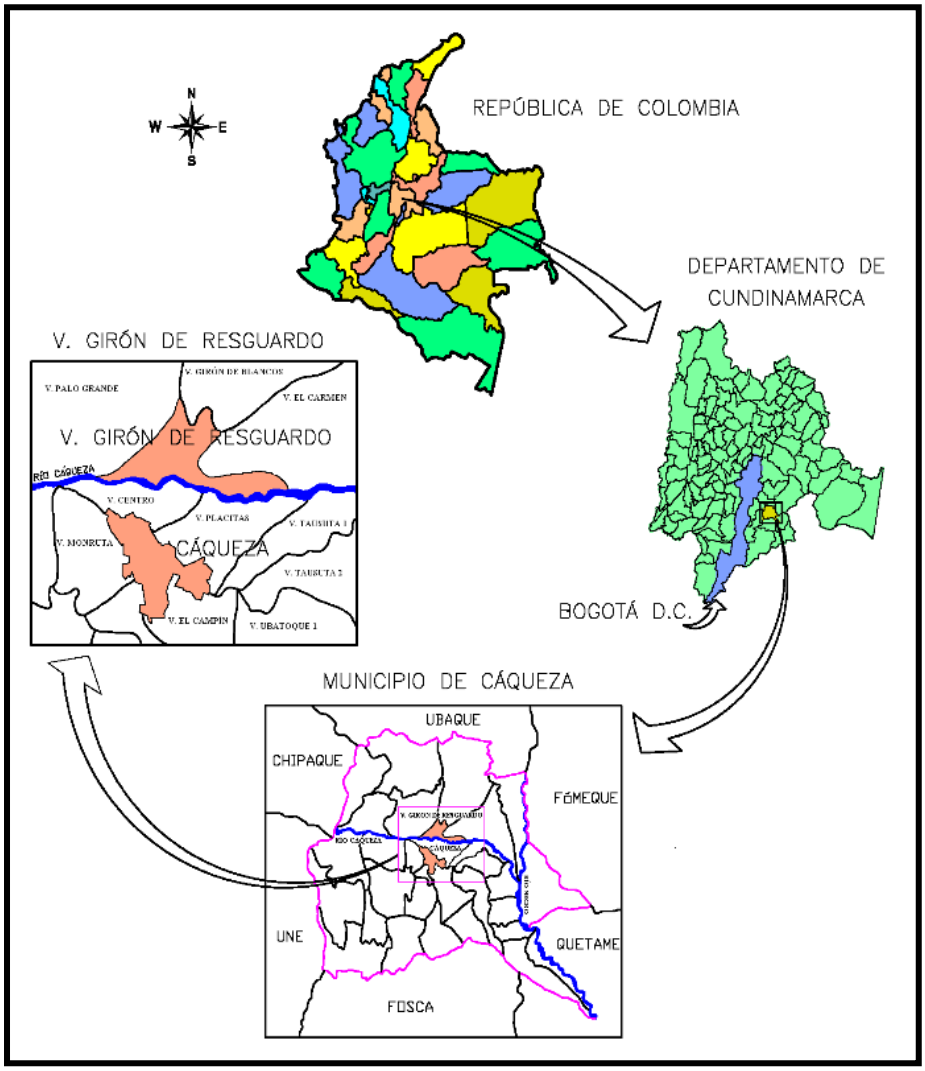


Figura 1. Ubicación de la vereda Girón de Resguardo (Los autores 2023).

Límites

Norte: Con el municipio de Ubaque

Sur: Con el municipio de Fosca

Oriente: Con los municipios de Fómeque y Quetame

Occidente*: Con los municipios de Une y Chipaque*

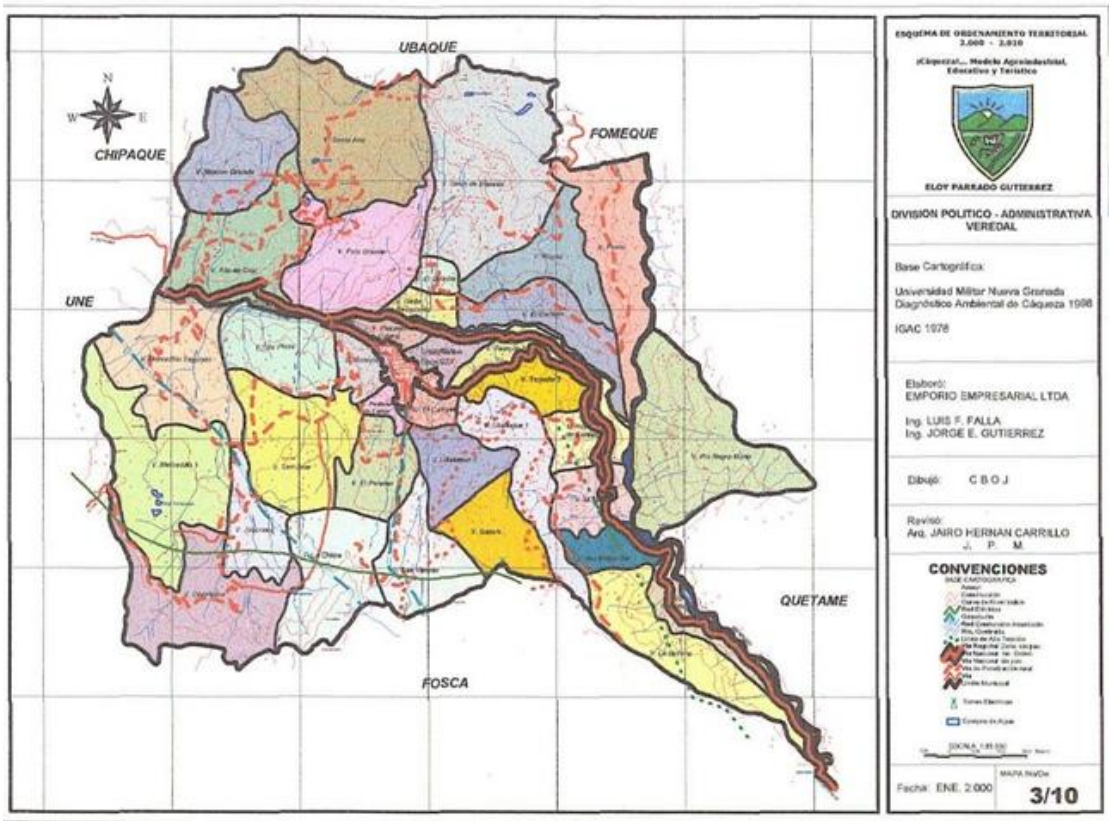


Figura 2. División política del municipio de Cáqueza (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Superficie

El territorio total del municipio de Cáqueza tiene una extensión de 11.474 Km2, dentro de los cuales se encuentra una superficie de 39 Km2 que constituyen el área correspondiente al casco urbano, como lo estipula el Acuerdo 015 de 1992 (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Suelo rural. Suelo rural. El área rural de Cáqueza comprende el 99.65% de la superficie total del municipio y su principal fuente económica se basa en el cultivo de diversos productos como maíz, cebolla, frijol, tomate de mesa, habichuela y papa, entre los más comunes. Existen también áreas reducidas designadas a la conservación forestal y a la minería (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

La fertilidad de los suelos no es la mejor, ya que se encuentra categorización en el nivel medio a bajo, por lo que requiere la aplicación de abonos químicos para incrementar la productividad en la agricultura. La sobrexplotación del suelo a causa de la agricultura intensiva hace que la vegetación nativa se encuentre en baja proporción. Estos suelos presentan un importante déficit hídrico, siendo más evidente esta condición en la zona de la región norte del municipio (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Aspecto social

Acueducto rural. El área rural de Cáqueza está conformada por 23 veredas de las cuales tan solo 8 de ellas tienen acceso al servicio de acueducto; beneficiando únicamente a 423 viviendas, lo que equivale al 18% del total de este sector (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Alcantarillado rural. No hay sistema de alcantarillado en las zonas rurales, motivo por el cual sus habitantes se ven forzados a depositar las aguas residuales sobre el terreno al aire libre. El 32% de las familias que allí habitan, los deposita en tanques sépticos elaborados de manera rudimentaria, causando la contaminación del recurso hídrico subterráneo y de la capa vegetal. Por otra parte, aproximadamente el 53% de las residencias carecen de cualquier tipo de instalación sanitaria. (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Aseo público rural. Tan solo el 1% del área rural de Cáqueza Dispone del servicio de recolección de basuras, el 99% restante de los habitantes realiza una inadecuada disposición de las basuras depositándolas a campo abierto, contribuyendo al deterioro del medio ambiente (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Aspectos biofísicos

Cobertura vegetal. Desde la época colonial, el municipio de Cáqueza ha sido conocido por no poseer una densa vegetación, hecho que se refleja en su nombre, que significa una zona o región carente de bosques, describiendo así su situación. (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

La deforestación, impulsada por la tala indiscriminada para la expansión de la frontera agrícola, ha llevado a la pérdida del bosque nativo en el municipio. En la actualidad, menos del 5% de su territorio está cubierta por bosques, y la poca vegetación existente se encuentra principalmente en las áreas donde nacen las quebradas (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Hidrología. Las quebradas que recorren el municipio de Cáqueza tienen la característica de que solo llevan agua en época de lluvias, especialmente las que se encuentran al norte del río Cáqueza donde se ubica la vereda Girón de Resguardo (Alcaldía de Cáqueza (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Estas quebradas hacen parte de la subcuenca del río Cáqueza, que a su vez es parte de la cuenca del río Negro. Dentro del municipio de Cáqueza se conoce la región norte, que tiene la particularidad de contar con un escaso número de quebradas las cuales tienen un importante caudal en época de invierno y este disminuye en el verano lo que corresponde a la mayoría de los meses del año. A diferencia, al sur del municipio, se encuentra una mayor cantidad de cursos de agua con corrientes que llevan agua la mayor parte del año (Alcaldía de Cáqueza (EOT), 2023).

Capítulo III. Metodología

Este proyecto está basado en una metodología de investigación mixta que combina enfoques cualitativos y cuantitativos para lograr una comprensión integral y una evaluación sólida de la implementación del Visor Geográfico.

A continuación, se detallan los pasos y procedimientos que se usaron para el desarrollo del Visor Geográfico Web para la Gestión Ambiental de la Captación de Agua Subterránea en la Vereda Girón de Resguardo, para la cual comprende las siguientes fases:

Fase diagnóstica o descriptiva

En esta fase se desarrollaron las actividades relacionadas a la recolección de la información de fuentes primarias, como la ubicación geográfica de los pozos de captación de agua subterránea por medio de un equipo navegador GPS marca Garmin GPSMAP 64s. El equipo se configuro en el sistema de referencia WGS84 EPSG: 4326 en coordenadas geográficas, ya que es el mismo sistema de referencia que usa OpenStreetMap y Google Satellite usados como mapas base en el proyecto.

El WGS 84 es el sistema de referencia más común que representa la ubicación de un punto en la superficie de la tierra con coordenadas geográficas que usa grados de latitud respecto al paralelo del Ecuador y grados de longitud respecto al meridiano de Greenwich (QGIS Documentation, 2023).

Para cada punto tomado con el GPS se estabilizó la señal automáticamente con un margen de error de 3 metros, siendo este el error mínimo que arroja el dispositivo GPS. Este grado de error

de precisión es aceptable, y se determinó así ya que el propósito específico para este levantamiento de coordenadas es únicamente para ubicar espacialmente los pozos en los mapas del aplicativo. Se identificó la longitud y la latitud a partir de grados minutos y segundos para cada punto. Ejemplo:

Pozo 1

Latitud: 4° 25′ 18″ Norte
Longitud: 73° 56′ 49″ Oeste

Las unidades tomadas corresponden con el formato sexagesimal (grados, minutos y segundos), luego se hizo la conversión a un formato decimal para que sea reconocido en el visor geográfico ya que la librería Leaflet de JavaScript que permite visualizar los datos geográficos en el aplicativo, no reconoce campos alfanuméricos. Esta conversión de formato sexagesimal a decimal se realizó mediante el siguiente procedimiento.

