

Propuesta Metodológica para la Implementación de un Modelo de Datos Geográfico en Entorno SIG y el Diseño de un Geoportal para la Información Geocientífica Generada por la Escuela de Geología

Julieth Juliana Barrios Ramírez

Cediel de Jesús Rozo Galindo

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Geólogo

Director:

Jose Pedro Mora Ortiz

Magister en Ciencias y Ciencias de la Información Geográfica

Codirectores:

Leily Johanna Candela Becerra

Especialista en Teledetección y SIG aplicados al Estudio del Medio Ambiente

César Augusto Suárez Herrera

Especialista en Teledetección y SIG aplicado a la Gestión de Recursos Naturales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mis padres, por apoyarme siempre. A mi familia, por estar ahí para mí. A mis perritos, por alegrarme los días y acompañarme en todo el proceso de culminación de la tesis. A Cediél, por mostrarme el camino de los SIG y haber sido mi compañero en la vida por 3 largos años. A Jose Pedro, mi director de tesis, por haber estado para nosotros todo el tiempo. A César y Leily, mis co-directores de tesis, por haberme acompañado desde el principio. A Yesid, porque gracias a él surgió el tema para la realización de esta tesis.

Juliana Barrios

Dedicado a mis padres, Marialena Galindo y Cediél Rozo por ser mi inspiración y por creer en cada paso que he dado. A mi querido abuelo, compañero de todas las etapas de mi vida y fuente inagotable de sabiduría. A mi querida abuela, quien ya no comparte este viaje conmigo, pero cuyo amor y sacrificio han sido las raíces profundas que me han sostenido. A mi familia, cuyo apoyo ha sido el cimiento de mi camino académico.

A mis mejores amigos, por la amistad inquebrantable y el apoyo incondicional que me han brindado por los años. A todos aquellos cuyas contribuciones, aunque a veces anónimas, fueron esenciales para la realización de este proyecto. A aquellos seres queridos que ya no están entre nosotros, su legado perdura en cada logro alcanzado.

Cediél Rozo

Agradecimientos

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander, que se transformó en un refugio académico para nosotros y nos proporcionó las oportunidades de aprendizaje y crecimiento que nos permiten ahora estar aquí como profesionales.

A la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander, extendemos nuestro agradecimiento por el apoyo invaluable proporcionado a lo largo de nuestro proceso de formación. Su dedicación a la excelencia académica ha sido un faro guía en nuestro desarrollo como profesionales. Este reconocimiento se hace en aprecio a la constante orientación y recursos brindados durante nuestra travesía académica.

A nuestro distinguido director de tesis, el Profesor José Pedro Mora, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento por su inigualable apoyo a lo largo de este arduo pero gratificante proceso. Su orientación experta, dedicación incansable y sabiduría académica han sido pilares fundamentales para el éxito de este trabajo. Estamos enormemente agradecidos por su compromiso y liderazgo, que han dejado una huella indeleble en nuestra formación académica y profesional.

A nuestros respetados codirectores, César Suárez y Leily Candela, les agradecemos sinceramente por su destacada contribución a esta tesis. Su guía y colaboración conjunta han sido esenciales para dar forma y enriquecer este proyecto. Valoramos profundamente su experiencia, dedicación y compromiso a lo largo de este viaje académico. Este logro no habría sido posible sin su invaluable aporte y liderazgo.

A nuestras familias, amigos y a todas las personas que contribuyeron de alguna manera en este proyecto, les extendemos nuestro más sincero agradecimiento. Su apoyo incondicional, paciencia y aliento han sido pilares fundamentales en nuestro camino hacia la realización de esta tesis. Cada uno de ustedes ha dejado una huella significativa, y este logro es también suyo. Agradecemos sinceramente a todos quienes han formado parte de este viaje, contribuyendo con su valioso respaldo y siendo parte esencial de nuestro éxito.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Planteamiento y Justificación del Problema	16
2. Objetivos	18
2.1. Objetivo General	18
2.2. Objetivos Específicos	18
3. Marco Teórico.....	19
3.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	19
3.1.1. Componentes de un SIG.....	19
3.1.2. Elementos de un SIG.....	20
3.2. Bases de Datos Espaciales y Datos Espaciales.....	20
3.2.1. Implementación de los datos espaciales en una base de datos espacial	21
3.2.1.1. Índices espaciales.	21
3.2.2. Tipos de bases de datos espaciales	22
3.3. Modelo de Datos	22
3.3.1. Modelo Entidad-Relación (E-R).....	24
3.3.2. Modelo Relacional.....	24
3.3.3. Diccionario de Datos	25
3.4. Infraestructura de Datos Espaciales (IDE)	26
3.4.1. Componentes de las IDE	27
3.4.1.1. Servicios Web Geográficos.	27
3.4.2. Actores de una IDE	30
3.4.3. Interoperabilidad.....	30
3.5. Desarrollo de Geoportales	31

3.5.1. Características y componentes de los geoportales	31
3.5.2. Tecnologías y herramientas utilizadas para su desarrollo	32
3.5.2.1. Backend (Servidor).....	32
3.5.2.2. Frontend (Cliente).	33
3.5.3. Geoportal licenciado ESRI.....	33
3.5.3.1. ArcGIS Online.....	34
3.5.3.2. ArcGIS Experience Builder.....	34
3.5.4. Geoportal Open Source	35
3.5.4.1. Apache Tomcat.....	36
3.5.4.2. GeoServer.	36
3.5.4.3. PostgreSQL.	37
3.5.4.4. PostGIS.....	38
3.5.4.5. Leaflet.....	38
3.5.4.6. OpenStreetMap.....	38
3.6. Metadatos y Estandarización.....	39
3.6.1. Metadatos	39
3.6.1.1. Definición de un metadato.	39
3.6.1.2. Naturaleza de los metadatos.	39
3.6.1.3. Elementos de los metadatos.....	40
3.6.1.4. Utilidad de los metadatos.	40
3.6.2. Estandarización y Normatividad	40
3.6.2.1. Estandarización.....	40
3.6.2.2. Normas ISO para Geoportales.....	41
4. Metodología.....	42
4.1. Fase de recopilación de información.....	42

4.2. Fase creación del modelo de datos	43
4.3. Fase de revisión de la información.....	44
4.4. Fase de implementación de las infraestructuras	44
4.5. Fase de diseño del Geoportal.....	45
4.6. Fase de desarrollo y pruebas.....	45
5. Resultados	46
5.1. Recopilación de información.....	47
5.2. Características de la información geográfica recopilada en la Escuela de Geología	48
5.3. Modelamiento de características geográficas según el eje temático de las asignaturas de la Escuela de Geología	48
5.4. Propuesta de un modelo de datos geográficos con su respectivo diccionario de datos.....	49
5.5. Implementación de un borrador de geoportal con software licenciado.....	54
5.6. Implementación de un borrador de geoportal con software libre.....	65
5.7. Pruebas de calidad	76
6. Análisis de Resultados	78
6.1. Recopilación de la información.....	78
6.2. Desarrollo del modelo de datos y revisión de la información	78
6.3. Desarrollo del Geoportal Licenciado.....	78
6.4. Desarrollo del Geoportal Open Source	79
7. Conclusiones	82
8. Referencias Bibliográficas	85

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Relación entre las tablas	25
Tabla 2. Normas ISO para Geoportales	41
Tabla 3. Asignaturas del programa académico que cumplen con el requisito de involucrar la recolección de datos geoespaciales en campo	47
Tabla 4. Distribución temática	49
Tabla 5. Ventajas y desventajas de las opciones de software	80

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso de introducción de información espacial en una base de datos.....23

Figura 2. Modelo Relacional.....25

Figura 3. Arquitectura del funcionamiento de un geoportal licenciado en ESRI33

Figura 4. Arquitectura del funcionamiento de un Geoportal open source35

Figura 5. Interfaces y formatos de entrada para GeoServer.....37

Figura 6. Esquema metodológico del proyecto.....42

Figura 7. Requisitos para la elaboración de las infraestructuras44

Figura 8. Síntesis de la metodología implementada.....46

Figura 9. Tablas generalizadas que comprenden los temas centrales en las campañas de campo48

Figura 10. Estructura del modelo de datos, presentando las temáticas principales y las distintas capas que las conforman50

Figura 11. Ejemplo del proceso de creación de las capas, definiendo sus atributos, propiedades y, en caso de aplicarse, dominios correspondientes.....50

Figura 12. Ejemplo de la definición de dominios, ilustrando un caso específico de dominio definido para la capa presentada en la Figura 1050

Figura 13. Modelo relacional52

Figura 14. Diccionario de datos54

Figura 15. Base de datos en ArcGIS Pro.....54

Figura 16. Feature class temática de Campo55

Figura 17. Feature class temática de Geología.....55

Figura 18. Feature class temática de Geomorfología.....56

Figura 19. Feature class temática de Geofísica.....56

Figura 20. Ejemplo de la simbología consultada en el documento FGDC-STD-013-2006 para la capa de contactos geológicos57

Figura 21. Contenido alojado en ArcGIS Online para la realización del proyecto.....58

Figura 22. Formato para la elaboración del formulario en Survey123 Connect58

Figura 23. Pestaña denominada "choices" en la hoja de cálculo utilizada en la creación del formulario, destinada a especificar las opciones predefinidas aplicables a preguntas de selección única o múltiple59

Figura 24. Visualización del formulario en la aplicación móvil de ArcGIS Survey12360

Figura 25. Visualización del mapa con la información de la cartografía básica en la aplicación móvil de ArcGIS Field Maps61

Figura 26. Modelo de datos geográficos de la cartografía base62

Figura 27. Diccionario de datos del modelo de datos geográficos de la cartografía base62

Figura 28. Flujo de trabajo utilizando la alternativa con software licenciado63

Figura 29. Interfaz de desarrollo del geoportál en ArcGIS Experience Builder63

Figura 30. Geoportál implementando software licenciado64

Figura 31. Fragmento del código SQL destinado a la creación de las tablas definidas en el modelo de datos.....66

Figura 32. Fragmento del código SQL destinado a la creación de los dominios en las tablas del modelo de datos.....66

Figura 33. Base de datos en PgAdmin 467

Figura 34. Tablas creadas en la base de datos en PgAdmin 4.....67

Figura 35. Administrador de bases de datos de QGIS69

Figura 36. Ejemplo de la simbología consultada en el documento FGDC-STD-013-2006 para la capa de contactos geológicos70

Figura 37. Servidor local con Apache Tomcat.....70

Figura 38. Servidor local en el Geoserver.....71

Figura 39. Base de datos de PostGIS importada en el Geoserver como un almacén de datos71

Figura 40. Tablas de la base de datos publicadas en el Geoserver como capas.....72

Figura 41. Estilos SLD importados en el Geoserver.....72

Figura 42. Personalización del formulario de QField en QGIS73

Figura 43. Visualización de QField y el formulario correspondiente a la capa de alteraciones ...74

Figura 44. Fragmento del código HTML implementado en el diseño del geoportal75

Figura 45. Geoportal implementando software libre76

Figura 46. Síntesis del procedimiento a seguir para la implementación del proyecto en la
Escuela de Geología84

Apéndices

Los apéndices están disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. [Modelo de datos](#).

Apéndice B. [Diccionario de datos](#).

Apéndice C. [Modelo de datos de la cartografía básica](#).

Apéndice D. [Diccionario de datos de la cartografía básica](#).

Apéndice E. [Archivo .sql de la creación de la base de datos en PostGIS](#).

Apéndice F. [Repositorio de datos en GitHub con el código de la creación del geoportál open source](#).

Resumen

Título: Propuesta Metodológica para la Implementación de un Modelo de Datos Geográfico en Entorno SIG y el Diseño de un Geoportal para la Información Geocientífica Generada por la Escuela de Geología¹

Autores: Julieth Juliana Barrios Ramirez, Cediél De Jesús Rozo Galindo²

Palabras Clave: Sistemas de Información geográfica, geociencias, geología, geomorfología, interoperabilidad, ArcGIS Experience Builder, aplicaciones web, geoportales, HTTP, XML, GUI, WMS, WFS, WCS, bases de datos.

Descripción:

Con el creciente valor de la información geocientífica en investigación y toma de decisiones, surge la necesidad de desarrollar herramientas y plataformas eficientes para su gestión y difusión. Este trabajo propone una metodología integral para implementar un Modelo de Datos Geográfico (MDG) en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y diseñar un Geoportal especializado, centrándose en la recopilación, organización y visualización eficiente de la información de la Escuela de Geología. Se crearon dos geoportales: uno con tecnología con licencia de ESRI y otro con tecnología de código abierto. El propósito era presentar dos alternativas que convergen hacia el mismo objetivo, destacando las ventajas y desventajas. La opción con licencia utiliza herramientas como ArcGIS Pro, ArcGIS Online y ArcGIS Experience Builder; la de código abierto utiliza QGIS, Apache Tomcat, GeoServer y Leaflet. Se obtuvo un modelo de datos ejecutado con orientación amplia y precisa, incorporando rigurosos estándares, y ambos Geoportales (Licenciado y de código abierto). Para el Geoportal de software libre, se requiere una actualización constante de los atributos para reflejar cambios en cada nuevo elemento, demandando un mayor nivel de competencia y el uso de herramientas de programación en comparación con su contraparte licenciada.

Abstract

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Jose Pedro Mora Ortiz. Geólogo, M.Sc. Codirectores: Leily Johanna Candela Becerra. Geóloga, Esp. César Augusto Suárez Herrera. Geólogo, Esp.

Title: Methodological Proposal for the Implementation of a Geographic Data Model in a GIS Environment and the Design of a Geoportal for the Geoscientific Information Generated by the School of Geology³

Authors: Julieth Juliana Barrios Ramirez, Cediél De Jesús Rozo Galindo⁴

Keywords: Geographic Information Systems, geosciences, geology, geomorphology, interoperability, ArcGIS Experience Builder, web applications, geoportals, HTTP, XML, GUI, WMS, WFS, WCS, databases.

Description:

With the increasing importance of geoscientific information in research and decision-making, there is a need to develop efficient tools and platforms for its management and dissemination. This work proposes a comprehensive methodology to implement a Geographic Data Model (MDG) in a Geographic Information Systems (GIS) environment and design a specialized Geoportal, focusing on the collection, organization, and efficient visualization of information from the School of Geology. Two Geoportals were created: one using ESRI licensed technology and another using open-source technology. The purpose was to present two alternatives converging towards the same goal, highlighting their advantages and disadvantages. The licensed option utilizes tools such as ArcGIS Pro, ArcGIS Online, and ArcGIS Experience Builder; the open-source alternative employs QGIS, Apache Tomcat, GeoServer and Leaflet. A data model was obtained, executed with a broad and precise orientation, incorporating rigorous standards, and featuring both Geoportals (licensed and open source). For the open-source Geoportal, constant attribute updates are required to reflect changes in each new element, demanding a higher level of expertise and the use of programming tools compared to its licensed counterpart.

³ Bachelor Thesis

⁴ Faculty of Physicochemical Engineering. Department of Geology. Advisor: Jose Pedro Mora Ortiz. Geologist, M.Sc. Co-directors: Leily Johanna Candela Becerra. Geologist, Sp. César Augusto Suárez Herrera. Geologist, Sp.

Introducción

Un geoportal se define como un sitio web de información (principalmente de recursos geoespaciales) que proporciona acceso a conjuntos de datos, servicios, herramientas, enlaces, mapas, entre otros y, permiten su búsqueda y descarga (Maguire & Longley, 2005). Mientras que un recurso geoespacial comprende tanto datos como servicios geoespaciales (Yang et al., 2007). Los geoportales presentan la información por medio de una interfaz gráfica de usuario (GUI), diseñada para ser el componente gráfico de la arquitectura del geoportal (De Longueville, 2010), la cual se caracteriza por ser intuitiva y de fácil comprensión por el cliente, permitiéndole realizar consultas, visualizar y agregar nueva información.

Un ejemplo de geoportal en Colombia, lo tenemos con el sitio web llamado “Colombia en Mapas (IGAC, 2023), el cual permite consultar, visualizar y descargar información geológica, vulcanológica, geomorfológica, cartográfica, imágenes satelitales, entre otras; así como, filtrar los datos requeridos según el periodo de tiempo y el sitio geográfico en específico (Koshkarev et al., 2008). Su importancia radica en la posibilidad de proporcionar una amplia variedad de información geoespacial al alcance del usuario, de manera que su acceso sea sencillo e interactivo para cualquier tipo de usuario y abordando diversos tipos de campos, ya sea enfocado a la gestión territorial, el medio ambiente, la educación, el desarrollo urbano o la investigación científica.

En general, un geoportal es un sitio web, conectado a un servidor web, que contiene una base de datos de metadatos sobre información y servicios geográficos. Los servicios se construyen y exponen como servicios web, es decir, aplicaciones web autocontenidas y autodescriptivas que pueden invocarse a través de la web mediante mensajes codificados en XML (y transmitidos a través de una conexión HTTP) (De Longueville, 2010).

A través de los años la Escuela de Geología se ha encargado de llevar a cabo numerosas campañas de campo, con el fin de instruir a los nuevos geólogos en las buenas prácticas en la toma de datos y la elaboración de mapas geológicos. Si bien los resultados obtenidos pueden llegar a ser muy diversos (dependiendo de las consideraciones del investigador), el análisis que se lleva a cabo es muy puntual. En este sentido, surge el proyecto de crear un repositorio de datos que documente toda esta información recolectada, con el fin de permitir que los datos sean validados o cuestionados; además de compartir esta información con todo el público, desarrollando un geoportal institucional.

Este proyecto de investigación se centra tanto en la creación de un repositorio de datos para el almacenamiento de la información recolectada como en el diseño e implementación de un piloto de geoportal destinado a compartir y presentar esta información. El proceso involucra varias etapas: comenzando por la selección de los temas de interés, seguido por el diseño de un modelo de datos generalizado y estandarizado, la revisión de la información seleccionada, la construcción básica de la infraestructura de datos espaciales (IDE), la configuración y diseño del geoportal.

1. Planteamiento y Justificación del Problema

La investigación propuesta tiene como problema principal la falta de integración de la información geográfica en la Escuela de Geología, además de la poca estandarización en el uso de la información espacial y geológica recolectada durante las salidas de campo, lo que conlleva a la pérdida de información geocientífica. Para resolver ese problema, se propone una metodología para la creación y desarrollo de un geoportal para compartir y divulgar la información geocientífica recolectada en las campañas de campo de la Escuela de Geología. Se espera que el geoportal funcione como prototipo para la futura implementación de una infraestructura corporativa más compleja y avanzada. Teniendo en cuenta que la información recopilada en campo a menudo se pierde o queda archivada sin la posibilidad de compartirse al no estar almacenada en un repositorio de datos, surge la necesidad de establecer un repositorio que tenga como propósito principal el almacenamiento de la información de manera sistemática y estandarizada.

A través de los años la Escuela de Geología se ha encargado de llevar a cabo numerosas campañas de campo, con el fin de instruir a los nuevos geólogos en las buenas prácticas en la toma de datos y la elaboración de mapas geológicos. Si bien los resultados obtenidos pueden llegar a ser muy diversos, dependiendo de las consideraciones del investigador ya que no se cuenta con un estándar que indique la forma en la cual se debe almacenar la información recolectada, el análisis que se lleva a cabo es muy puntual. En este sentido, surge el proyecto de crear un repositorio de datos que documente toda esta información recolectada, con el fin de permitir que los datos sean validados o cuestionados; además de compartir esta información con todo el público, desarrollando un geoportal institucional, con el fin de fortalecer la información geocientífica para que pueda ser implementada durante un análisis ambiental o para que pueda servir de referencia como información de diagnóstico para distintos proyectos.

Para el desarrollo de este proyecto se implementarán dos geoportales, uno realizado con la tecnología de ESRI (soportado por una licencia) y el otro realizado con tecnología open source, con el objetivo de presentar dos alternativas contrarias que coinciden en el mismo objetivo, exponiendo las distintas ventajas y desventajas que hay entre ellos. Se llevará a cabo la siguiente metodología mencionada en los distintos trabajos consultados como referencia, metodología la cual comienza con la selección de los temas de interés, el diseño de un modelo de datos generalizado y estandarizado, la revisión de la información seleccionada, la construcción de la infraestructura de

datos espaciales (IDE), la configuración y finalmente, el diseño del geoportal; se espera con esta investigación que la Escuela de Geología utilice estos procesos planteados y se consolide la información espacial generada.

La creación de un repositorio de datos geográficos permitiría a los estudiantes acceder a información real, revisada, estandarizada y ordenada para utilizar en sus estudios, trabajos e investigaciones, siempre respetando los derechos de autor correspondientes. Además, se podría diversificar los lugares para las actividades de campo, logrando un mayor cubrimiento del territorio colombiano, y, brindar el conocimiento sobre un mayor manejo de las herramientas actualizadas de uso común en empresas o entidades que adquieren datos espaciales o mapas. Es importante tener en cuenta que esta información debe estar sujeta a una revisión, actualización y verificación constante. Sumado a la importancia que tiene la creación de una serie de guías que inciten a las buenas prácticas al momento de recolectar datos en las campañas de campo.