Sexagesimal: Latitud 4° 25′ 18″ Norte

Grados 4°	= 4.0000
Minutos 25/60	= 0.4166
Segundos 18/3600	= 0.0005
Suma	= 4.4171

Decimal = 4.4171 El valor es positivo ya que está ubicado al Norte del paralelo de Ecuador.

Sexagesimal: Longitud 73° 56′ 49″ Oeste

Grados 73°	= 73.0000
Minutos 56/60	= 0.9333
Segundos 49/3600	= 0.0136
Suma	= -73.9469

Decimal = -73.9469 El valor es negativo ya que está ubicado al Oeste del meridiano de Greenwich.

El resultado final proporciona una nomenclatura decimal que unifica grados, minutos y segundos a un valor único.

Pozo 1

Latitud: 4.4171

Longitud: -73.9469

Por otra parte, en la fase diagnostica se recolectaron datos de cada pozo como el uso dispuesto del recurso hídrico, tipo de extracción del agua y otras características que se muestran en la Tabla 2. de este documento. La recopilación de datos de cada pozo se hizo por medio de un instrumento de recolección de información tipo encuesta que se realizó a los propietarios de los predios donde están ubicados los pozos. Esta encuesta se diseñó previamente en un formulario en Microsoft Forms.

POZO	PROPIETARIO	TIPO DE CAPTACION	TIPO DE EXCAVACION	PROFUNDIDAD APROX.	DIAMETRO APROX.	TIPO DE REVESTIMIENTO	USO PRINCIPAL	FECHA DE CONSTRUCCION	TIPO DE EXTRACCION	HP (MOTOR)
1	Jesús Ortegón	Aljibe	Con excavadora	4 m	1,5 m	Sin revestimiento	Agrícola, Doméstico	1989	Electrobomba Centrífuga	2HP
2	José Hernández Guayacán	Aljibe	Con excavadora	4 m	1,5 m	Sin revestimiento	Agrícola, Doméstico	1982	Electrobomba Centrífuga	3HP
3	Luciano Parrado Parrado	Aljibe	Con excavadora	4 m	1,5 m	Piedra acomodada	Agrícola, Doméstico	1975	Electrobomba Centrífuga	2HP
4	Luciano Parrado Parrado	Manantial	Manual	1,5 m	1 m	Sin revestimiento	Doméstico	1950	Con Vasija	NA
5	Pedro Cruz	Aljibe	Con excavadora	4 m	1,5 m	Ladrillo	Agrícola	2005	Electrobomba Centrífuga	2HP
6	Pedro Cruz	Manantial	Manual	1 m	1 m	Sin revestimiento	Doméstico	1999	Desnivel	NA
7	Ricardo Melo Melo	Aljibe	Con excavadora	4 m	1,5 m	Bloque de cemento	Agrícola, Doméstico	1986	Electrobomba Centrífuga	3HP
8	Pedro Martin Guayacán	Aljibe	Con excavadora	5 m	2 m	Piedra acomodada	Agrícola, Doméstico	1972	Electrobomba Centrífuga	3HP
9	Lisandro Melo	Manantial	Manual	2 m	2 m	Sin revestimiento	Doméstico	1997	Desnivel	NA
10	Parmenio Parrado Clavijo	Aljibe	Con excavadora	7 m	2 m	Sin revestimiento	Agrícola, Doméstico	1996	Electrobomba Centrífuga	2HP
11	Posidio Benito	Aljibe	Con excavadora	4 m	1,5 m	Sin revestimiento	Agrícola, Doméstico	1985	Electrobomba Centrífuga	2HP
12	Valentín Riveros	Manantial	Manual	2 m	1,5 m	Sin revestimiento	Doméstico	1976	Desnivel	NA
13	Carlos Vanegas	Manantial	Manual	2 m	1,5 m	Sin revestimiento	Doméstico	2006	Desnivel	NA
14	Ismael Guayacán	Aljibe	Con excavadora	4 m	1,5 m	Sin revestimiento	Agrícola, Doméstico	2000	Electrobomba Centrífuga	3HP
15	Ismael Guayacán	Manantial	Manual	1 m	1 m	Sin revestimiento	Doméstico	1948	Con Vasija	NA
16	Víctor Guayacán	Aljibe	Con excavadora	5 m	1,5 m	Sin revestimiento	Agrícola, Doméstico	2005	Motor a Gasolina	1,5HP
17	Jesús Antonio Ladino	Aljibe	Con excavadora	8 m	2,5 m	Ladrillo	Agrícola, Doméstico	1996	Electrobomba Centrífuga	3HP
18	Nelson Parrado	Aljibe	Con excavadora	6 m	2,5 m	Sin revestimiento	Agrícola, Doméstico	2004	Motor a Gasolina	1,5HP
19	Rosa María Melo Laguna	Aljibe	Con excavadora	5 m	1,5 m	Bloque de cemento	Agrícola, Doméstico	1954	Electrobomba Centrífuga	1,5HP
20	Rosalba Ladino	Manantial	Manual	1 m	1 m	Sin revestimiento	Doméstico	1960	Con Vasija	NA
21	Luis Carlos López	Aljibe	Con excavadora	7 m	2,5 m	Sin revestimiento	Agrícola	1970	Electrobomba Centrífuga	2HP
22	Secundino Ladino Guayacán	Aljibe	Con excavadora	6 m	2 m	Bloque de cemento	Agrícola	2004	Electrobomba Centrífuga	1,5HP
23	Secundino Ladino Guayacán	Aljibe	Con excavadora	4 m	1,5 m	Sin revestimiento	Doméstico	1997	Electrobomba Centrífuga	1,5HP
24	Secundino Ladino Guayacán	Manantial	Manual	1 m	1 m	Sin revestimiento	Doméstico	1964	Vasija/Desnivel	N/A
25	Elvira Agudelo	Aljibe	Con excavadora	5 m	2 m	Sin revestimiento	Agrícola, Doméstico	1948	Electrobomba Centrífuga	2HP
26	Nelson Rojas Hernández	Aljibe	Con excavadora	8 m	3 m	Bloque de cemento	Agrícola, Doméstico	1983	Electrobomba Centrífuga	3HP

Tabla 2. Variables usadas para la recolección de la información (Los autores 2023).

También en esta fase se realizó la recopilación y evaluación de información de fuentes secundarias como el material cartográfico existente en diferentes formatos que poseen las entidades como la Alcaldía Municipal de Cáqueza y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Inicialmente se obtuvo del Centro de Información Geográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi los mapas base 247-I-C-4, 247-I-D-3, 247-III-A-2 y 247-III-B-1, a escala 1:10.000. en formato tif. Se determinó el área de estudio georreferenciando y uniendo los mapas base en la herramienta SIG (Sistema de Información Geográfica) QGIS que se basa en Software de Código Abierto.

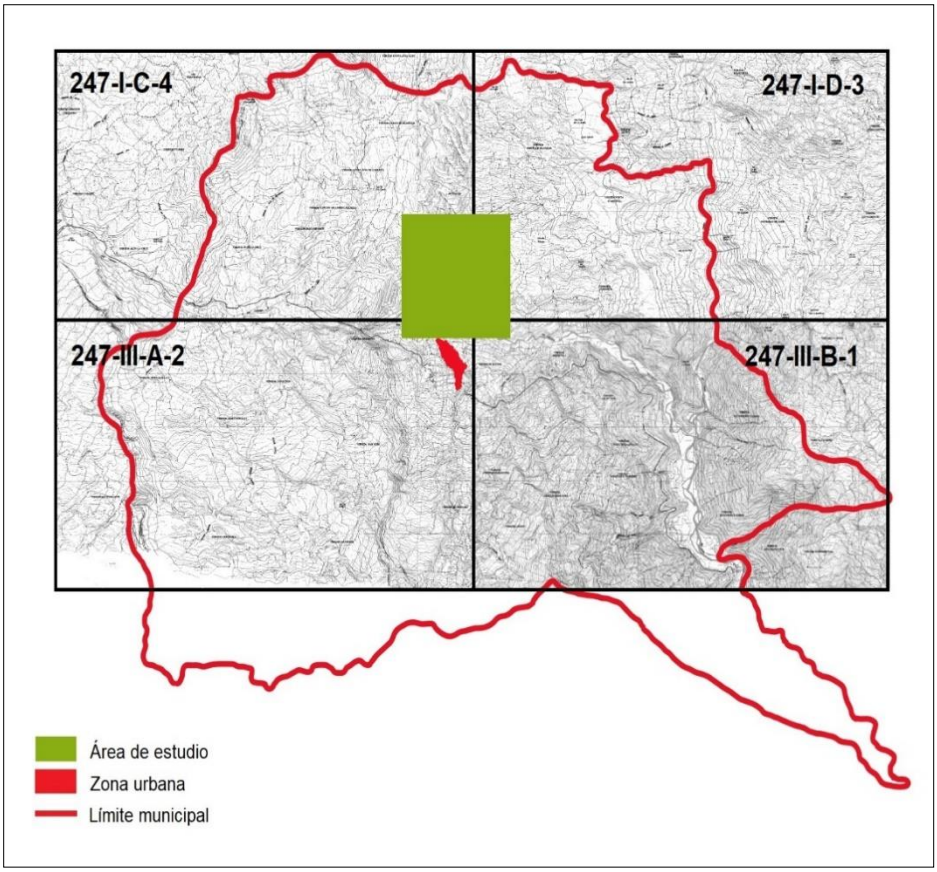


Figura 3. Unión de los mapas base y determinación del área de estudio (Los autores 2023).

Para el proyecto se llevó a cabo la digitalización de la capa de curvas de nivel correspondiente al área de estudio en formato shapefile, junto con la creación de su correspondiente tabla de atributos. En esta tabla se registraron las cotas topográficas a intervalos de 10 metros, lo que permitió obtener una representación detallada de la variación altimétrica en la región.

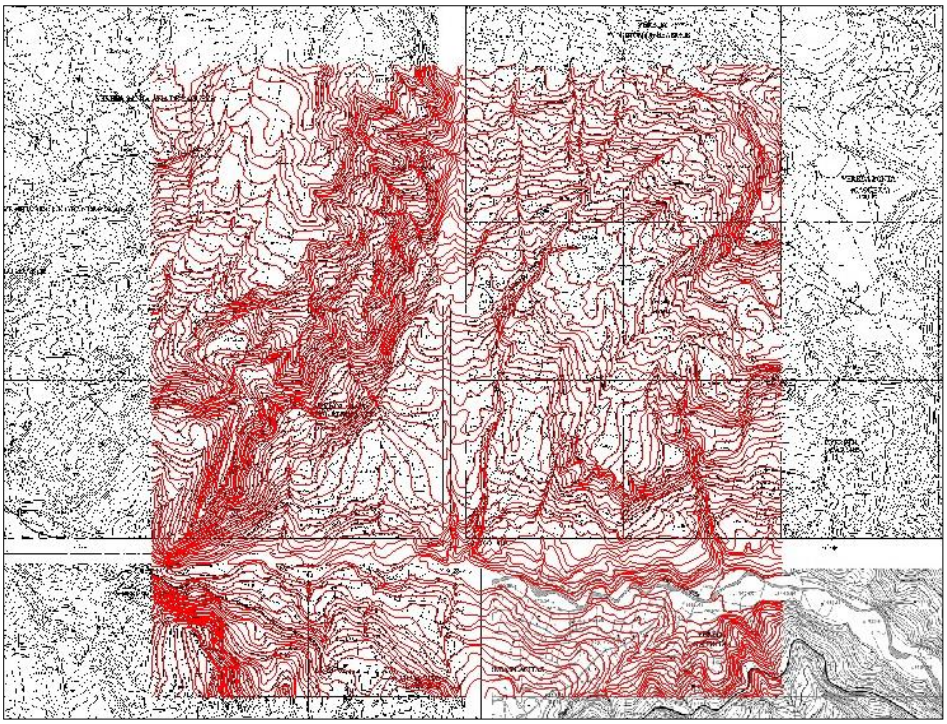


Figura 4. Digitalización de la capa de Curvas de Nivel (Los autores 2023).