En la opción licenciada se hará uso de herramientas como ArcGIS Pro, ArcGIS Online y ArcGIS Experience Builder y, en la opción open source se hará uso de herramientas como QGIS, Apache Tomcat, GeoServer, Leaflet y Open Layers; herramientas las cuales tendrán el objetivo de soportar el repositorio de datos, la administración, almacenamiento y consulta de los datos geocientíficos recolectados.

2. Objetivos

2.1.Objetivo General

Elaborar una propuesta metodológica para el diseño e implementación de un geoportal y un modelo de datos geográfico en entorno SIG con el fin de facilitar la divulgación, administración y consulta de la información geocientífica adquirida en las campañas de campo de la Escuela de Geología con el fin de brindar información actualizada sobre las zonas exploradas.

2.2.Objetivos Específicos

Identificar las características más importantes de la información generada de las campañas de campo y modelarla según el eje temático de las diferentes asignaturas de la Escuela de Geología.

Elaborar una propuesta de modelo de datos geográfico que permita estructurar la información adquirida en campo y establecer relaciones entre los datos.

Generar un diccionario de datos que sirva de guía para estudiantes y docentes, fomentando las buenas prácticas en la adquisición y administración de datos basados en el modelo de datos propuesto.

Implementar un borrador de geoportal de consulta, visualización y acceso de datos geológicos.

3. Marco Teórico

3.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema informático para capturar, almacenar, consultar, analizar y mostrar datos geoespaciales (Chang, 2018). Desde la adquisición, transferencia y retención de información, hasta el análisis y la representación espacial (manipulación, superposición, medición y cálculo) de los datos, con el fin de obtener resultados y presentar nuevos mapas temáticos o tablas de resultados (Arias, 2017; Avila, 2014).

Los datos geoespaciales describen tanto la ubicación como las características de los elementos espaciales. Para describir una carretera, por ejemplo, nos referimos a su ubicación (es decir, dónde está) y a sus características (por ejemplo, longitud, nombre, límite de velocidad y dirección).

3.1.1. Componentes de un SIG

De acuerdo con Chang (2018), Olaya (2014) y Sarría (2008) al igual que otras tecnologías de la información, un SIG requiere los siguientes componentes, además de los datos geoespaciales:

- **Datos:** Contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- **Métodos:** Conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Software:** El software SIG, ya sea comercial o de código abierto, incluye programas y aplicaciones que se ejecutan en un ordenador para la gestión, la visualización de datos y otras tareas. Las interfaces de usuario habituales para estos programas y aplicaciones son menús, iconos y líneas de comandos, utilizando un sistema operativo como Windows, Mac o Linux.
- **Hardware:** Incluye ordenadores para el procesamiento, almacenamiento y entrada/salida de datos; GPS y dispositivos móviles para el trabajo de campo.
- **Usuarios:** Obtienen información del SIG y se encarga de la toma de decisiones en función de los datos, suelen tener pocos conocimientos sobre la complejidad del sistema, por lo cual necesitan de una interfaz de usuario sencilla.
- **Técnicos en SIG:** Encargados de manejar los datos y herramientas necesarias para cumplir con los fines propuestos en el proyecto SIG.

- **Informáticos:** Encargados de la administración y personalización del software SIG.

3.1.2. Elementos de un SIG

Los SIG constan de los siguientes elementos fundamentales que permiten su funcionamiento integral: datos geoespaciales, adquisición de datos, gestión de datos, visualización de datos, exploración de datos y análisis de datos (Chang, 2018).

- **Datos geoespaciales:** Cubren la localización de características espaciales.
- **Gestión de datos:** Un SIG suele emplear un sistema de gestión de bases de datos (SGBD) para manejar los datos de atributos, que pueden ser de gran tamaño en el caso de los datos vectoriales.
- **Exploración de datos:** La exploración de datos se refiere a las actividades de visualización, manipulación y consulta de datos mediante mapas, tablas y gráficos.

3.2. Bases de Datos Espaciales y Datos Espaciales

En el siglo XXI, ha habido un aumento sin precedentes en el volumen de información, donde los datos actúan como portadores de esta abundancia. Los datos espaciales, también conocidos como datos geoespaciales, comprenden información relacionada con características y fenómenos geográficos en la Tierra y más allá (Yue & Tan, 2017). Estos conjuntos de datos suelen representarse mediante una combinación de valores geométricos y alfanuméricos dentro de los SIG, que se utilizan ampliamente en diversos campos, contribuyendo a nuestra comprensión del medio ambiente y a la calidad de vida humana (Heywood et al., 2010; Shekhar & Xiong, 2008). A medida que los datos proliferan, la necesidad de almacenar datos se convierte en una preocupación fundamental en los dominios de la Infraestructura de Tecnología de la Información (TI) y los SIG (Yue & Tan, 2017).

Se puede describir una base de datos espacial como aquella que define categorías particulares de información para elementos geométricos y también habilita el almacenamiento de datos geométricos, típicamente relacionados con la geografía, en tablas de bases de datos convencionales (Hernández, 2013; Obe & Hsu, 2021). En otros términos, como su nombre indica, son bases de datos optimizadas para almacenar y consultar datos espaciales (Rodríguez & Reyes, 2015; Yue & Tan, 2017).

Dentro del campo de la información geográfica, los datos espaciales se dividen en dos categorías principales: los datos vectoriales y los datos rasterizados, según (Heywood et al., 2010). Los datos vectoriales se utilizan para representar entidades espaciales mediante geometrías como puntos, líneas y polígonos, además de establecer relaciones topológicas entre ellos. Por ejemplo, un río se puede representar como una línea, y un lago como un polígono. Por otro lado, los datos rasterizados se emplean para representar fenómenos geográficos mediante una cuadrícula de valores discretos en múltiples dimensiones, como imágenes de teledetección, mapas topográficos digitalizados y datos de modelos digitales de elevación.

3.2.1. Implementación de los datos espaciales en una base de datos espacial

Los datos espaciales engloban atributos planos, ubicaciones, datos temporales y elementos topológicos. Debido a su variabilidad en longitud y su estructura no uniforme, resulta complicado abordarlos directamente con bases de datos convencionales. Además, existen otras características fundamentales de los datos espaciales, como su alta volumetría, la diversidad de formatos heterogéneos y la complejidad en los procesos de búsqueda de información (Heywood et al., 2010; Yue & Tan, 2017). Estas particularidades plantean desafíos significativos a las tecnologías de bases de datos. En la creación y puesta en práctica de una base de datos espacial, es esencial cumplir con los siguientes requisitos:

- 1) La base de datos se puede utilizar para guardar y administrar información.
- 2) Debe tener la capacidad intrínseca de manejar tipos de datos espaciales en su estructura de datos.
- 3) Debe incluir un lenguaje de consulta que permita realizar consultas relacionadas con la información espacial.
- 4) Debe contar con índices específicos para optimizar las búsquedas de información espacial.

Los modelos de base de datos, las consultas espaciales y los índices son tres cuestiones importantes que deben tenerse en cuenta para ofrecer un servicio de base de datos espacial satisfactorio.

3.2.1.1. Índices espaciales. Son estructuras de datos elaboradamente diseñadas que generan ciertos órdenes y disposiciones en objetos espaciales en función de sus ubicaciones, formas, atributos o relaciones entre sí, con el fin de extraer fácil y rápidamente la información

deseada de las bases de datos. La consulta utilizando índices espaciales puede filtrar aproximadamente los datos que no cumplen con los criterios de la consulta, reduciendo en gran medida el tiempo de cálculo sin perder precisión y localizando los objetos objetivo de manera más rápida (Azri et al., 2013; Yue & Tan, 2017).

3.2.2. Tipos de bases de datos espaciales

La falta de estructura en los datos espaciales y la diversidad de tipos de datos hacen que no sea posible aplicar directamente las bases de datos no espaciales existentes a la gestión de datos espaciales. Esto se debe a que los modelos de datos utilizados en las bases de datos convencionales no pueden representar las complejas relaciones espaciales entre diversas entidades espaciales.

Además, los atributos espaciales de las entidades geográficas, como ubicaciones y formas, suelen variar en longitud, lo que los hace inadecuados para las bases de datos relacionales tradicionales (Yue & Tan, 2017). Para abordar esta situación, se han desarrollado soluciones que amplían y mejoran las tecnologías de bases de datos actuales para satisfacer las necesidades de la gestión de datos espaciales entre las cuales encontramos: Modelos Híbridos, Base de datos relacionales, Base de datos Entidad-relacionadas y Entidad-orientadas, pero principalmente nos centraremos en la segunda, donde diversas características espaciales se descomponen en varios tipos de entidades espaciales básicas y luego se diseñan tablas correspondientes para almacenar los datos espaciales de acuerdo con el modelo relacional y las características de las entidades espaciales (Date, 2003; Kroenke & Auer, 2010).

3.3. Modelo de Datos

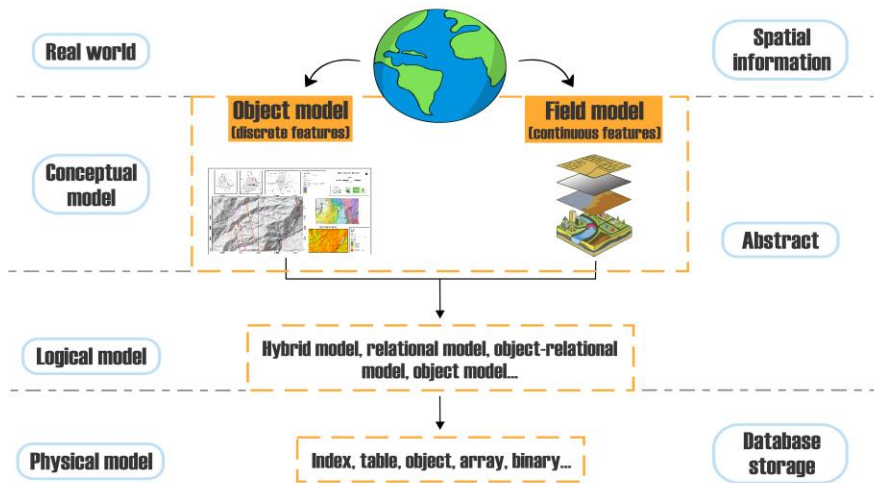
Los modelos de datos son la descripción abstracta de elementos específicos en el mundo real. Estos modelos pueden utilizarse para expresar y organizar datos en sistemas informáticos, sobre la base de los cuales se pueden realizar diversas operaciones para manipular estos datos (Date, 2003). Los objetos no pueden convertirse directamente en datos que una computadora pueda manejar, a menos que se abstraigan y transformen a través de un modelo de datos. Un modelo de datos bien diseñado puede representar de manera bastante auténtica el mundo real y puede ser fácilmente comprendido por las personas e implementado en una computadora.