Adicionalmente, se obtuvo y usó el mapa de suelos del departamento de Cundinamarca, el cual fue descargado en formato shapefile de datos abiertos de la página web oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia

A partir de esta fuente de información, se extrajo la capa que contiene la clasificación de tipos de suelo para el área de estudio. Esta capa es esencial ya que brinda información importante sobre los atributos del suelo en la zona de investigación.

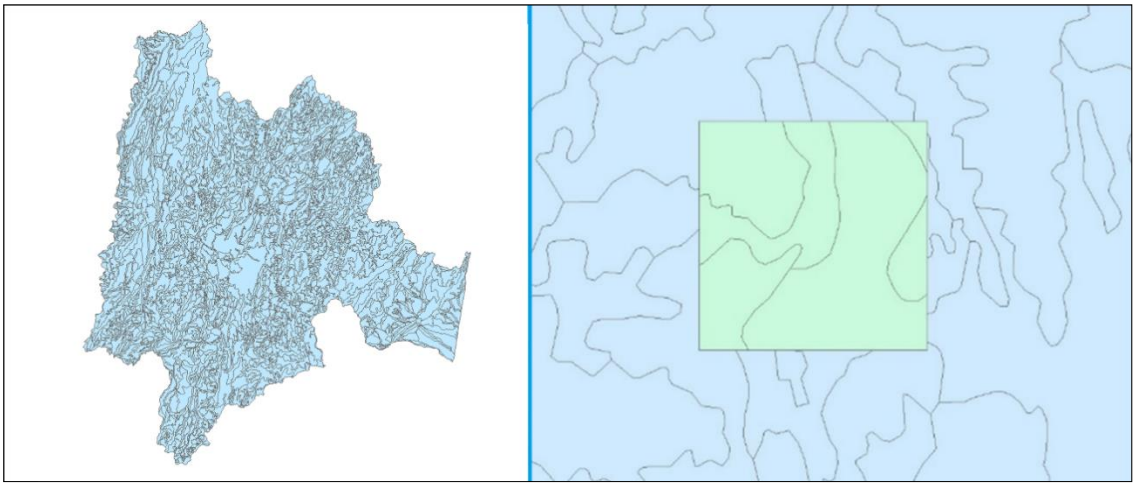


Figura 5. Extracción de la capa de Tipo de Suelo del área de estudio (Los autores 2023).

Por último, se preparó la capa que representa el uso y la cobertura del suelo en el área de estudio en formato shapefile, utilizando el mapa proporcionado por la Alcaldía del Municipio de Cáqueza. Esta capa de uso y cobertura del suelo ofrece una visión detallada de cómo se encuentra ocupado la zona de investigación.

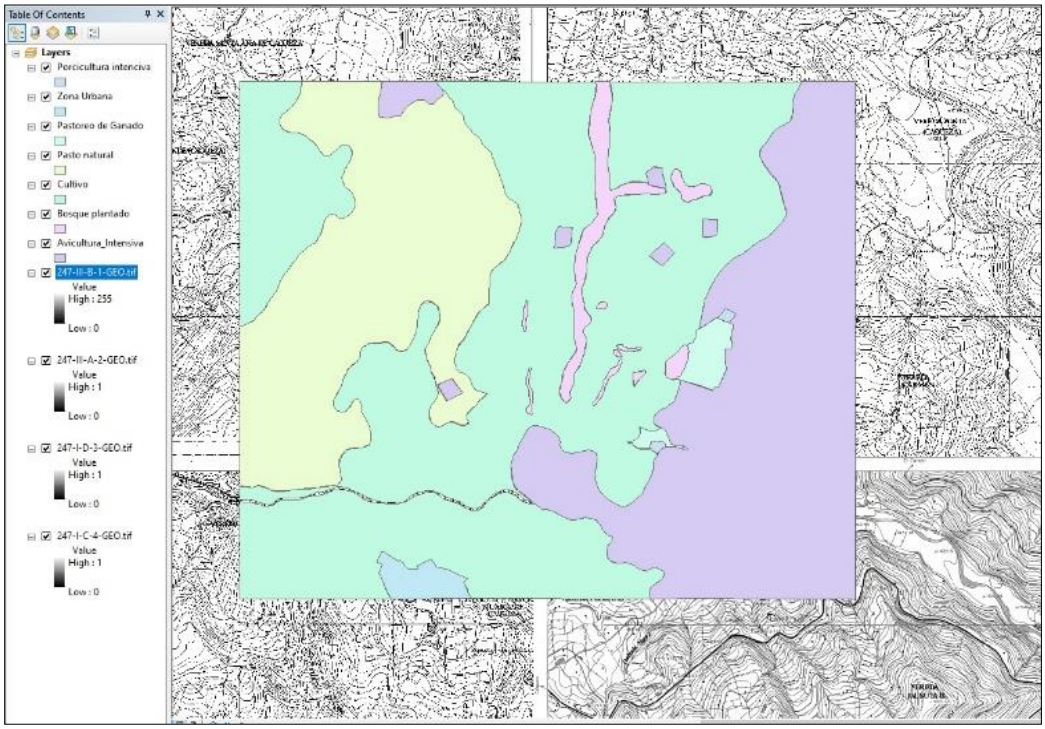


Figura 6. Preparación de la capa de Uso y Cobertura del suelo (Los autores 2023).

Cabe mencionar que todas las capas de información geográfica resultantes de este proceso fueron exportadas a formato GeoJSON, que es un estándar de intercambio de datos geoespaciales basado en JavaScript, lo que facilita su uso en análisis posteriores.

Fase de Diseño

En esta fase, se realizó la planificación detallada del visor geográfico y se definieron las características y funcionalidades que se incorporaron. Se crearon los bocetos y prototipos para la visualización y funcionamiento del visor. También se definieron los estándares y las tecnologías usadas como lenguajes de programación para proceso Front-end como JavaScript, html, CSS, frameworks, la biblioteca específica para la visualización de mapas, como Leaflet y herramientas para el manejo de datos espaciales. En el proceso Back-end se eligió SQL Server como sistema de gestión de bases de datos, se optó por emplear tecnologías basadas en el entorno .NET utilizando C# Entity Framework como lenguaje de programación principal y para la gestión de la interacción con la base de datos. Aquí se fundamentó los siguientes elementos clave:

Requisitos

Se identificaron y documentaron los requerimientos funcionales y no funcionales del visor geográfico, se definieron aspectos como los tipos de información geográfica, las operaciones de consulta y análisis espacial necesarios y las capacidades de interacción con los mapas.

Interfaz de usuario

Se diseñó la estructura y la interfaz de usuario del visor geográfico, esto incluyó la ubicación de los componentes en la pantalla, como los paneles de navegación, la barra de herramientas, los controles de visualización del visor. También se resaltó la importancia de la usabilidad que tenga la capacidad de ser entendido, aprendido y utilizado por el usuario. La norma

ISO/IEC 25010 proporciona un marco para la evaluación de la calidad del software, y dentro de este marco, la característica de calidad denominada "Usabilidad" se relaciona directamente con la interfaz de usuario.

Organización de la información geográfica

En esta etapa, se definió la estructura de la información geográfica en el visor, como las capas y conjuntos de datos, su organización y representación en el área geográfica. Se dividieron las categorías y las jerarquías de las capas. También se definieron las simbologías y los estilos para representar visualmente las entidades geográficas (puntos, líneas y polígonos) en las capas de información. Se diseñó la base de datos para almacenar y administrar la información geográfica del visor y se determinó el diseño de las tablas y sus relaciones.

Fase de Desarrollo

Durante esta etapa se realizó la implementación y construcción del visor geográfico. Aquí se efectuaron las siguientes actividades:

Construcción de la funcionalidad

Se desarrolló la lógica y la funcionalidad del visor geográfico. Esto implicó la implementación de las operaciones de consulta, la interacción con los datos geográficos, la manipulación de capas y la visualización de información en el mapa. Se utilizó las tecnologías seleccionadas para programar y codificar estas funcionalidades.

Integración de datos geográficos

Se conectó el visor geográfico con las fuentes de datos geográficos necesarios. Esto incluyó la integración de servicios web de mapas, geocodificación y carga de archivos de datos geográficos en formato GeoJSON asegurándose que se muestren de manera correcta.

Fase de Validación

En la fase de validación se aseguró que el visor geográfico cumpliera con los requisitos establecidos y su funcionamiento correcto. Durante esta fase, se llevó a cabo las siguientes actividades:

Pruebas y depuración

Una vez desarrollado el visor geográfico, se procedió a realizar pruebas exhaustivas para verificar su correcto funcionamiento. Se realizó pruebas de usabilidad, rendimiento y compatibilidad en diferentes navegadores y dispositivos, así como las mejoras y ajustes necesarios.

Documentación

Se generó la documentación técnica del visor geográfico. Esto incluyó la descripción de las funcionalidades, la configuración y los requisitos del sistema. También se incluyó guías de uso y documentación para los desarrolladores que puedan mantener o ampliar el visor en el futuro.

Capítulo IV Ejecución del Proyecto

Requerimientos del sistema

En la ejecución del proyecto se crearon los requerimientos del sistema para garantizar el funcionamiento de manera correcta y eficiente. En esta primera etapa del desarrollo del visor geográfico se establece los alcances que tendrá el aplicativo conforme a los objetivos planteados.

Requerimientos funcionales

En primer lugar, es esencial comprender el comportamiento del sistema en situaciones específicas cuando es utilizado por el usuario. Para lograr esto, se debe definir las funciones, características y herramientas del producto que se añadirán al visor geográfico, a través de la implementación de los requisitos funcionales, sus características principales incluyen:

RF1. Interfaz de usuario: El visor geográfico debe contar con una interfaz que permita a los usuarios navegar fácilmente permitiendo la visualización de capas geográficas y acceder a las funciones esenciales.

RF2. Autentificación: En el módulo administrador ingresará solo los usuarios administradores quienes cuentan con los permisos de edición. En el inicio de sesión de ingreso al visor se registrarán los usuarios genéricos que solo tendrán permiso de consulta. Esto significa que el sistema debe desplegar un formulario de autentificación para que el usuario genérico se registre proporcionando credenciales como usuario y contraseña.

RF3. Consulta de información de los pozos: El Sistema debe permitir a los usuarios consultar la información perteneciente a cada uno de los pozos de agua subterránea.

RF4. Herramientas de navegación: El Sistema debe permitir a los usuarios desplazarse en cualquier sentido en el visor geográfico, así como realizar la operación de zoom en cualquiera de las capas de información.

RF5. Ubicación por coordenadas: El usuario puede ubicar puntos específicos con coordenadas geográficas en el sistema WGS 84. mediante la ubicación del cursor, lo que agiliza la localización de lugares de interés.

RF6. Leyendas informativas: Permite a los usuarios tener una mayor comprensión, ya que el sistema muestra una leyenda asociada a cada capa, brindando contexto y significado a los elementos mostrados.

RF7. Control de capas de información: El Sistema debe permitir a los usuarios activar o desactivar cada una de las capas geográficas, como los mapas base de Open Street Map y Google Satellite, así como capas de información en formato GeoJSON.

Requerimientos no funcionales

Los requerimientos no funcionales son aspectos críticos que influyen en la prestación de servicios y características del visor geográfico, estos requerimientos establecen restricciones relacionadas con el tiempo, el proceso de desarrollo y estándares, que son fundamentales para garantizar que el visor geográfico cumpla con el rendimiento, seguridad y calidad necesarios, satisfaciendo las necesidades de los usuarios y las restricciones operativas. Estos requerimientos son:

RNF1. Idioma: La implementación del sistema deberá realizarse en idioma español, asegurando que los usuarios puedan interactuar con la plataforma de forma eficiente.

RNF2. Compatibilidad de navegadores: El sistema deberá ser compatible con Google Chrome, Mozilla Firefox y Microsoft Edge.

RNF3. Adaptabilidad a diferentes dispositivos: El sistema tendrá un diseño web responsive design, que se autoajustará de forma dinámica, proporcionando una visualización sin importar la resolución o el tamaño de la pantalla.

RNF4. Lenguaje de programación: Desde la perspectiva de desarrollo, la codificación del sistema debe ser de fácil implementación en diferentes ambientes web, por lo cual su interfaz empleara las herramientas de JavaScript, HTML y CSS.

RNF5. Herramientas de Ayuda Visual: Se incluyen herramientas de ayuda visual tipo tooltips para mejorar la comprensión de las funcionalidades del sistema.

RNF6. Compatibilidad con Windows: El sistema será compatible con el sistema operativo Windows, asegurando su accesibilidad en esta plataforma ampliamente utilizada.

RNF7. Sin Requerimiento de Plugins o Applets: Para su funcionamiento, el sistema no requerirá ninguna modificación o instalación de plugins o applets en el navegador del usuario, simplificando así su implementación.

RNF8. Sistema de Referencia WGS 84: El visor geográfico implementará el Sistema de Referencia Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84) para la ubicación de los datos geoespaciales al desplegar las diversas capas geográficas.

RNF9. Inmovilidad de los datos Geográficas: El sistema garantiza que las capas de información geográfica no sean modificables, preservando la integridad de los datos y la estabilidad de la información presentada a los usuarios.

Diseño

En esta segunda fase del desarrollo del visor geográfico, se realizó una especificación en cuanto al diseño y estructuración del aplicativo, empleando diferentes definiciones de reglas de

negocio, actores y casos de uso; así como también la generación de los diferentes diagramas lógicos y físicos que describen la arquitectura que será empleada en el desarrollo del visor geográfico.

Casos de uso

Se establecieron los casos de uso de acuerdo con la especificación de requerimientos, con el fin de mostrar las relaciones entre los diferentes usuarios del sistema y las funcionalidades planteadas.

CU1. Login: El usuario ingresa a través de un navegador web al Visor Geográfico, el sistema despliega un formulario de autentificación donde se debe ingresar usuario y contraseña para que así quede registrado.

CU2. Administrar capas de información geográfica: Permite a los usuarios interactuar los principales mapas de información temática en formato GeoJSON, así como también los mapas base, de OpenStreetMap y Google Satélite en el administrador de capas.

CU3. Consultar información geográfica y de pozos: Permite a los usuarios consultar la información de cada mapa temático en formato GeoJSON, así como la información de los pozos de agua subterránea disponibles.

CU4. Visualizar la información geográfica: posibilita que los usuarios accedan a la interfaz principal del visor, donde podrán observar en primera instancia el mapa base de Google Satélite y explorar las diversas herramientas de navegación que se encuentran disponibles.

CU5. Aumentar vista: Permite a los usuarios realizar un aumento de escala del área de visualización (Zoom in), teniendo como límite hasta 10 metros.

CU6. Disminuir vista: Permite a los usuarios realizar una disminución de escala del área de visualización (Zoom out), teniendo como límite hasta 10.000 metros.

CU7. Desplazar vista: Permite a los usuarios la navegación en todos los puntos cardinales de cada capa de información, facilitando así la exploración.

CU8. Ubicar pozo: Permite al usuario desplazarse a cada uno de los pozos en una escala más grande usando un menú desplegable.

CU9. Regresar vista inicial: Permite al usuario desplazarse de la vista actual a la vista inicial del visor geográfico, que está centrada en el área de estudio con las coordenadas Latitud 4.4233 y Longitud -73.9394.

CU10. Ver Minimapa: Permite al usuario visualizar a una escala más pequeña la vista en pantalla en un recuadro de la zona de observación.

CU11. Ver coordenadas: Proporciona al usuario la capacidad de ver las coordenadas geográficas en grados decimales de la latitud y longitud de la ubicación del cursor en el mapa.

CU12. Ver Escala: Ofrece al usuario observar la representación numérica de la escala, ya sea en metros o kilómetros, dependiendo del tamaño o al ajuste que se haga en el área de visualización.

CU13. Visualizar información de pozos: Permite a los usuarios consultar la información de cada pozo al seleccionar con el cursor el objeto geográfico que representa cada pozo. Esta información se puede visualizar a través del despliegue de un popup.

CU14. Consultar información de mapas temáticos: Permite a los usuarios consultar la información de los mapas temáticos en formato GeoJSON disponibles, a través de un popup y un objeto de control que visualiza los datos al interactuar el cursor con cada objeto o polígono de cada capa resaltándolos visualmente.

CU15. Ver capa de mapas temáticos: Permite al usuario visualizar las capas de información temática en formato GeoJSON, como mapa de clase del suelo, mapa de uso y cobertura del suelo y mapa de curvas de nivel.

CU16. Ver mapa base: Permite al usuario visualizar las capas de los mapas base de Open Street Map y Google Satellite de la zona de influencia del proyecto.

CU17. Administrar capas: Ofrece al usuario la capacidad de gestionar las capas de datos geográficos, como los mapas base y mapas temáticos, permitiéndoles cambiar su estado de activación o desactivación según sus necesidades, lo que posibilita la visualización de la información geoespacial.

CU18. Descargar información de pozos: Permite a los usuarios registrados, tener varias opciones de descarga de la información técnica de los pozos, la cual puede seleccionar y filtrar la que necesite consultar.

CU19. Generar archivos en varios formatos: el usuario tiene varias opciones de realizar la descarga de la información (EXCEL, PDF).

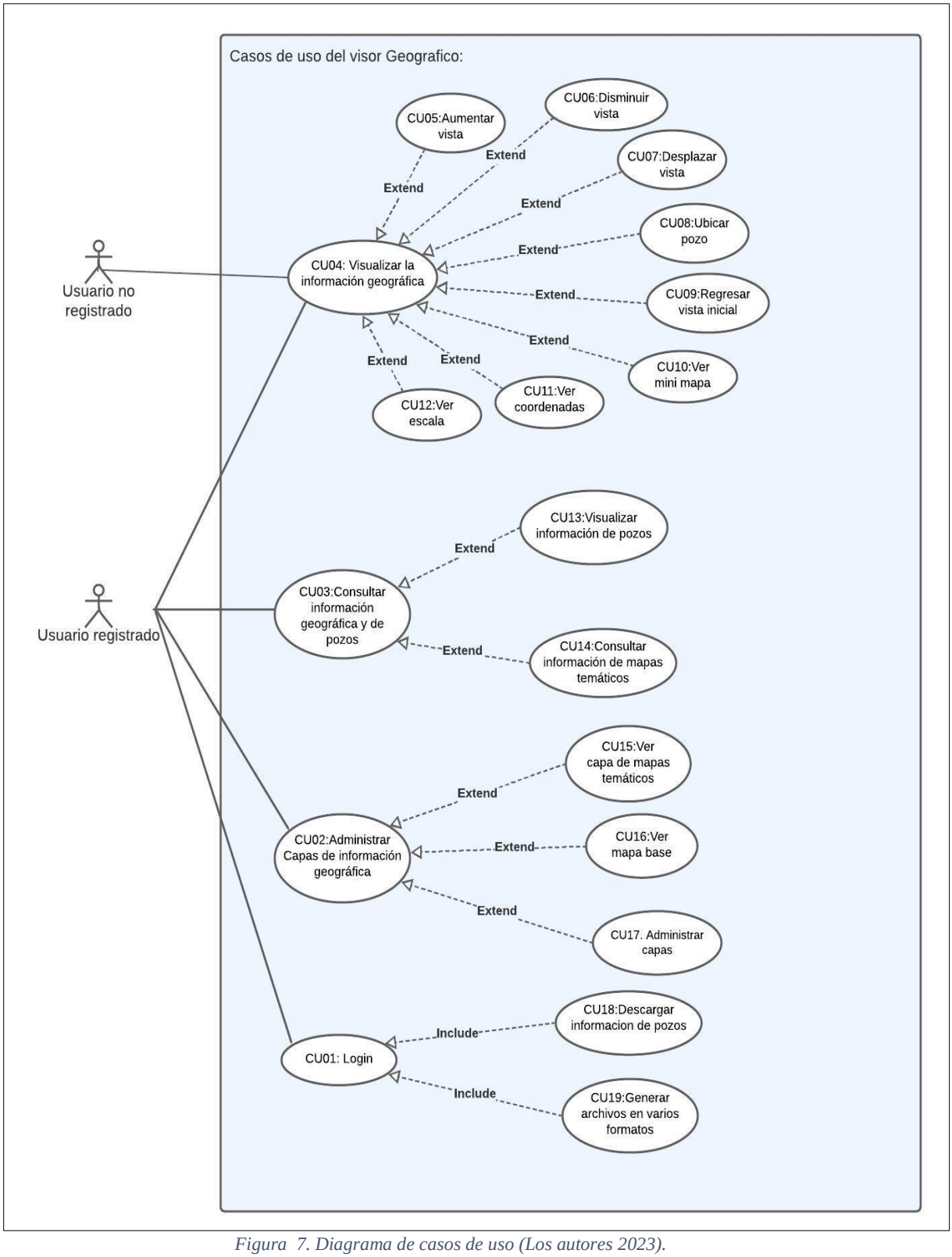


Figura 7. Diagrama de casos de uso (Los autores 2023).

Diagrama de Componentes

Como parte de la arquitectura física se elaboró el diagrama de componentes, el cual permite entender el flujo que se debe realizar para visualizar un prototipo del sistema, a partir de la estructuración de la base de datos espacial en SQL Server, este se integra con Geo Visor, el cual posteriormente proporcionará los servicios que se visualizará a través de un navegador web (Google Chrome).

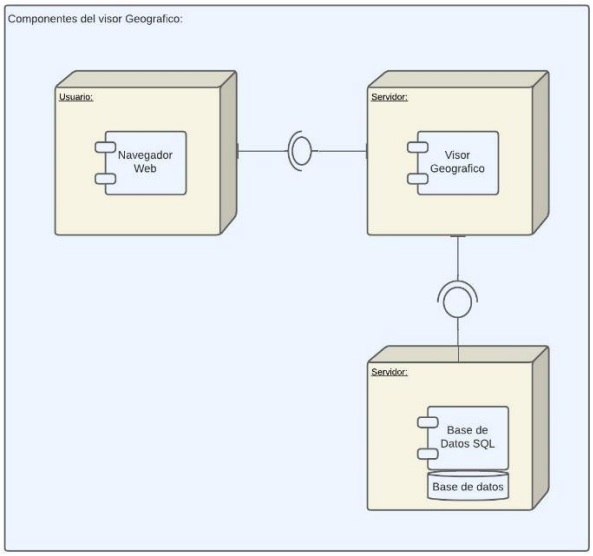


Figura 8. Diagrama de componentes (Los autores 2023).

Diagrama entidad relación

El Diagrama Entidad-Relación (DER) brinda una representación estructurada y organizada de la base de datos que se realizó. A través del DER, se definieron las entidades clave en la base de datos, sus atributos y las relaciones entre ellas.

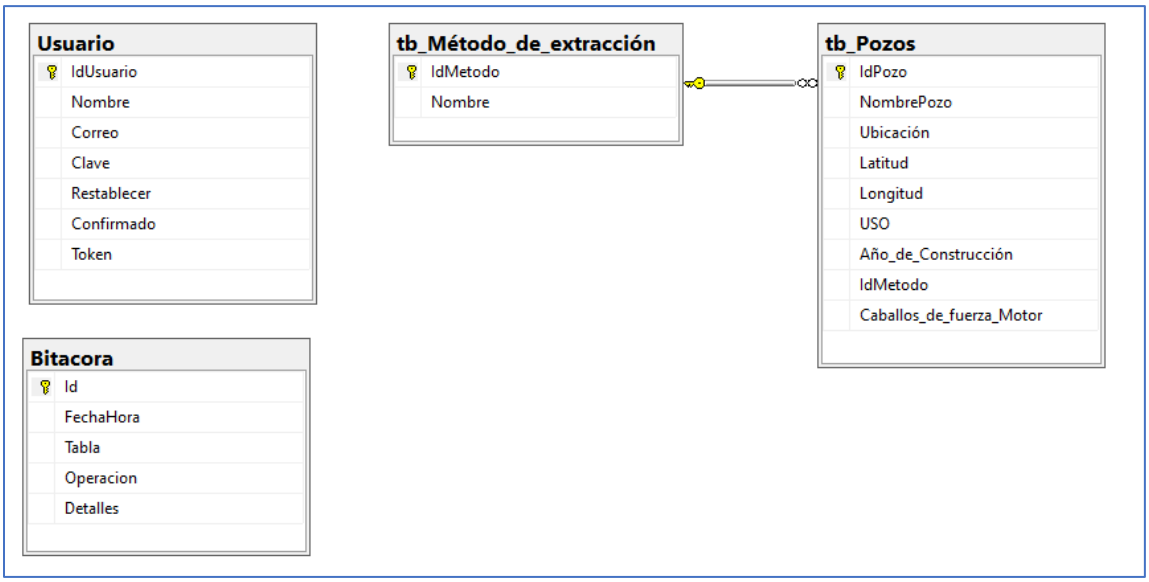


Figura 9. Diagrama entidad relación (Los autores 2023).