Los modelos de datos pueden clasificarse como modelos conceptuales, modelos lógicos y

modelos físicos según sus usos previstos (Date, 2003) como se observa en la *Figura 1*. Los modelos conceptuales, también llamados modelos de información, representan información del mundo real desde la perspectiva de los usuarios y se utilizan principalmente durante la etapa de diseño de la base de datos. Los modelos lógicos organizan los datos desde la perspectiva de los sistemas informáticos y se utilizan principalmente durante la etapa de implementación de las bases de datos. Por último, los modelos físicos son abstracciones de datos en el nivel más bajo y describen el modo de almacenamiento físico y el método de acceso en el sistema informático interno (Yue & Tan, 2017).

Figura 1

Proceso de introducción de información espacial en una base de datos.



Nota. El proceso de agregar datos espaciales a una base de datos, extendiendo su contenido con información geográfica específica. Adaptado de Yue & Tan (2017).

Nos centramos principalmente en los modelos de datos lógicos, que como se observa en la *Figura 1* existen distintos tipos de modelos de datos, pero nos enfocaremos en dos en específico: el modelo relacional y el modelo entidad-relación. El primero se centra en describir una base de datos como una colección de predicados sobre un conjunto finito de variables de predicado, que describen restricciones sobre los posibles valores y combinaciones de valores. El contenido de la base de datos en un momento dado es un modelo finito (lógico) de la base de datos, es decir, un conjunto de relaciones, una por cada variable de predicado, de manera que todos los predicados se cumplan (Date, 2003; Kroenke & Auer, 2010). El segundo suele ser el resultado de un análisis sistemático para definir y describir qué datos son creados y necesarios por los procesos en un área

específica. Por lo general, se representa en forma gráfica mediante cajas (entidades) que están conectadas por líneas (relaciones) que expresan las asociaciones y dependencias entre las entidades (Chen, 1976). Las entidades pueden ser caracterizadas no solo por relaciones, sino también por propiedades adicionales (atributos), que incluyen identificadores llamados "claves primarias". Los diagramas creados para representar atributos, así como entidades y relaciones, pueden llamarse diagramas entidad-atributo-relación, en lugar de modelos entidad-relación.

Un modelo ER se implementa típicamente como una base de datos. En una implementación de base de datos relacional simple, cada fila de una tabla representa una instancia de un tipo de entidad, y cada campo en una tabla representa un tipo de atributo. En una base de datos relacional, una relación entre entidades se implementa almacenando la clave primaria de una entidad como un puntero o "clave foránea" en la tabla de otra entidad (Melton, 2002).

Para la presentación de los datos, los organismos oficiales definen (3) componentes fundamentales:

- **Estructura:** Se presenta el contenido o estructura general de la información temática.
- **Capas:** Se presenta la descripción de cada entidad temática de tipo vectorial, detallando cada uno de sus atributos o campos y las relaciones entre entidades.
- **Dominios:** Se presentan los dominios que están definidos y referenciados para ciertos atributos de las capas o tablas.

3.3.1. Modelo Entidad-Relación (E-R)

En éste, se representan mediante un diagrama Entidad-Relación los datos y las relaciones que conservan entre ellos, sabiendo que los datos se traducen en entidades, cada una con sus respectivos atributos (Silberschatz et al., 2002).

Cada entidad debe contener una llave primaria, la cual funcionará como identificador único de cada uno de los objetos que se creen en cada entidad, esta llave primaria a su vez tendrá la función de relacionar las entidades entre sí. Las relaciones pueden ser de tipo 1:1, 1:M, M:N.

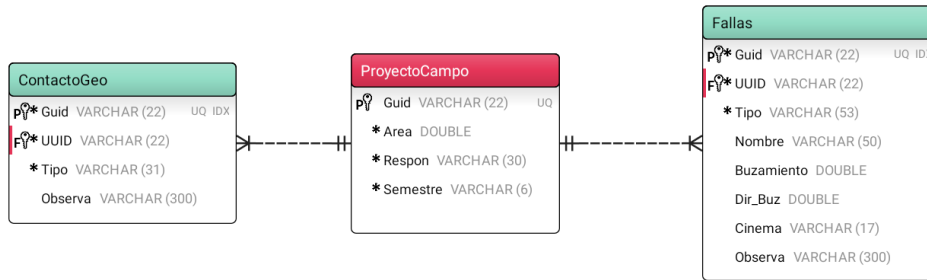
3.3.2. Modelo Relacional

El modelo relacional ofrece una forma sencilla de visualizar los datos, ilustrando de manera gráfica las relaciones entre las distintas tablas (Morales et al., 2015). Aquí la información se presenta de una forma más detallada, haciendo uso de tablas para exponer cada uno de las entidades

y las relaciones entre ellos, las tablas están compuestas por filas y columnas, en las cuales se muestran los atributos de cada entidad con un nombre único y referente (Silberschatz et al., 2002).

Figura 2

Modelo Relacional



Las tablas corresponden a cada uno de los rectángulos del diagrama, cada fila en el rectángulo representa cada uno de los atributos de la tabla, la llave primaria de cada tabla está identificada con el símbolo P^U* y la llave foránea está identificada con el símbolo F^U*. En la siguiente tabla se muestran las relaciones entre las tablas:

Tabla 1

Relación entre las tablas

Tablas		Relación	Cardinalidad
Padre	Hijo		
ProyectoCampo	Fallas	UUID	1:M
ProyectoCampo	ContactoGeo	UUID	1:M

3.3.3. Diccionario de Datos

Un diccionario de datos es crucial como recurso que describa y estructura los elementos presentes en la base de datos. Funciona como una guía que documenta la definición, propósito y formato de cada campo en las tablas de la base de datos, así como las relaciones entre ellos (Morales et al., 2015). Además, el diccionario de datos aborda aspectos como las restricciones, los tipos de datos y los metadatos asociados a los elementos almacenados. En resumen, este diccionario no solo facilita la comprensión de la estructura de la base de datos para el usuario, sino que también fomenta prácticas coherentes y eficientes en la adquisición, gestión y consulta de datos, al proporcionar una referencia completa y organizada de la información almacenada en el sistema geoespacial.

3.4. Infraestructura de Datos Espaciales (IDE)

En el pasado, la cartografía no se consideraba un producto de consumo como lo es en la actualidad, sino que se veía como un activo vinculado a los intereses nacionales que los gobiernos utilizaban para fines como defensa, recaudación de impuestos y desarrollo, entre otros (Fratila, 2016). La mayoría de los productos cartográficos solían emplear mapas base prediseñados como un punto de partida estándar sobre el cual crear mapas temáticos y/o aplicaciones específicas según las necesidades. Por lo que, el surgimiento de las IDE se debe a la dificultad de lograr la interoperabilidad de los datos, ya que compartir información es esencial para las entidades para tomar decisiones.

Una IDE es una estructura virtual en la red que se compone de datos y servicios de información geográfica, todos ellos descritos mediante metadatos. Esta infraestructura es accesible a través de Internet y se rige por estándares y acuerdos que regulan y garantizan la interoperabilidad de la información geográfica. Esta interoperabilidad abarca el conjunto de metadatos, conjuntos de datos espaciales y servicios de datos espaciales, junto con los servicios y tecnologías de red. Además, se incluyen los acuerdos relacionados con el acceso y utilización, así como los mecanismos, procesos y procedimientos de coordinación y seguimiento (Fratila, 2016; INSPIRE, 2004; Rojas, 2014). Normalmente una IDE se concreta mediante un Geoportal, que en términos simples es un sitio web que ofrece acceso a los servicios de la IDE (Martínez, 2015).

Las IDE se desarrollan impulsadas por las necesidades de la comunidad de usuarios, ya que se requieren infraestructuras que proporcionen información confiable en ámbitos ambientales, sociales y económicos. Esta información es crucial para tomar decisiones y resolver conflictos. Por lo tanto, la naturaleza y características de una IDE se ven influidas por las asociaciones, el sistema social, la dinámica y las opiniones de diversos interesados en su desarrollo (Rojas, 2014; Williamson et al., 2003).

Los objetivos de una IDE son múltiples y se centran en optimizar el manejo de información geográfica. En primer lugar, busca facilitar la visualización de datos mediante servicios web, ofreciendo una representación accesible y comprensible. Además, la IDE busca posibilitar la búsqueda y consulta eficiente de conjuntos de datos y servicios mediante metadatos, fomentando la accesibilidad y utilidad de la información. Asimismo, busca proporcionar herramientas que permitan la localización geográfica en un mapa mediante nombres geográficos, mejorando la

capacidad de ubicación espacial. Por último, la IDE aspira a la integración fluida con desarrollos de software existentes y futuros, promoviendo la interoperabilidad y la colaboración efectiva en el ámbito geoespacial (Gaviria, 2015).

3.4.1. Componentes de las IDE

Principalmente podemos encontrar tres componentes fundamentales para una IDE: datos, metadatos y servicios. Los datos son un registro digital con diferentes opciones de atributos que lo caracterizan y describen otorgándole un valor único y distinguible de otros datos (Naranjo, 2013). Los servicios son funciones en las que las personas pueden acceder mediante una IDE, requiere de una conexión internet e ingresar mediante un buscador web sin la necesidad de un software específico. Por último, los metadatos son la información básica que describe a los datos permitiéndolos localizar, describir y evaluar la información geográfica (Manosalvas & Naranjo, 2014).

3.4.1.1. Servicios Web Geográficos. Los servicios geoespaciales como elementos cruciales para la conectividad y la eficiencia. En particular, los geoservicios destacan como potentes herramientas web que facilitan el intercambio y acceso remoto a información geográfica. Estos servicios no solo rompen barreras geográficas, sino que también fomentan la interoperabilidad al funcionar sin problemas en diversas plataformas tecnológicas (Gaviria, 2015).

a. WMS

El Servicio de Mapas Web (WMS), es un estándar fundamental que define la manera en que se comparten y acceden a mapas a través de la web. Este estándar va más allá de la simple definición de mapas como representaciones de información geográfica, ya que establece un protocolo que permite la solicitud y entrega dinámica de porciones específicas de esos mapas. Los mapas generados por WMS se presentan en formatos de imagen comunes como PNG, GIF, JPEG o SVG, facilitando su visualización en pantallas de manera eficiente. La esencia del WMS es capaz de proporcionar mapas interoperables y en tiempo real, permitiendo a los usuarios acceder y combinar datos geográficos de diversas fuentes, promoviendo la colaboración y el intercambio de información espacial eficazmente en entornos web (Gaviria, 2015; OGC, 2024).

b. WFS

El Servicio de Características Web (WFS), representa un componente crucial en la infraestructura de servicios web geoespaciales al proporcionar una interfaz uniforme para el acceso a elementos geográficos almacenados en servidores. La especificación WFS se distingue por su capacidad para permitir a los clientes interactuar de manera consistente con entidades geográficas, codificadas en Geography Markup Language (GML), a través de diferentes servicios web.