Implementación

Dentro del desarrollo del aplicativo se diseñó, configuro e implementó la pantalla o interfaz de inicio del visor donde se muestra una imagen del área de estudio del proyecto que corresponde a la Vereda Girón de Resguardo del municipio de Cáqueza del Departamento de Cundinamarca. En esta interfaz de inicio está el botón de ingreso al aplicativo (Ir al Visor Geográfico) donde posteriormente el usuario externo necesita autenticación para acceder al visor geográfico y utilizar las operaciones disponibles en él, como se estableció en los requerimientos funcionales.

Enlace de ingreso al aplicativo

El visor geográfico se despliega desde un servidor con sistema operativo Windows 10 Pro, el cual está alojado en la nube. Para la difusión pública, se hizo uso del servicio GitHub, que permite cargar y almacenar el visor geográfico desarrollado en un repositorio. Este repositorio se enlaza con un nombre de dominio proporcionado por GitHub, facilitando así su publicación en la web. El visor geográfico queda almacenado en la nube y es accesible desde cualquier explorador web o dispositivo móvil.

https://7fj33778-9091.use.devtunnels.ms/visor.html

Usuario rol administrador: Steak.lizcano82@gmail.com - Contraseña: 123

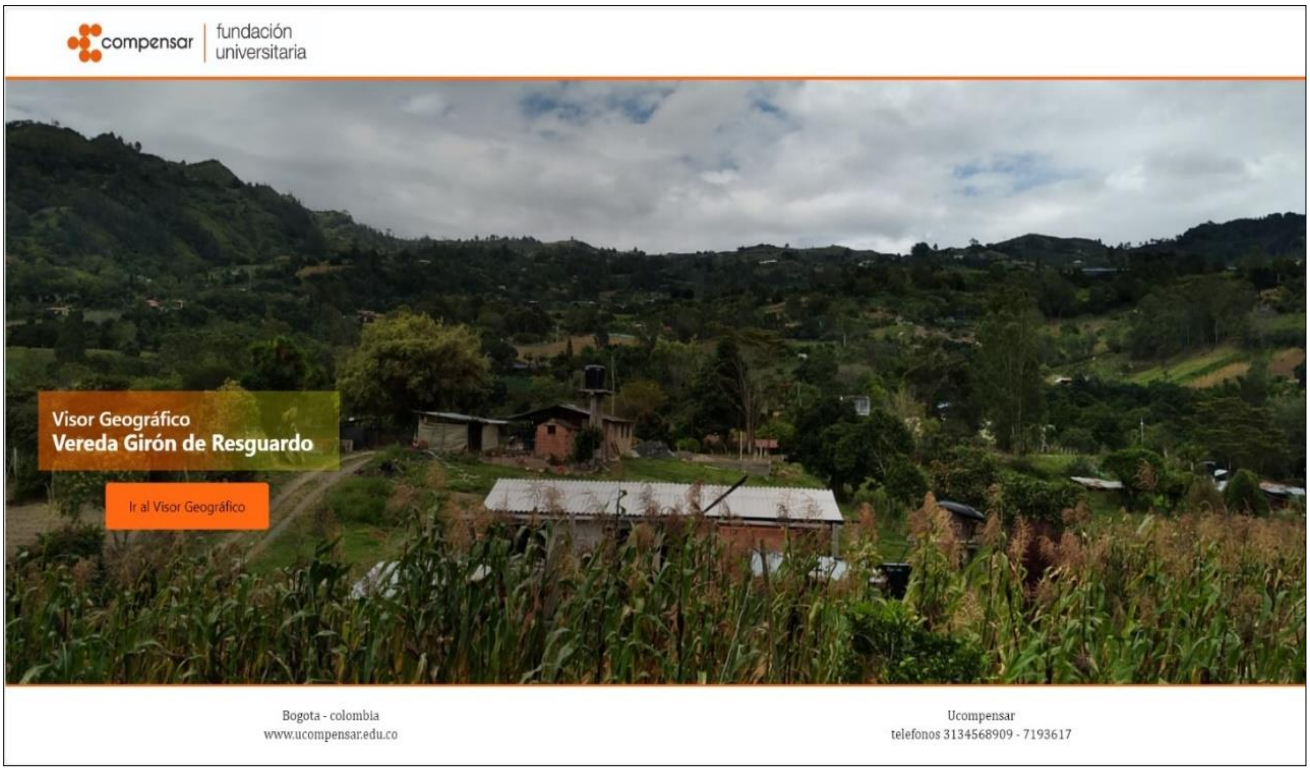


Figura 10. Interfaz de inicio del Visor Geográfico (Los autores 2023).

Autenticación de los usuarios

Atendiendo los requerimientos del sistema, se realizó el diseño de una interfaz gráfica para la autenticación de los usuarios, donde nos lleva a un login el cual permite ingresar con el correo y contraseña registrados. También tiene la opción de registrarse o recuperar contraseña.

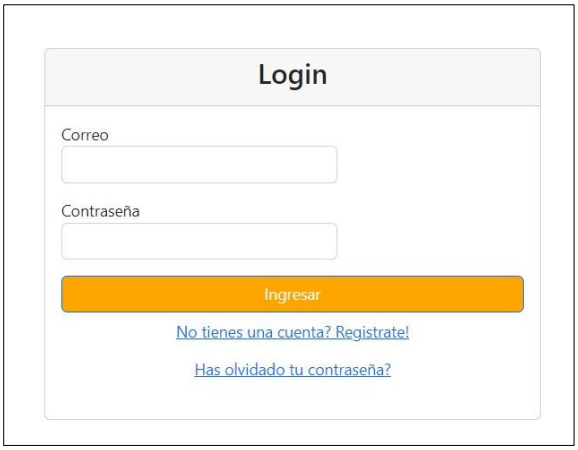


Figura 11. Login para ingresar al aplicativo (Los autores 2023).



Figura 12. Modulo para registrar cuenta (Los autores 2023).



Figura 13. Modulo para restablecer cuenta (Los autores 2023).

Interfaz gráfica

Posteriormente al ingresar se encuentra la interfaz gráfica principal del visor geográfico configurada de tal manera que muestra como capa principal el mapa base de Google Satellite, así como la ubicación espacial de cada pozo.

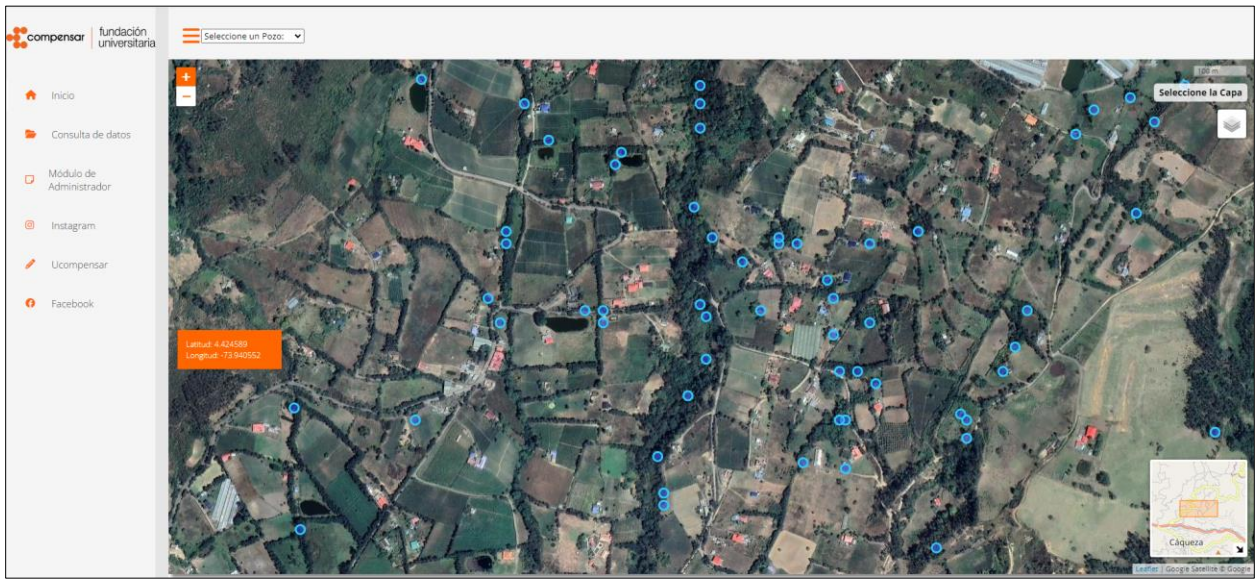


Figura 14. interfaz gráfica del visor geográfico (Los autores 2023).

Visualizar la información geográfica

En el diseño de la interfaz, se observa una serie de herramientas dispuestas en la vista principal del aplicativo; en primer lugar, se tiene un control del nivel de zoom en la parte superior izquierda donde es posible realizar un aumento de escala (Zoom in) y una disminución de escala (Zoom out) del área de visualización, mientras que en la parte superior derecha se encuentra el administrador de capas mediante el cual permite el despliegue automático de las principales capas de información como lo son los mapas base Open Street Map y Google Satellite y las capas de información en formato GeoJSON, permitiendo al usuario activar o desactivar cada capa.



Figura 15. Control del nivel de zoom (Los autores 2023).



Figura 16. administrador de capas (Los autores 2023).

También se encuentra en la parte inferior del visor unas herramientas que son útiles para la navegación dentro del visor, una de estas herramientas corresponde al cuadro de coordenadas que proporciona al usuario la capacidad de ver las coordenadas geográficas en grados decimales de la latitud y longitud de la ubicación del cursor en el mapa.



Figura 17. Cuadro de coordenadas de ubicación (Los autores 2023).

Otra herramienta que se encuentra en la parte inferior del visor es un mini mapa de ubicación general que se puede plegar y desplegar, permitiendo al usuario visualizar a una escala más pequeña la vista en pantalla en un recuadro de la zona de observación. El mini mapa usa una capa de mosaico de OpenStreetMap como fuente de datos.



Figura 18. Mini mapa (Los autores 2023).

Adicionalmente, se encuentra en la parte del encabezamiento o header un menú desplegable que permite el desplazamiento a cada uno de los pozos en una escala más grande, que corresponde 20 metros de distancia. Igualmente, también se encuentra la opción de volver a la vista original del visor.

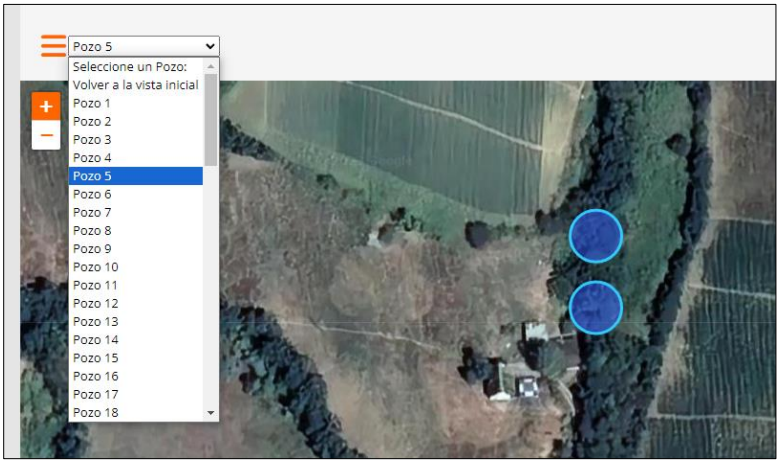


Figura 19. Menú desplegable de ubicación de pozos (Los autores 2023).

Para el desplazamiento, el visor contiene la función desplazar o (pan), Esta función permite la navegación en todos los puntos cardinales del área o región de visualización, favoreciendo así la exploración dentro del visor.



Figura 20. función desplazar o (pan) (Los autores 2023).

Por ultimo y no menos importante se muestra la herramienta de control de escala que permite visualizar la representación de la información, en metros o kilómetros de acuerdo con el nivel de detalle.



Figura 21. herramienta de control de escala (Los autores 2023).

Administrar capas de información geográfica

El aplicativo permite interactuar con los mapas base de OpenStreetMap y Google Satélite, así como tambien los mapas tematicos de uso y cobertura del suelo, tipo de suelos y el mapa de curvas de nivel, en el administrador de capas.

Los mapas base de OpenStreetMap (OSM) y Google Satellite son dos tipos diferentes de servicios de mapas utilizados para visualizar información geográfica y de ubicación, pero difieren en la forma en que presentan la información. (Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba, 2020).

OpenStreetMap (OSM): Nos ofrece información sobre carreteras, edificios, ríos, senderos y otros elementos geográficos. (Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba, 2020).

Google Satellite: Nos ofrece la visualización de imágenes satelitales de alta resolución de la Tierra, esto permite explorar la geografía y la topografía de un lugar, así como obtener información sobre la vegetación, el urbanismo y otros detalles visibles desde el espacio. Estas imágenes hacen parte de los servicios de mapas de Google. (Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba, 2020).

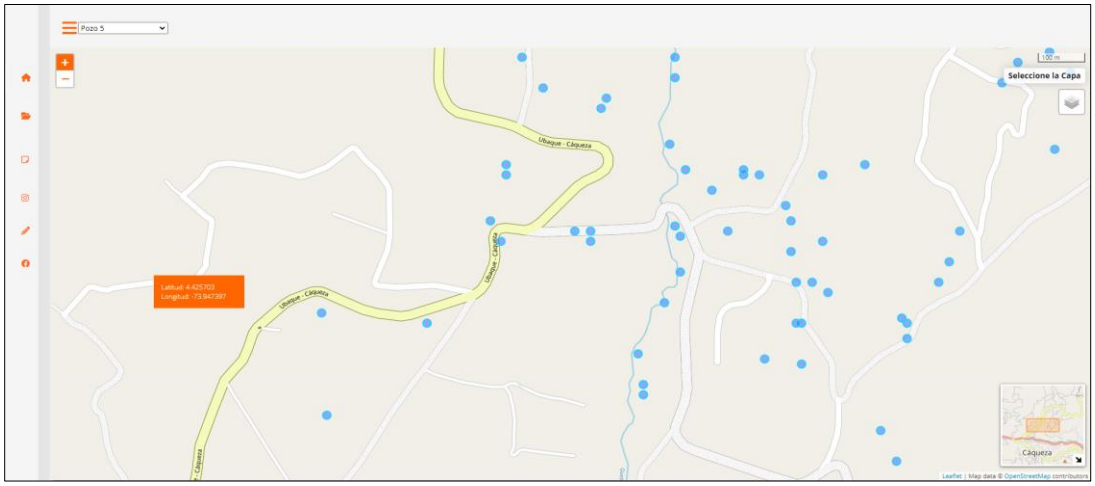


Figura 22. Mapa base OpenStreetMap (OSM) (Los autores 2023).



Figura 23. Mapa base Google Satellite (Los autores 2023).

Tipo de Suelo: Este mapa a escala 1:100.000 permite observar la distribución espacial de cada tipo de suelo del área en estudio. Según Datos Abiertos de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi donde se obtuvo esta cobertura de suelos, el mapa suministra información importante de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas del suelo (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2017).



Figura 24. Mapa de tipo de suelo (Los autores 2023).

Uso y cobertura del suelo: Este mapa muestra las coberturas biológicas y físicas presentes sobre la superficie del área de estudio, así como también su uso, que está asociado a las actividades que la población realiza actualmente.

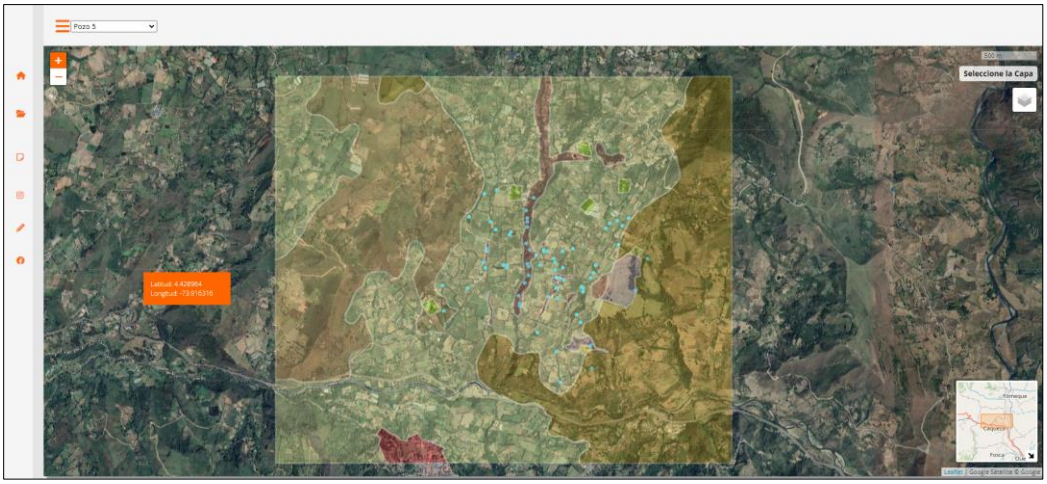


Figura 25. Mapa de uso y cobertura del suelo (Los autores 2023).

Mapa de curvas de nivel: Este mapa muestra una representación cartográfica de la topografía o relieve de la zona. Tiene como fin mostrar información detallada sobre las elevaciones y formas del terreno. Estas elevaciones son representadas mediante líneas imaginarias que conectan puntos que tienen la misma elevación sobre el nivel del mar.

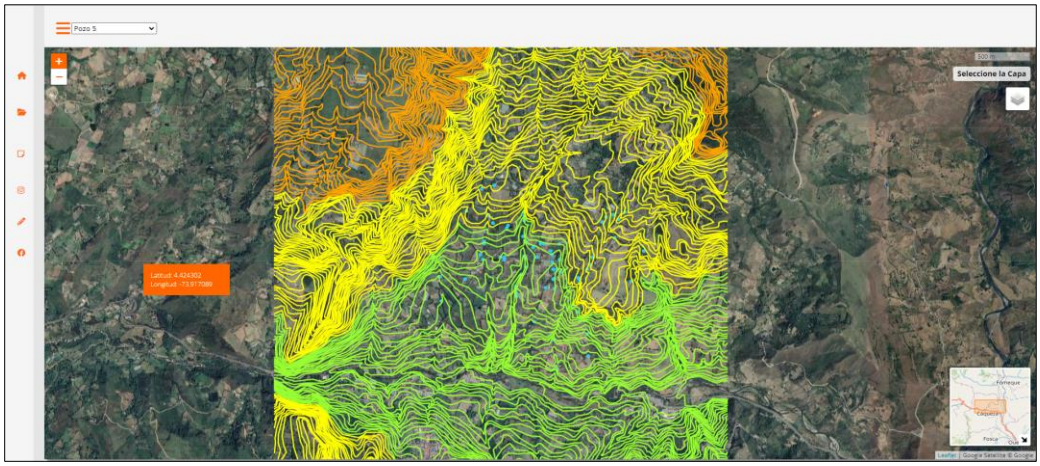


Figura 26. Mapa de curvas de nivel (Los autores 2023).

Consultar información geográfica y de pozos

El aplicativo cuenta con herramientas de consulta de información para cada mapa temático, así como para la información de los pozos de captación de agua subterránea disponibles.

Para consultar la información tanto del mapa de tipo de suelo como el mapa de uso y cobertura del suelo, se configuro un objeto de control que visualiza los datos al interactuar con el cursor sobre cada objeto o polígono de cada capa, resaltándolos visualmente.

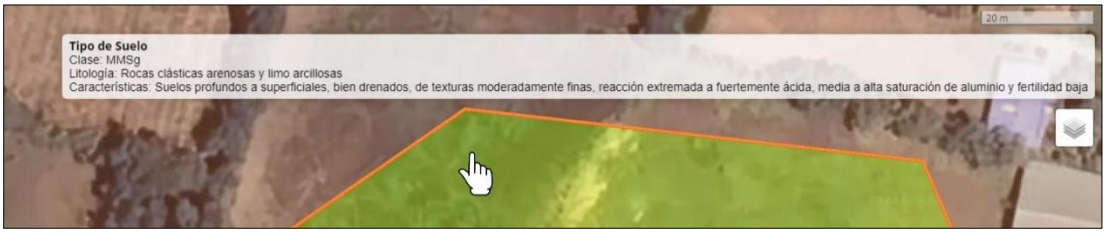


Figura 27. Objeto de control que visualiza la información de cada capa (Los autores 2023).

A diferencia de los mapas previos, en el caso del mapa de curvas de nivel y de cada pozo, se ha implementado la funcionalidad de un popup. Esta característica permite la visualización y acceso a la información al realizar interacciones, como el desplazamiento del cursor y el clic del puntero sobre cada objeto respectivo.



Figura 28. Función del popup en el mapa de curvas de nivel (Los autores 2023).



Figura 29. Función del popup en cada pozo (Los autores 2023).

Consultar y exportar datos

En el menú lateral, se encuentra la opción ‘Consulta de datos’, que permite acceder al módulo para consultar, imprimir y descargar en formato .xlsx o .pdf toda la información relacionada con los pozos de agua subterránea del visor geográfico.”



Figura 30. Opción Consulta de datos (Los autores 2023).

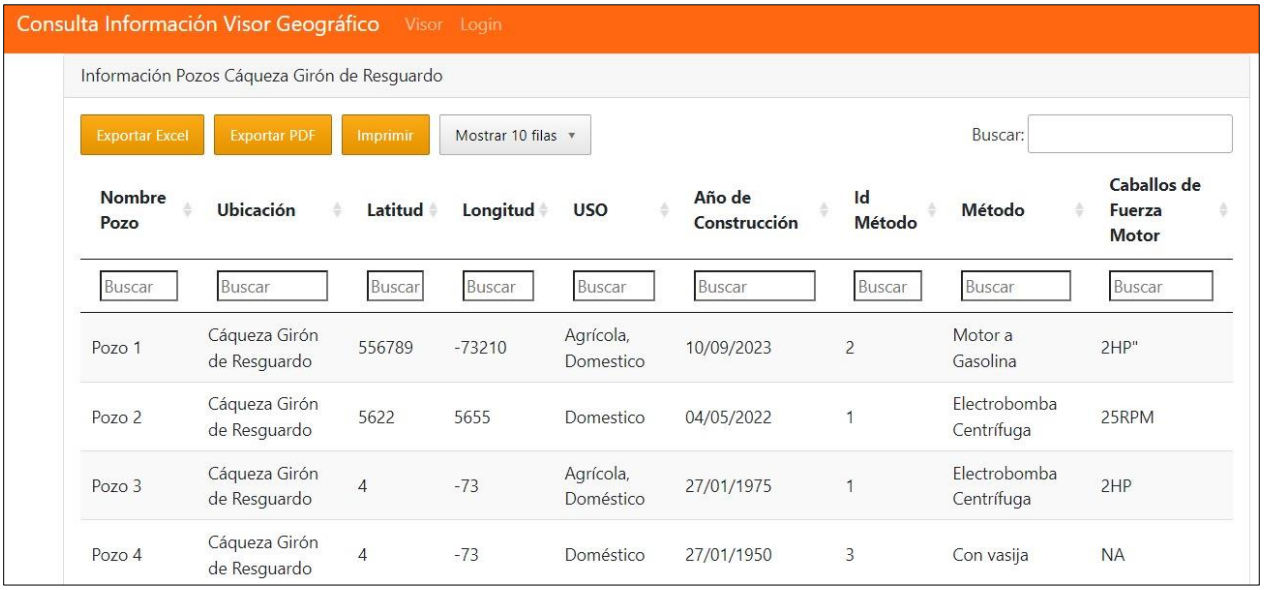


Figura 31. Modulo para descargar información de pozos (Los autores 2023).