El GML actúa como un estándar para la representación de la geometría y las propiedades de las entidades geográficas, asegurando la consistencia y la interoperabilidad de los datos geoespaciales. Además, el WFS define interfaces para operaciones de acceso y manipulación de información, como la consulta, la actualización y la eliminación de entidades geográficas, todo ello facilitado a través del protocolo HTTP. Este enfoque estandarizado no solo simplifica la integración de datos geográficos, sino que también promueve la colaboración y la interoperabilidad en entornos distribuidos, permitiendo a los usuarios acceder y modificar información geoespacial de manera eficiente (Gaviria, 2015; OGC, 2024).

c. WCS

El Servicio de Cobertura Web (WCS), constituye un componente esencial en la infraestructura de servicios web geoespaciales al enfocarse en la provisión de una interfaz para realizar solicitudes de cobertura geográfica a través de la web. A diferencia de los servicios de mapas convencionales, el WCS se centra en las coberturas, que representan objetos o imágenes en un área geográfica determinada. Lo distintivo del WCS radica en su capacidad para permitir peticiones independientes de la plataforma, lo que significa que los usuarios pueden acceder a coberturas geográficas de manera eficiente y directa sin depender de la infraestructura subyacente (Gaviria, 2015; OGC, 2024).

Este servicio, al proporcionar una interfaz estandarizada, facilita la obtención de datos de cobertura geográfica, que pueden incluir información sobre fenómenos continuos, como temperaturas, precipitaciones o la concentración de determinados elementos en un área geográfica específica. Las llamadas independientes de la plataforma permiten a los usuarios solicitar y recibir información detallada sobre las coberturas sin preocuparse por la complejidad subyacente de la infraestructura tecnológica (Gaviria, 2015; OGC, 2024).

d. WTMS

La definición de WMTS (Web Map Tile Service) destaca su función esencial como un servicio que permite almacenar en caché los datos geoespaciales recientemente solicitados, optimizando así la carga al recuperarlos en caso de futuras solicitudes. Este servicio opera mediante un modelo de teselas que se parametriza de manera que un cliente puede realizar solicitudes de un conjunto discreto de valores y recibir de manera eficiente fragmentos de imágenes prerenderizadas, conocidas como teselas, desde el servidor (MITECO, 2024; OGC, 2024).

En el contexto de WMTS, cada capa en el servidor sigue una o varias estructuras piramidales de escalas (conjunto de matrices de teselas). Cada nivel de la pirámide representa una rasterización y fragmentación regular de los datos geográficos a una escala o tamaño de píxel específico. Esto implica que una capa puede estar disponible en varios sistemas de coordenadas y tener diferentes ámbitos según estos sistemas (MITECO, 2024; OGC, 2024).

e. CSW

El Servicio de Catálogo para la Web (CSW), representa un estándar fundamental para hacer que la información geoespacial sea descubrible y accesible a través de Internet. CSW funciona como un mecanismo para exponer un catálogo de registros geoespaciales en formato XML, accesible mediante protocolos HTTP. Este catálogo está compuesto por registros que proporcionan descripciones detalladas de varios elementos geoespaciales, incluidos datos geoespaciales (por ejemplo, KML), servicios geoespaciales y recursos asociados (OGC, 2024). En esencia, CSW sirve para los usuarios que buscan información geoespacial, ya que facilita la organización sistemática y la publicación de metadatos sobre recursos geoespaciales.

El uso de XML garantiza un formato estandarizado y legible por máquina, mejorando la interoperabilidad y permitiendo procesos automáticos de descubrimiento. Al adherirse al estándar CSW, las organizaciones y personas pueden crear catálogos que comuniquen de manera efectiva las características y la disponibilidad de datos y servicios geoespaciales, fomentando así un proceso más eficiente para localizar, evaluar y utilizar dichos recursos dentro de la comunidad geoespacial en general (OGC, 2024).

f. SLD

El Descriptor de Estilos de Capa (SLD), desempeña un papel esencial en la configuración

y representación visual de capas en servicios geoespaciales, especialmente en el contexto del WMS. Este estándar define un lenguaje XML que proporciona una estructura clara y consistente para la definición de estilos de visualización, permitiendo especificar tanto el origen de los datos como la apariencia gráfica de los estilos aplicados a capas geográficas. La capacidad del SLD para representar de forma detallada y precisa la información de estilo va más allá de acceder a datos geográficos específicos. Al incorporar elementos clave como colores, símbolos, transparencias y escalas, el SLD permite definir cómo se deben visualizar los datos geográficos en un mapa (OGC, 2024).

3.4.2. Actores de una IDE

En el entorno dinámico de una IDE, distintos actores desempeñan roles vitales para asegurar la adquisición, gestión y aplicaciones efectivas de datos geoespaciales. Los productores de datos ya sean agencias gubernamentales, instituciones académicas o empresas privadas, generan y mantienen información georreferenciada que constituye el fundamento de la IDE. Paralelamente, los gestores de la IDE, organismos o consorcios coordinan y administran la infraestructura, estableciendo estándares y promoviendo la interoperabilidad. Los usuarios finales, que pueden ser individuos, empresas u organizaciones, aprovechan los datos geoespaciales para diversas aplicaciones, desde planificación urbana hasta análisis ambiental. Los reguladores y responsables de políticas gubernamentales establecen normativas para la recopilación y distribución de datos, garantizando conformidad y privacidad.

Los proveedores de servicios ofrecen servicios basados en datos geoespaciales, facilitando el acceso y uso de la información. Los investigadores utilizan datos geoespaciales en sus estudios, mientras que la participación de la sociedad contribuye a la generación de datos y promueve la toma de decisiones informadas. La colaboración de estos actores es esencial para el éxito de la IDE, asegurando la disponibilidad, calidad y utilidad de la información geoespacial (Abarca & Bernabé, 2015).

3.4.3. Interoperabilidad

La interoperabilidad es un concepto esencial en el ámbito de la información geográfica que destaca la capacidad de diferentes unidades funcionales para colaborar y comunicarse entre sí de manera efectiva. Según la norma ISO 19104 sobre Información Geográfica y Terminología, la

interoperabilidad se define como la habilidad para intercambiar información, ejecutar programas o transferir datos entre diversas unidades funcionales. En otras palabras, la interoperabilidad busca crear un entorno en el cual distintos sistemas y tecnologías geoespaciales puedan trabajar conjuntamente de manera fluida y eficiente, facilitando así la integración y el intercambio de datos geográficos sin obstáculos significativos. Este enfoque resulta fundamental para el desarrollo y la implementación exitosa de una IDE y otros entornos que dependen de la colaboración entre diversas entidades funcionales (Kuus, 2002).

3.5.Desarrollo de Geoportales

A continuación, se presentarán las definiciones, características, componente, tecnologías y herramientas utilizadas en los geoportales estandarizados. Aunque existen múltiples arquitecturas, se analizarán las divisiones generales que comparten estos geoportales estándar. El enfoque será abordar de manera objetiva la estructura y funcionalidad de estas plataformas, que desempeñan un papel fundamental en el acceso y la distribución de datos geoespaciales en entornos científicos y colaborativos.

La expresión "geoportal" hace referencia a un sitio web que utiliza la ubicación geográfica y la navegación por mapas para presentar y facilitar el acceso a datos geoespaciales y servicios asociados (como visualización, edición, análisis, etc.) mediante el uso de Internet. Los geoportales son un componente fundamental de la IDE, por lo que su relevancia está en constante aumento en la producción y difusión de información cartográfica en formato digital (Morales et al., 2015).

3.5.1. Características y componentes de los geoportales

Los geoportales son sitios web que permiten a los usuarios acceder a información geográfica y servicios relacionados a través de Internet. Estos portales se han convertido en una herramienta fundamental para la gestión y visualización de información geoespacial en línea. Las características y componentes de un geoportal varían según su diseño y finalidad, pero algunos elementos comunes incluyen acceso a información almacenada en bases de datos. Adicionalmente debe permitir el manejo de herramientas SIG de consulta espacial, alfanumérica y de metadatos usando servicio OGC, incluyendo opciones de salidas gráficas y descargas de datos.

Los geoportales funcionan integrando tres componentes principales: primero, un sitio web que presente gráficamente la información geográfica; segundo, un servicio web que establezca la

conexión de los datos en el software con la interfaz gráfica de usuario; y tercero, el software en el cual se administra y gestionan los datos geográficos (Tait, 2005). La conexión entre la red del cliente y los servidores web se lleva a cabo mediante el protocolo HTTP (Maguire & Longley, 2005), utilizando el lenguaje de JavaScript para realizar peticiones con el fin de recuperar y analizar información en el lado del cliente (Sayar et al., 2006).

Según Cerami (2002), un servicio web se caracteriza por estar disponible en internet y utilizar un lenguaje XML estandarizado (no está vinculado a un sistema operativo o lenguaje de programación), lo cual lo define como una aplicación autocontenida y autodescriptiva, apto para la publicación y visualización dinámica desde la web. El OCG ha establecido distintos tipos de servicios web, tales como: WMS, WFS y WCS, principalmente.

Un WMS permite al usuario compartir y visualizar información geográfica por medio de imágenes (datos tipo ráster); un WFS permite al usuario editar, consultar o descargar información geográfica de tipo vectorial y, por último; un WCS permite al usuario compartir y visualizar información geográfica por medio de imágenes (datos tipo ráster), además de realizar operaciones con ellas.

3.5.2. Tecnologías y herramientas utilizadas para su desarrollo

El desarrollo de un geoportal implica la utilización de diversas tecnologías y herramientas para su construcción y puesta en marcha, la distinción entre "tecnologías" y "herramientas" se refiere principalmente a los diferentes conjuntos de recursos utilizados en el proceso. La categorización de estas se puede hacer considerando el entorno de servidor (backend) y el entorno de cliente (frontend).

3.5.2.1. Backend (Servidor).

- **Tecnologías del Servidor:** En esta categoría, se incluyen tecnologías fundamentales para la gestión y procesamiento de datos en el servidor. Esto puede abarcar sistemas de gestión de bases de como PostgreSQL o MySQL, así como servidores web como Apache Tomcat o Nginx.
- **Lenguajes de Programación del Backend:** Esto implica la elección del lenguaje de programación utilizado para la implementación de la lógica del servidor. Por ejemplo, Python con frameworks como Django o Flask, JavaScript con Node.js, o Java con Spring.