Módulo de Administrador

En el módulo administrador ingresará solo los usuarios administradores quienes cuentan con los permisos de edición. En el inicio de sesión de ingreso al visor se registrarán los usuarios genéricos que solo tendrán permiso de consulta. Esto significa que el sistema debe desplegar un formulario de autentificación para que el usuario genérico se registre proporcionando credenciales como usuario y contraseña.

Al acceder al módulo de administrador, se mostrará la interfaz de inicio de sesión para usuarios administradores. Solo el usuario administrador de la base de datos podrá ingresar nuevos usuarios. En este módulo, se puede editar o eliminar información relacionada con los pozos de agua subterránea.



Figura 32. Módulo de Administrador (Los autores 2023).

Capítulo V. Presupuesto

En la gestión de cualquier proyecto, es fundamental contar con un presupuesto adecuado que cubra los costos asociados a los insumos, materiales, viáticos y honorarios del personal involucrado; por lo tanto, se presentó un desglose detallado de los costos estimados para la ejecución del proyecto de investigación.

Descripción de Costo de Insumos y Materiales

Los Insumos y Materiales, como papel, computador, impresoras y alquiler de equipos especiales son elementos necesarios para facilitar la obtención de la información en campo para luego ser analizada y procesada; para lo cual se estimó un costo de $10.260.000; estos elementos son usados bajo un criterio de optimización de recursos, garantizando el respeto por el medio ambiente.

Producto	Cantidad	Costos	
		V. Unit	V. Total
Resma de papel	2	30.000	60.000
Computador	3	2´500.000	7´500.000
Impresora	1	1´800.000	1´800.000
Alquiler de GPS	1	400.000	400.000
Host	1	500.000	500.000
Subtotal			10´260.000

Tabla 3. Costo de Insumos y Materiales (Los autores 2023).

Los precios de los insumos y materiales se obtuvieron mediante cotización previa. Para el caso de las resmas de papel se cotizo el valor en una distribuidora de papelería; la impresora y el computador, se tuvieron en cuenta los precios de Mercado Libre para Colombia y el Alquiler del GPS, se realizó con una empresa de Topografía del municipio de Cáqueza.

El host, mediante investigación de precios en Google y Mercado Libre Colombia, se contactó por teléfono a las empresas prestadoras de este servicio y con base en los datos suministrados se determinó un precio según los requerimientos necesarios para el alojamiento del Visor Web.

Descripción De Viáticos

Los demás costos previstos como los viáticos se tuvieron en cuenta, ya que se realizaron desplazamientos para realizar la recolección de la información primaria. En este caso, se detallan los costos relacionados a los pasajes, alimentación y alojamiento durante las visitas; para lo cual se realizó una cotización previa en la oficina de la Empresa de Transporte Intermunicipal de Cootranscaqueza, y restaurantes del municipio lo que permitió realizar un estimado total para viáticos de 3 personas para 3 días por un valor total de $936.000; los cuales se detallan en la tabla.

Lugar	Valor Diario persona	No. de personas	No. de visitas	Costos	
				V. total Por salida	V. Total
Pasaje Bogotá-Cáqueza-Bogotá	24.000	3	3	72.000	216.000
Pasajes Internos	22.000	3	3	60.000	180.000
Alimentación	30.000	3	3	90.000	270.000
Subtotal					**936.000**

Tabla 4. Descripción de Viáticos (Los autores 2023).

Descripción de Costos por Honorarios

El proyecto conto con un equipo de trabajo conformado por Wagner Barbosa Bejarano, Jorge Alejandro Martínez y Steak Lizcano Aguja, estudiantes de último semestre de ingeniería de sistemas quienes son los autores y ejecutores del proyecto, trabajando durante 4 horas al día durante 4 meses, con un costo mensual de 6'000.000 pesos por persona, esto sumo un costo total de 24'000.000 pesos; como se relaciona en la siguiente tabla.

Nombre	Formación	Costos			
		Intensidad horaria	Duración	Costo mensual	Total
Wagner Barbosa Bejarano Jorge Alejandro Martínez Steak Lizcano Aguja	• Ingenieros de Sistemas	4 h/d	4 meses	6`000.000	24’000.000
Subtotal					**24’000.000**

Tabla 5. Costos por Honorarios (Los autores 2023).

Presupuesto Global

En síntesis, el presupuesto global del proyecto se conformó por los costos de insumos, materiales y equipos que corresponden al estimado de $10.260.000 pesos, viáticos por un valor de $936.000 pesos y los costos por honorarios que representan un valor de $24'000.000 pesos; lo que, sumado nos da un total de $35’196.000 pesos. Valor que fue aportado en su totalidad por los integrantes y ejecutores del proyecto con recursos propios, algunos en dinero en efectivo y otros en especie, como trabajo, préstamo de equipos y aporte de conocimientos.

El servidor fue adquirido por contacto de la fundación universitaria compensar, que concedió de forma gratis instalar todo el desarrollo para así lograr y publicar el visor geográfico.

Descripción	Valor
Descripción de costo de insumos y materiales	10´260.000
Descripción de viáticos	936.000
Descripción de costos por honorarios	24’000.000
Total	**35’196.000**

Tabla 6. Presupuesto Global (Los autores 2023).

Capítulo VI. Cronograma de Actividades

Para ejecutar el proyecto de forma exitosa, se generó un cronograma de actividades para organizar y distribuir las tareas durante el tiempo necesario que permitió cumplir con los objetivos.

A continuación, se detalla las actividades planificadas durante los meses de agosto a noviembre, dividiendo el proceso en cuatro fases fundamentales.

Fase Diagnóstica o Descriptiva (del 1 al 12 de agosto): En esta fase inicial, se realizó la recolección de información de fuentes primarias y secundarias y la comprensión profunda del problema o tema de investigación. En esta etapa se definieron también los objetivos y alcances del proyecto.

Fase de Diseño (del 13 de agosto al 16 de septiembre): Una vez completada la fase diagnóstica, se procedió a la etapa de diseño. Esta fase se extendió desde la tercera semana de agosto hasta la segunda semana de octubre. Durante este período, se llevó a cabo actividades relacionadas con la planificación detallada del proyecto, incluyendo la creación de estrategias, la elaboración de los planes de trabajo concretos y la especificación de procedimientos.

Fase de Desarrollo (del 17 de septiembre al 28 de octubre): La fase de desarrollo se inició en la tercera semana de septiembre hasta la cuarta semana de octubre. En esta etapa, se puso en práctica las estrategias y planes diseñados previamente.

Fase de Validación (del 29 de octubre al 18 de noviembre): La fase de validación se centró en la revisión y confirmación de los resultados obtenidos en la fase de desarrollo. Esta etapa se llevó a cabo desde la última semana de octubre hasta la segunda semana de noviembre.

No	ACTIVIDADES	AGOSTO					SEPTIEMBRE				OCTUBRE					NOVIEMBRE			
		1 AL 5	6 AL 12	13 AL 19	20 AL 26	27 AL 31	1 AL 9	10 AL 16	17 AL 23	24 AL 30	1 AL 7	8 AL 14	15 AL 21	22 AL 28	29 AL 4	5 AL 11	12 AL 18	19 AL 25	26 AL 30
1	Fase diagnóstica o descriptiva																		
2	Fase de Diseño																		
3	Fase de Desarrollo																		
4	Fase de Validación																		

Tabla 7. Cronograma de actividades (Los autores 2023).

Capítulo VII. Resultados

Como principal resultado se obtuvo el desarrollo del visor geográfico web altamente funcional. Este visor está desarrollado como una aplicación web, utilizando tecnologías de código abierto para ofrecer una experiencia especializada en presentación, visualización y consulta de capas de información geográfica y datos sobre pozos de agua subterránea. Es importante destacar que esta aplicación es exclusivamente web y no se presenta como Progressive Web App (PWA).

Proceso Frontend: en este proceso se empleó HTML, CSS y JavaScript. Se priorizó la utilización de la biblioteca Leaflet de JavaScript que facilita la creación e integración de mapas interactivos en sitios web. Permite mostrar mapas, agregar marcadores, polígonos y líneas (Grandes, 2017). La interfaz de usuario se diseñó con sensibilidad a diversos dispositivos y tamaños de pantalla.

Proceso Backend: En el desarrollo del visor geográfico, se optó por emplear tecnologías basadas en el entorno .NET. En este contexto, se utilizó C# como lenguaje de programación principal, proporcionando un marco robusto y eficiente para la implementación de la lógica de backend. Para gestionar la interacción con la base de datos, se implementó Entity Framework como ORM (Mapeo Objeto-Relacional), facilitando la integración fluida entre la representación de datos en la aplicación y su almacenamiento en la base de datos. Además, se eligió SQL Server como sistema de gestión de bases de datos, aprovechando sus capacidades de escalabilidad, rendimiento y seguridad.

En concordancia con el objetivo general, esta aplicación cumple de manera satisfactoria su propósito principal, así como los objetivos específicos del proyecto, ofrece una plataforma

eficiente que permite a los usuarios interactuar y gestionar información geoespacial de manera efectiva. Un aspecto destacado es su accesibilidad, ya que no requiere la instalación de programas o ejecutables adicionales, únicamente se necesita un navegador web estándar.

Por su parte para determinar las funcionalidades que el aplicativo debe proveer, se identificaron un total de 7 requerimientos funcionales y 9 requerimientos no funcionales. Se diseñó la arquitectura del visor con el propósito de generar una representación abstracta de cómo se estructurarían los componentes del geovisor. Esto se hizo con el fin de cumplir con su propósito y asegurar una organización efectiva en el proceso de desarrollo, por lo que se realizó una abstracción del empaquetado del sistema por casos de uso.

Código	Requerimiento	Cumplimiento (Sí/No)
	Requerimientos funcionales	
RF1	Interfaz de usuario	Si
RF2	Autentificación	Si
RF3	Consulta de información de los pozos	Si
RF4	Herramientas de navegación	Si
RF5	Ubicación por coordenadas	Si
RF6	Leyendas informativas	Si
RF7	Control de capas de información	Si
	Requerimientos no funcionales	
RNF1	Idioma.	Si
RNF2	Compatibilidad de navegadores	Si
RNF3	Adaptabilidad a diferentes dispositivos	Si
RNF4	Lenguaje de programación	Si
RNF5	Herramientas de Ayuda Visual	Si
RNF6	Compatibilidad con Windows	Si
RNF7	Sin Requerimiento de Plugins o Applets	Si
RNF8	Sistema de Referencia WGS 84	Si
RNF9	Inmovilidad de los datos Geográficas	Si

Tabla 8. Lista de chequeo requerimientos (Los autores 2023).

Evaluación de Resultados

Para la evaluación de resultados se tomaron las características de calidad establecidos en la norma ISO/IEC 25010 de 2011 descritas a continuación.

Característica	Descripción
Funcionalidad	Competencia para atender los requerimientos del usuario.
Fiabilidad	Competencia de conservar su nivel de desempeño en circunstancias habituales de uso.
Usabilidad	Competencia de ser interpretado, dominado y puesto en práctica por el usuario.
Eficiencia	Competencia para aprovechar los recursos de manera eficiente para alcanzar los objetivos deseados.
Mantenibilidad	Competencia de ser perfeccionado, modificado o corregido de forma eficaz
Portabilidad	Competencia de ser movido y aplicado en diferentes escenarios.
Seguridad	Competencia para salvaguardar la información y los recursos del sistema.
Compatibilidad	Competencia de integrarse con otros sistemas o componentes sin dificultad.

Tabla 9. Características de calidad ISO/IEC 25010 (NormasISO.org, 2020).

También se describen los aspectos más importantes a evaluar, que son esenciales para asegurar que el software cumpla con los estándares y requisitos necesarios, según la norma ISO 25010, son:

Característica	Aspecto para evaluar
Funcionalidad	Validar si el software satisface las funciones necesarias para el usuario
Fiabilidad	Calificar la fiabilidad y la interacción del usuario con el software.
Usabilidad	Comprobar la aptitud del software para mantener su rendimiento en distintos contextos.
Eficiencia	Evaluar el desempeño del software considerando su velocidad y recursos usados.
Mantenibilidad	Valorar la capacidad del software en cuanto a modificaciones o mejoras.
Portabilidad	Comprobar la adaptabilidad del software a distintas plataformas y entornos.
Seguridad	Verificar las precauciones de seguridad establecidas para resguardar los recursos y la información.
Compatibilidad	Evaluar la habilidad del software para comunicarse con otros componentes y sistemas.

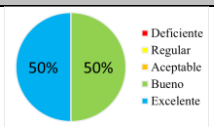
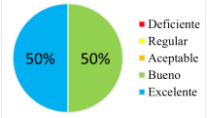
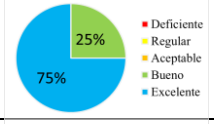
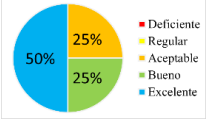
Tabla 10. Aspectos para evaluar ISO/IEC 25010 (NormasISO.org, 2020).

Basándose en la información anterior, se establecieron 5 criterios de calificación que debían ser considerados para cada una de las características de calidad. Estos criterios fueron proporcionados a cuatro profesionales participantes, quienes, en función de su experiencia, formación y como usuarios finales, otorgaron calificaciones que iban del 1 al 5 según los criterios establecidos tras interactuar con el visor geográfico funcional.

Criterio	Puntaje
Deficiente	1
Regular	2
Aceptable	3
Bueno	4
Excelente	5

Tabla 11. Criterios de calificación (Los autores 2023).

Los resultados de la calificación de cada característica del visor geográfico se pueden observar en la siguiente tabla.

Característica	Calificación				Resultado
	Pro. 1	Pro. 2	Pro. 3	Pro. 4	
Funcionalidad	4	5	4	5	
Fiabilidad	4	4	5	4	
Usabilidad	5	5	4	4	
Eficiencia	4	3	5	5	
Mantenibilidad	4	4	3	5	

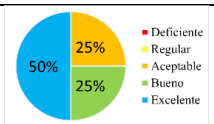
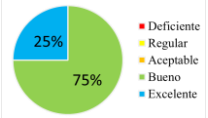
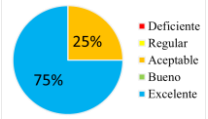
Portabilidad	4	5	3	5	
Seguridad	4	5	4	4	
Compatibilidad	4	3	5	5	

Tabla 12. Resultado evaluación (Los autores 2023).

El empleo del modelo de evaluación basado en la norma de calidad ISO 25010 para analizar los resultados del visor geográfico ha proporcionado una puntuación cuantitativa que evalúa las características de calidad del producto. Según esta evaluación, el sistema ha alcanzado una puntuación total de 4.43 sobre 5 en términos de calidad, lo que indica un cumplimiento significativamente alto en relación con los indicadores establecidos. Esto lo coloca en la categoría (Bueno), traduciéndolo en una valoración cualitativa. Se puede detallar en la tabla y el gráfico siguiente.

Característica	Calificación promedio
Funcionalidad	4,5
Fiabilidad	4,5
Usabilidad	4,5
Eficiencia	4,75
Mantenibilidad	4,25
Portabilidad	4,25
Seguridad	4,25
Compatibilidad	4,5
Total, promedio	4,43

Tabla 13. Promedio de calificación (Los autores 2023).

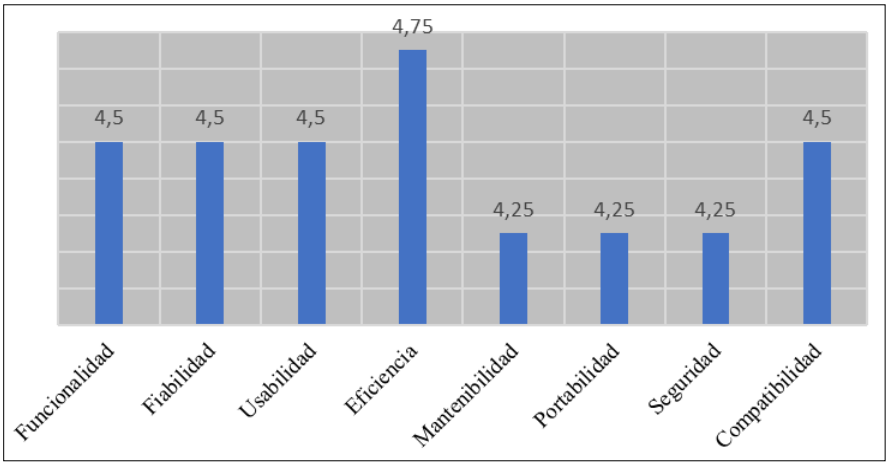


Figura 33. Gráfico de los resultados de la evaluación de calidad (Los autores 2023).

Capítulo VIII. Conclusiones

La creación de aplicaciones web geográficos centradas a la utilización de tecnologías de código abierto permite llevar a cabo proyectos de desarrollo de software de este tipo de una forma más accesible, reduciendo significativamente los gastos asociados con la compra de derechos de software. Por esta razón el desarrollo del Visor Geográfico Web para la Gestión Ambiental de la Captación de Agua Subterránea en la Vereda Girón de Resguardo está soportado en software libre lo que permitió que esta herramienta fuera desarrollada a bajo costo.

El desarrollo de un visor geográfico en la web aplicado a recursos hídricos subterráneos permite a los usuarios un ingreso visual fácil a la información geográfica relevante sobre estos recursos naturales, facilitando la toma de decisiones informadas para su manejo adecuado, la ordenación del territorio y la conservación ambiental.

Por otra parte, en el proceso de ejecución del proyecto para la identificación de requerimientos funcionales y no funcionales se estableció unos fundamentos sólidos en la metodología de diseño y desarrollo del visor geográfico. Igualmente se dio cumplimiento a los requerimientos planteados como la autentificación del usuario para el ingreso al visor geográfico; el desarrollo de una interfaz de usuario intuitiva que permite la visualización y consulta de información de capas geográficas y de los pozos de agua subterránea; acceder a las funciones esenciales como desplazamiento en todas las direcciones, ubicar puntos específicos con coordenadas geográficas, aumentar o disminuir el área de visualización en la pantalla y así mismo visualizar su escala.

La abstracción de los componentes del visor geográfico por casos de uso proporcionó una estructura organizativa y efectiva facilitando su organización y funcionamiento, así como su adaptación a las necesidades y preferencias del usuario.

Finalmente, se determina que el aplicativo cumple satisfactoriamente con las características establecidas por la norma ISO/IEC 25010 para la calidad de software, ya que se obtuvo una puntuación destacada en los aspectos analizados en la evaluación de resultados.

Bibliografía

Alcaldía de Cáqueza (EOT). (2023). *Esquema de ordenamiento territorial de Cáqueza (EOT).* Cáqueza, Cundinamarca, Colombia.

ArcGis Enterprise. (2023). *Portal for ArcGIS*. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de https://enterprise.arcgis.com/es/portal/latest/use/shapefiles.htm

Axel Dourojeanni, A. J. (2022). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica.* Santiago de Chile: Cepal Eclac. Obtenido de https://www.cepal.org/es/publicaciones/6407-gestion-agua-nivel-cuencas-teoria-practica

ESRI Colombia. (2023). *Documentación Mapbox GL JS*. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de https://www.esri.co/es-co/productos/api/apis-web/mapbox-gl-js#:~:text=Mapbox%20GL%20JS%20es%20una,a%20partir%20de%20mosaicos%20vectoriales.

ESRI España. (2023). *¿Qué es el GIS?* Recuperado el 5 de Junio de 2023, de https://www.esri.es/es-es/descubre-los-gis/qu-es-sig/que-es-sig

Fernando Alonso, L. M. (2005). *Introducción a la Ingeniería del Software.* Zaragoza: Delta Publicaciones. Obtenido de https://elibro-net.ucompensar.basesdedatosezproxy.com/es/ereader/ucompensar/170188?page=6

Geoinnova. (01 de 09 de 2021). *Geoinnova.org.* Obtenido de https://geoinnova.org/blog-territorio/visor-cartografico-y-cuales-son-principales-funcionalidades/#:~:text=Un%20visor%20cartogr%C3%A1fico%20es%20una,cambiado%20considerablemente%20en%20la%20actualidad.

Grandes, J. L. (24 de Octubre de 2017). *MappingGIS*. Recuperado el 10 de Mayo de 2023, de 10 cosas que quizá no sabías de Leaflet: https://mappinggis.com/2017/10/10-cosas-quiza-no-sabias-leaflet/#:~:text=Leaflet%20es%20una%20librer%C3%ADa%20JavaScript,que%20necesitan%20realizar%20proyectos%20complejos.

IBM. (Agosto de 2020). *IBM.COM*. Obtenido de ¿Qué son los datos geoespaciales?: https://www.ibm.com/mx-es/topics/geospatial-data

Infraestructura de Datos Espaciales Cundinamarca IDEC. (25 de 11 de 2020). Obtenido de https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/municipio-de-caqueza/explore

Infraestructura de Datos Espaciales Cundinamarca IDEC. (20 de 03 de 2023). Obtenido de https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/mdt-municipio-de-c%C3%A1queza-gsd-1-m-2021-image/about

Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba. (15 de Julio de 2020). *IDECOR*. Obtenido de https://www.idecor.gob.ar/que-es-openstreetmap/

Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital - IDECA. (2019). Recuperado el 1 de Junio de 2023, de https://www.ideca.gov.co/recursos/glosario/geoportal

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (Junio de 2018). Manual de Procedimientos. *Procesamiento, Almacenamiento y Publicación de Información GNSS*. Bogotá D.C. Obtenido de https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/listadomaestro/p30100_04_18_v2_procesamiento_almacenamiento_y_publicacion_de_informacion_gnss.pdf

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2017). *Datos Abiertos*. Obtenido de https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia

Marcos López, F. S. (2015). *Programación web en el entorno servidor.* Madrid: Ra-Ma Editorial. Obtenido de https://elibro-net.ucompensar.basesdedatosezproxy.com/es/ereader/ucompensar/106487

Marcos López, J. V. (2014). *Desarrollo web en entorno servidor.* Madrid: Ra-Ma S.A. Obtenido de https://elibro-net.ucompensar.basesdedatosezproxy.com/es/ereader/ucompensar/62489

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Programa Nacional de Aguas Subterráneas.* Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-37.-Programa-Nacional-de-Aguas-Subterra%CC%81neas.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Recuperado el 5 de Junio de 2023, de https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/aguas-subterraneas-y-acuiferos/

Naciones Unidas. (2020). *Objetivos del desarrollo sostenible*. Obtenido de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/

NormasISO.org. (2020). *ISO 25010 Mejora calidad y satisfacción del usuario en software*. Obtenido de https://normasiso.org/norma-iso-25010/

QGIS. (2022). *QGIS.org*. Obtenido de https://qgis.org/es/site/about/index.html

QGIS Documentation. (2023). *Sistema de Referencia de Coordenadas*. Obtenido de https://docs.qgis.org/3.28/es/docs/gentle_gis_introduction/coordinate_reference_systems.html

Secretaría De Ambiente Bogotá. (10 de 09 de 2020). *Atención y servicios a la ciudadanía*. Obtenido de https://www.ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente/-/asset_publisher/Fziya03up5Z6/content/visor-geografico-ambiental-una-herramienta-para-consulta-y-analisis-de-la-informacion-geografica-de-bogota

Secretaría De Ambiente Bogotá. (9 de 03 de 2021). *Visor Geográfico Ambiental* . Obtenido de https://www.ambientebogota.gov.co/todas-las-investigaciones/-/asset_publisher/pibvwzUnZiNr/content/en-el-visor-geografico-puedes-conocer-cuantos-pozos-de-agua-subterranea-hay-en-bogota

Secretaría De Ambiente Bogotá. (2022). *Aguas subterráneas*. Obtenido de https://www.ambientebogota.gov.co/aguas-subterraneas