- **APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones):** El backend también puede incluir APIs que facilitan la comunicación entre el servidor y el frontend. Por ejemplo, RESTful APIs o GraphQL pueden ser esenciales para el intercambio de datos.

3.5.2.2. Frontend (Cliente).

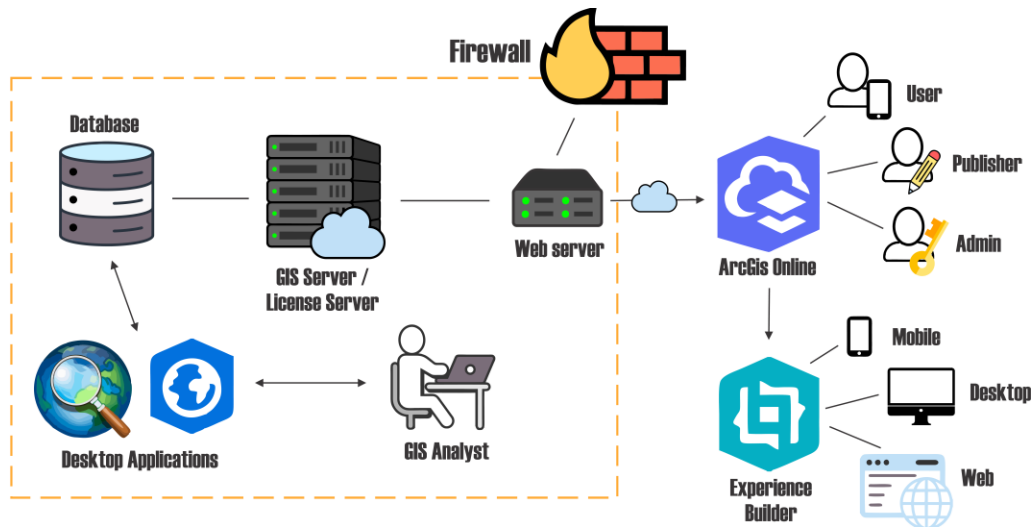
- **Tecnologías del Cliente:** Aquí se agrupan las tecnologías utilizadas en el navegador del usuario para la presentación y la interacción con la interfaz del usuario. Esto incluye HTML, CSS y JavaScript, que son esenciales para la creación de la interfaz y la manipulación dinámica de datos.
- **Frameworks de Frontend:** Herramientas como React.js, Angular o Vue.js son frameworks de frontend que facilitan la estructuración y la gestión eficiente de la interfaz de usuario.
- **Librerías de Mapas:** Dado que estás desarrollando un geoportal, las librerías de mapas como Leaflet u OpenLayers serían parte esencial del frontend para la visualización interactiva de datos geoespaciales.
- **Herramientas de Desarrollo del Cliente:** Estas son herramientas que facilitan el desarrollo, depuración y prueba del código en el navegador, como npm (Node Package Manager), webpack, o herramientas específicas del framework utilizado.

3.5.3. *Geoportal licenciado ESRI*

El papel de un geoportal es conectar a los productores y usuarios de datos geoespaciales, permitiendo a los productores crear y publicar registros de metadatos y permitiendo a los usuarios de recursos de información geoespacial buscar y descubrir registros de metadatos que citen los recursos concretos que les resulten útiles (ESRI, 2009). Por lo tanto, la empresa ESRI provee a sus usuarios la capacidad de crear y diseñar portales para previsualizar y acceder a los recursos de información geoespacial citados por los registros de metadatos, independientemente de dónde o cómo se mantengan dichos recursos de información.

Figura 3

Arquitectura del funcionamiento de un geoportal licenciado en ESRI.



3.5.3.1. ArcGIS Online. ArcGIS Online es un sistema SIG en línea que se enfoca en la colaboración y permite la creación, uso y compartición de mapas, escenas, capas, análisis y datos geospaciales. A través de suscripciones, se convierte en una plataforma de gestión de información geográfica para organizaciones, lo que facilita el acceso y el uso de dicha información, también permite realizar diversas actividades (Arias, 2017; ESRI, 2022):

- **Crear mapas:** Es posible crear mapas interactivos.
- **Compartir mapas y aplicaciones:** Se pueden compartir los mapas con grupos específicos o con todos los usuarios. También es posible crear aplicaciones web interactivas que estén enfocadas en los mapas y luego integrar estas aplicaciones en su presencia digital, incluyendo el sitio web, publicaciones en redes sociales y artículos de blog.
- **Analizar datos:** Es posible comprender los datos en su contexto de ubicación a través de herramientas de análisis que permiten mostrar relaciones, identificar ubicaciones clave, encontrar rutas óptimas y analizar patrones para realizar predicciones.

3.5.3.2. ArcGIS Experience Builder. Se trata de una solución personalizable que permite crear aplicaciones web sin la necesidad de escribir código. La plataforma ofrece una variedad de plantillas para que los usuarios elijan y creen experiencias web. Los usuarios pueden combinar mapas web, aplicaciones, páginas, widgets interconectados y datos en 2D y 3D mediante una interfaz de arrastrar y soltar flexible. También es posible crear widgets, temas y acciones personalizadas utilizando un desarrollo de bajo código para seguir ampliando la funcionalidad de la aplicación web (ESRI, 2022). Algunas ventajas del ArcGIS Experience Builder son:

- Integrar datos 2D y 3D.
- Crear diseños flexibles.
- Configurar fácilmente su aplicación.
- Optimización para dispositivos móviles.

3.5.4. *Geoportal Open Source*

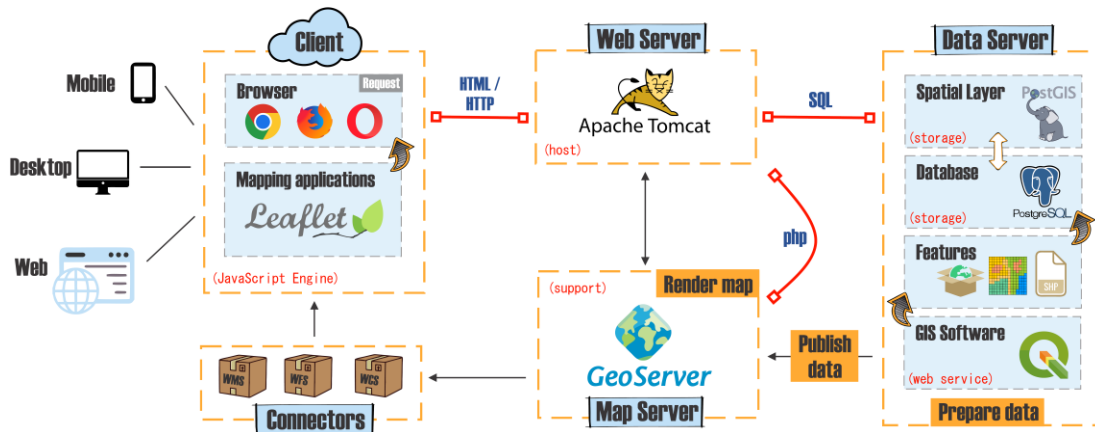
Los geoportales Open Source han surgido como una alternativa accesible para compartir información geográfica de manera eficiente y sin necesidad de softwares licenciados. Estos están basados en soluciones de código abierto, ofrecen una amplia gama de ventajas y oportunidades para aquellos que buscan implementar sistemas geoespaciales personalizados y escalables (Kommana, 2013).

Ofrecen una mayor flexibilidad y personalización, al tener acceso al código fuente, los usuarios pueden adaptar la plataforma según sus necesidades específicas y agregar funcionalidades personalizadas. Lo anterior, permite una mayor adaptabilidad a diferentes entornos y requisitos particulares, además, en algunos casos pueden contar con una comunidad activa de desarrolladores y usuarios que colaboran para mejorar y actualizar la plataforma de manera constante garantizando la disponibilidad de actualizaciones, correcciones de errores y nuevas funcionalidades, lo que contribuye a la evolución continua de la plataforma.

Otra ventaja importante es su bajo costo de implementación y mantenimiento, al no estar limitados por costosas licencias de software, las organizaciones y comunidades pueden utilizar estos sistemas sin incurrir en gastos significativos. El tema de costos resulta especialmente beneficioso para entidades con recursos limitados que desean aprovechar al máximo la información geoespacial (Kommana, 2013; Manosalvas & Naranjo, 2014).

Figura 4

Arquitectura del funcionamiento de un Geoportal open source.



3.5.4.1. Apache Tomcat. Es un servidor web de código abierto y un contenedor de servlets que desempeña un papel fundamental en el desarrollo de cualquier marco de trabajo WebGIS. Se encarga de gestionar las solicitudes HTTP provenientes del cliente web y enviar las respuestas correspondientes, proporcionando un entorno robusto y versátil para ejecutar aplicaciones web, y su compatibilidad multiplataforma lo convierte en una elección popular para el desarrollo de sistemas de información geográfica en la web. Su capacidad para manejar solicitudes y respuestas HTTP de manera eficiente lo posiciona como una herramienta integral en la construcción de marcos de trabajo para aplicaciones geoespaciales (Agrawal & Gupta, 2014; Apache, 2024; Bendib et al., 2016; Valdez, 2014).

3.5.4.2. GeoServer. GeoServer es un servidor de código abierto escrito en Java que posibilita crear y compartir mapas y datos geoespaciales. Se trata de una herramienta de código abierto que se adhiere a los estándares OGC, permitiendo visualizar y distribuir información espacial a través de la web. GeoServer permite la publicación de información por medio de un Servicio de Mapas Web que puede integrarse en otras aplicaciones Java como OpenLayers (librería que sirve para mostrar datos cartográficos en navegadores web en forma de mapas deslizantes), y es capaz de generar mapas en diversos formatos. Además, cuenta con la integración de "Geotools", un conjunto de herramientas de código abierto en Java para realizar operaciones geoespaciales en los mapas (Kommana, 2013).

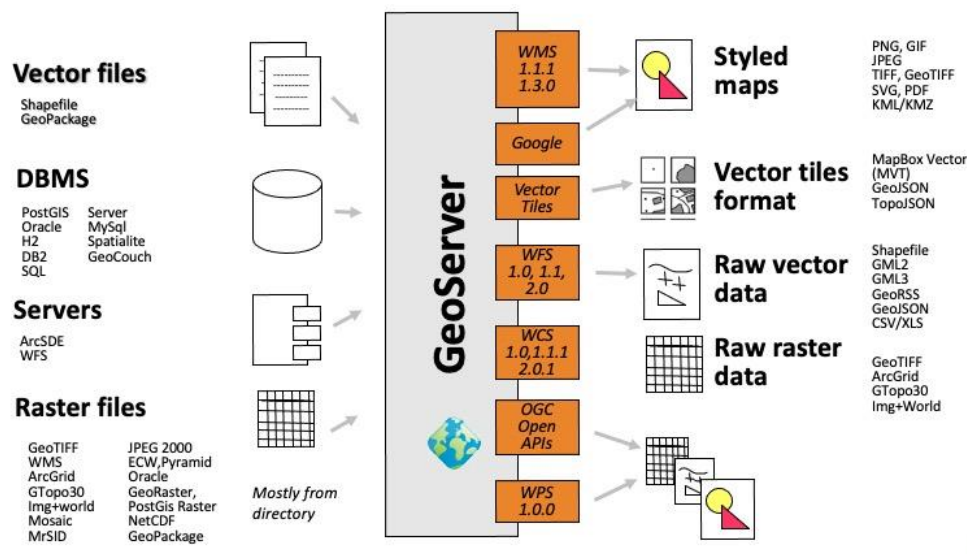
Como se observa en la *Figura 5*, GeoServer, se erige como un facilitador esencial para la difusión de datos geoespaciales a través de la web, siguiendo una serie de pasos que aseguran su compatibilidad e interoperabilidad con estándares abiertos. En una fase inicial, se realiza la

configuración en un servidor que cuenta con acceso a los datos geospaciales pertinentes. Durante este proceso, se definen los almacenes de datos que GeoServer utilizará, incluyendo bases de datos, archivos shapefile y otros orígenes compatibles.

La siguiente etapa implica la organización de los datos en capas geospaciales, representando información como mapas, imágenes o conjuntos de datos vectoriales. GeoServer, crucialmente, sigue los estándares del OGC, adoptando servicios web estándar como WMS y WFS. Estos servicios se encargan de la visualización de mapas y el acceso a datos vectoriales, respectivamente. Además, proporciona una interfaz web de administración que facilita la configuración y gestión de las capas de datos. Esta interfaz permite ajustar la simbología, definir reglas de acceso y realizar otras configuraciones relevantes (OGC, 2024).

Figura 5

Interfaces y formatos de entrada para GeoServer



Nota. Tomado de GeoSolutions (2024).

3.5.4.3. PostgreSQL. Es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto y gratuito que se destaca por su extensibilidad y su cumplimiento con el lenguaje SQL. Ofrece una serie de características destacadas, como transacciones con propiedades ACID (atomicidad, consistencia, aislamiento y durabilidad), vistas actualizables automáticamente, vistas materializadas, disparadores, claves foráneas y procedimientos almacenados. Está diseñado para manejar una amplia variedad de cargas de trabajo, desde entornos con máquinas individuales hasta almacenes de datos o servicios web con múltiples usuarios concurrentes (PostgreSQL Global

Development Group, 2023; Stonebraker & Rowe, 1986).

3.5.4.4. PostGIS. Es un programa de software de código abierto que agrega soporte para objetos geográficos a la base de datos objeto-relacional PostgreSQL. PostGIS sigue la especificación de Características Simples para SQL OGC. Técnicamente, PostGIS se implementó como una extensión de PostgreSQL (PostGIS, 2023; PostgreSQL Global Development Group, 2023). El Open Geospatial Consortium (OGC) es una organización internacional voluntaria de estándares de consenso para contenido geoespacial y servicios basados en la ubicación, sensor web e Internet de las cosas, procesamiento de datos SIG y compartición de datos. Fundada en 1994, involucra a más de 500 organizaciones comerciales, gubernamentales, sin fines de lucro e investigativas en un proceso de consenso que fomenta el desarrollo e implementación de estándares abiertos (OGC, 2024).

3.5.4.5. Leaflet. Leaflet es una biblioteca de JavaScript (Js) de código abierto. Ayuda a crear mapas interactivos adaptados a dispositivos móviles. Es sencillo, fácil de usar, ligero y ofrece un rendimiento mejorado. Funciona de manera eficiente en todas las principales plataformas de escritorio y móviles. Al ser de código abierto, la comunidad de desarrolladores ha contribuido para crear muchos complementos gratuitos que permiten realizar diversas tareas y agregar diferentes herramientas a la aplicación de mapas web. Cuenta con una API bien documentada y un código fuente simple y legible (Singh et al., 2018).

3.5.4.6. OpenStreetMap. OpenStreetMap (OSM) es una base de datos geográfica gratuita y abierta, actualizada y mantenida por una comunidad de voluntarios a través de la colaboración abierta. Los colaboradores recopilan datos mediante encuestas, trazado desde imágenes aéreas y también importan datos de otras fuentes de geodatos con licencia gratuita. Tiene una licencia gratuita bajo la Licencia de Base de Datos Abierta y, como resultado, se utiliza comúnmente para crear mapas electrónicos, brindar navegación paso a paso, colaborar en ayuda humanitaria y visualización de datos (OpenStreetMap, 2023).

3.6. Metadatos y Estandarización

La gestión efectiva de la información geoespacial requiere una comprensión profunda de los metadatos y la estandarización. Los metadatos, que son datos que describen y contextualizan la información geográfica, son fundamentales para organizar, buscar y utilizar datos de manera eficiente. La estandarización, por otro lado, establece normas y estructuras comunes que garantizan la interoperabilidad y la coherencia en la recopilación, almacenamiento e intercambio de datos geoespaciales.

3.6.1. Metadatos

En el contexto de las IDE, los metadatos desempeñan un papel esencial al proporcionar información detallada sobre los datos geoespaciales utilizados en el estudio. Por esto, se abordará el tema de los metadatos, centrándonos en su definición, naturaleza, variables, utilidad y cómo estos facilitan la comprensión, búsqueda y gestión eficiente de la información.

3.6.1.1. Definición de un metadato. Los metadatos son información esencial para la búsqueda y comprensión de los datos, y documentan la forma en que se tomaron. Proporcionan respuestas a preguntas como quién, qué, cuándo, cómo, por quién y dónde se produjeron los datos geográficos. La descripción de los datos geográficos, incluyendo su tipo, formato, contenido, calidad, actualización, fuente y autor, debe ser registrada por el productor de la información para que otros usuarios puedan evaluar su aplicabilidad en proyectos específicos. Los metadatos son útiles para organizar y administrar grandes volúmenes de información y permiten definir y estructurar los datos mediante catálogos de información (Sayago, 2015). Los metadatos son esenciales para las IDE, ya que proporcionan una descripción de los recursos (datos, servicios y otros objetos) y permiten a los usuarios y aplicaciones buscarlos en catálogos. Se consideran una herramienta esencial para habilitar el acceso automatizado a los datos y servicios, lo que facilita la interoperabilidad de los sistemas que utilizan información espacial (Najar et al., 2007). Los metadatos se definen como "datos acerca de datos" (ANZLIC, 2007), y se utilizan ampliamente en todos los tipos de recursos electrónicos de información.

3.6.1.2. Naturaleza de los metadatos. Existen varios estándares internacionales que

proporcionan orientación en cuanto a la interoperabilidad de la información geográfica. Sin embargo, todos estos estándares convergen en el ISO 19115, desarrollado por el Comité Técnico 211 de la Organización Internacional de Estandarización (ISO). Además, la FGDC (Comité Federal de Datos Geográficos) ha establecido un conjunto de directrices para la gestión de datos geográficos en los Estados Unidos, lo que la convierte en una referencia importante en el campo de la geoinformación. En el ámbito europeo, el Comité Europeo de Normalización (CEN) ha desarrollado la norma voluntaria ENV 12657, titulada "Información Geográfica - Descripción de Datos - Metadatos" (Sayago, 2015).

3.6.1.3. Elementos de los metadatos. Entre las principales variables que hay para la construcción de los metadatos se encuentran: propósito y descripción, fecha de publicación, frecuencia de actualización o mantenimiento, extensión espacial, precisión, métodos de captura o creación, información sobre la referencia espacial, datum y sistema de coordenadas, modelo vectorial o ráster, detalle de campos (atributos), estructuras de datos asociadas, formato, versión, ubicación, disponibilidad, accesibilidad, precio, contacto de la institución, fuente o autor.

3.6.1.4. Utilidad de los metadatos. Los metadatos tienen como objetivo la revisión y evaluación de los datos, la facilitación de su transferencia y, lo más crucial, la documentación de datos. Los principales usos son: facilitar la gestión de los datos georreferenciados, crear catálogos de datos y lugares de almacenamiento de información para poder disponer de una gestión ordenada de los datos geográficos y ofrecer información accesible y actualizada.

3.6.2. Estandarización y Normatividad

La estandarización y normatividad garantizan la compatibilidad, precisión y coherencia de los datos geoespaciales utilizados en la investigación, destacando las ventajas que proporcionan en términos de integración de datos, compartición de información y análisis espacial.

3.6.2.1. Estandarización. La demanda de compartir datos y las especificaciones que deben cumplir han llevado a la creación de normas y estándares que permiten la interoperabilidad de la información geoespacial; la falta de estándares dificultaría la estandarización de la información (Avila, 2014).

3.6.2.2. Normas ISO para Geoportales. La ISO/TC es responsable de formular los principios esenciales de apertura, transparencia, consenso y coherencia técnica a nivel mundial para la información geográfica y ofrece especificaciones técnicas públicas en este campo. La ISO TC/211 se enfoca en la normalización de la información geográfica digital, especificando métodos, herramientas y servicios para el manejo de datos geográficos en formato digital, su procesamiento, análisis, acceso, presentación y transferencia entre distintos usuarios, sistemas y ubicaciones geográficas a nivel mundial.

Tabla 2

Normas ISO para Geoportales

Normas ISO para Geoportales	
ISO 19115	<p style="text-align: center;">Proporcionar el esquema para describir la información y los servicios geográficos.</p> <p>Definir secciones de metadatos, entidades y elementos, y proporcionar información sobre la identificación, la extensión, la calidad, la referencia espacial y los aspectos espaciotemporales.</p>
ISO 19139	<p style="text-align: center;">Facilitar la codificación y la implementación para llevar a cabo la norma ISO 19115.</p> <p>Proporcionar esquemas de lenguaje de marcado extensible (XML) para describir, validar e intercambiar metadatos con el fin de mejorar la interoperabilidad.</p>
ISO 19119	<p>Proporcionar especificaciones de servicios que permitan a los usuarios acceder, procesar y gestionar datos geográficos.</p>
ISO 19157	<p>Definir medidas de calidad de datos para evaluar e informar sobre la calidad de los datos.</p>

Nota. Tomado de Jiang et al. (2020).

4. Metodología

En este proyecto se realiza una propuesta de modelo de datos y dos propuestas de geoportales, uno en versión licenciada y otro en versión open source. A partir de la información teórica y de información de materias de la escuela de geología compilada se define una serie de pasos para establecer la estrategia de modelamiento de datos y la estructuración del geoportal; para estas tareas se define la siguiente metodología:

Figura 6

Esquema metodológico del proyecto



La *Figura 6* muestra las actividades generales a realizar, agrupadas en 6 distintas fases:

4.1. Fase de recopilación de información

En una etapa inicial, se procedió con la identificación de tipos de variables y atributos, cuya determinación se basó en la naturaleza de los datos compilados, como texto, número, azimut etc., vinculadas a actividades de campo, inherentes a la captura de datos. Se optó por diseñar una estructura que articula temáticas principales, de manera que pueda agruparse la totalidad de la información de las distintas campañas de campo. Este enfoque evita redundancias en los datos,

contribuyendo a la construcción de una biblioteca de datos más eficiente. Además, se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el propósito de comprender la arquitectura relevante al desarrollo del geoportal y la elaboración del modelo de datos.

En el proceso de definición de temáticas a integrar en el modelo, se inició con la identificación de las asignaturas que incorporan actividades de campo, estableciendo así un esquema preliminar de los temas generales a ser abordados. Posteriormente, se procedió a analizar y desglosar las temáticas específicas asociadas a cada asignatura, con el propósito de identificar similitudes entre ellas y estructurar un conjunto organizado que evitara redundancias de información. Este enfoque metodológico buscó lograr una representación efectiva y unificada de los temas contemplados en las distintas campañas de campo, en consonancia con los objetivos de eficiencia y coherencia del modelo de datos. Este procedimiento se materializó mediante la utilización de información disponible en fuentes bibliográficas, manuales especializados, interacciones con el cuerpo docente y contenidos abordados durante las sesiones académicas.

4.2.Fase creación del modelo de datos

Tras la selección de variables y atributos, se inicia el proceso de la creación del modelo de datos, definiendo las características de las entidades y estableciendo las relaciones entre ellas. Se consideró la información recopilada en diversas campañas de campo vinculadas a asignaturas del programa de Geología.

Luego, se procedió con la identificación de las asignaturas del programa académico que involucraban la recolección de datos geospaciales en campo. Posteriormente, se listaron los elementos que debían incluirse en la libreta durante cada campaña de campo en cada asignatura. Este proceso permitió discernir los tipos de datos (textos, número, azimut, fecha, etc.) recurrentes en la toma de datos, facilitando así su agrupación en tablas. Esta estrategia garantiza la aplicabilidad de las tablas para todas las asignaturas, evitando la duplicación de información y confiriendo generalización, estandarización y coherencia al modelo.

Posteriormente, se procedió a estructurar el modelo de datos con la información recopilada acerca de las buenas prácticas en el ámbito del desarrollo de modelos de datos. La culminación de este proceso implicó la creación del modelo relacional, proporcionando una representación más precisa de las tablas generadas y las diversas relaciones intertabulares. Esto fue esencial para

garantizar un desarrollo eficiente del modelo.

4.3.Fase de revisión de la información

La validación y refinamiento de la información contemplada en el modelo de datos fue llevada a cabo mediante la revisión por parte del cuerpo docente, seguida de la implementación de pruebas de factibilidad del modelo en campo. Se solicitó una retroalimentación a los profesores encargados de cada asignatura con el objetivo de verificar la exactitud y pertinencia de la información seleccionada. Subsecuentemente, se llevaron a cabo pruebas controladas con los estudiantes con el propósito de evaluar la efectividad del modelo de datos, asegurando así que la recopilación de información sea transparente y precisa.

4.4.Fase de implementación de las infraestructuras

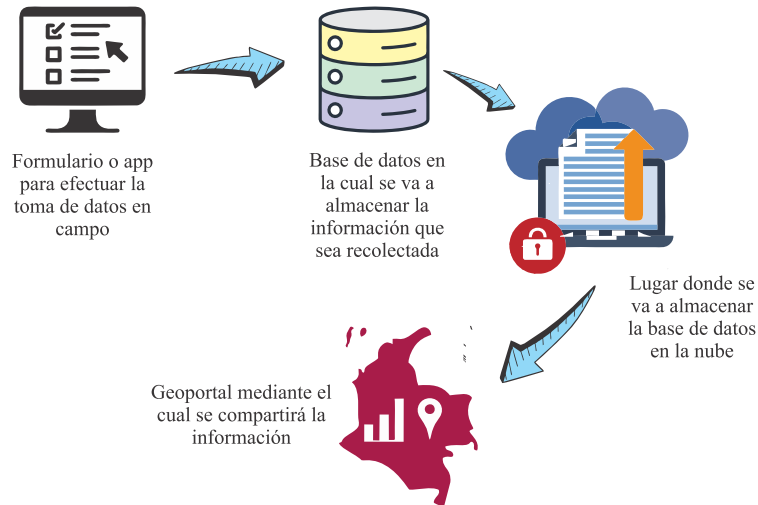
Se implementaron dos infraestructuras de geovisor, una utilizando software con licencia y la otra empleando software de código abierto. En esta fase del proyecto se expone el proceso de desarrollo de los geoportales, detallando los requisitos esenciales para el funcionamiento del geoportal, las infraestructuras llevadas a cabo, la presentación de los softwares y plataformas empleados en el desarrollo y el procedimiento para la recolección de datos en campo.

Iniciando con los requerimientos del geoportal, se aborda el componente de geolocalización, cuyo diseño se desarrolló atendiendo a las necesidades de un usuario sin conocimientos previos en términos de lenguaje geográfico ni informático. En consecuencia, se asegura que cualquier individuo con acceso a un dispositivo con conexión a Internet pueda obtener información de manera accesible. Se atribuye un valor primordial a la facilidad de uso, garantizando una interfaz simple e intuitiva, diseñada para ser fácil de aprender y utilizar.

En relación con los requisitos necesarios para el desarrollo y funcionamiento de las infraestructuras, se sintetizó el flujo de trabajo general en la siguiente figura:

Figura 7

Requisitos para la elaboración de las infraestructuras



4.5.Fase de diseño del Geoportál

Se elaboró un geoportál integrando cada una de las infraestructuras descritas en la Fase 4. El propósito radica en proporcionar dos alternativas para la elección, en lugar de imponer la adopción de un software sobre el otro.

En el caso de la alternativa que involucra software con licencia, se empleó la herramienta ArcGIS Experience Builder, la cual dispone de una interfaz sencilla e interactiva para la creación del geoportál. En cuanto a la opción de software de código abierto, se utilizó la biblioteca Leaflet de JavaScript junto con el editor de texto Sublime Text. A través de declaraciones HTML, se diseñó la interfaz de usuario y se integraron los datos provenientes del GeoServer en un mapa base web proporcionado por OpenStreetMap, posibilitando así su visualización.

En términos generales, los requisitos estipulados para la creación del diseño de la interfaz del geoportál incluyeron: un diseño simplificado y de comprensión accesible, una navegación intuitiva que incorporara menús claros y una estructura lógica, la adaptación a una variedad de dispositivos móviles y de escritorio, un sistema de búsqueda inteligente, la capacidad de aplicar filtros a los datos según las necesidades específicas de los usuarios y la inclusión de funcionalidades analíticas básicas.

4.6.Fase de desarrollo y pruebas

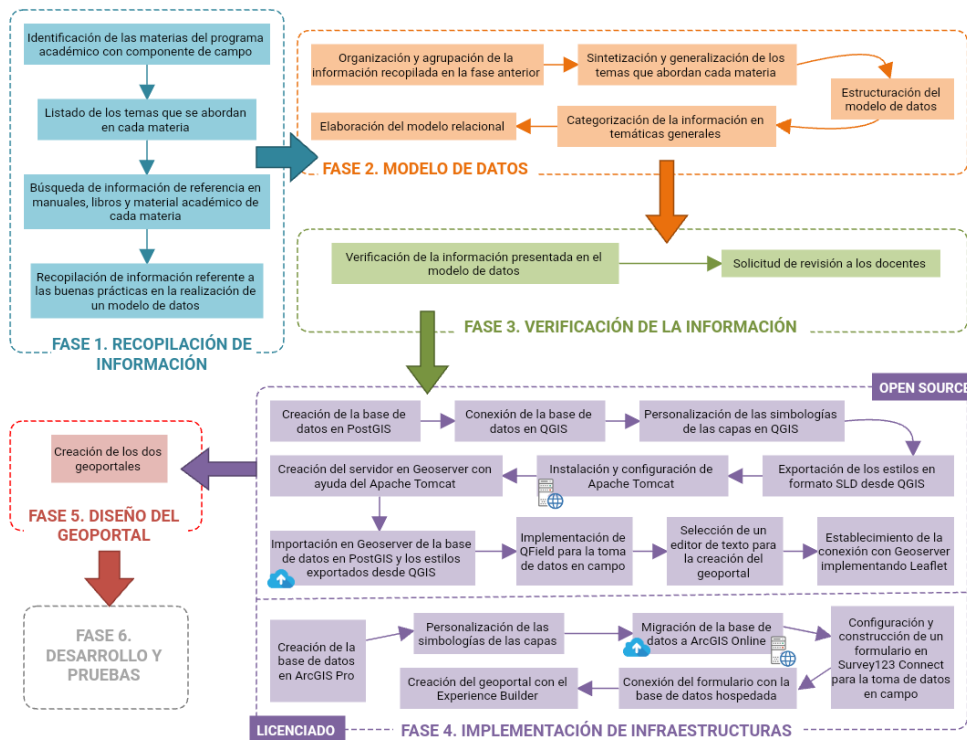
Constituye una fase esencial en la implementación de un modelo de datos geográfico y la

siguiente etapa después del diseño de un Geoportal dedicado a la información geocientífica de la Escuela de Geología. En esta etapa, se aborda la traducción de la propuesta metodológica a la realidad, iniciando la implementación efectiva del modelo de datos. Se destaca la importancia de seguir rigurosos estándares y buenas prácticas, asegurando así la coherencia, integridad y eficacia del sistema. El proceso se inicia con la creación y configuración de la base de datos geográfica, adaptando el diseño conceptual a una estructura física funcional. Posteriormente, se llevan a cabo exhaustivas pruebas para validar la interoperabilidad de los datos y garantizar su cohesión en el entorno SIG. Además, se abordan aspectos específicos del diseño del Geoportal, enfocándose en la usabilidad, accesibilidad y respuesta a las necesidades de los usuarios finales.

A continuación, se presenta una síntesis de la metodología aplicada durante la ejecución del proyecto:

Figura 8

Síntesis de la metodología implementada



5. Resultados

5.1. Recopilación de información

Según la información recogida de instituciones estatales colombianas, destacan el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Agencia Nacional de Minería (ANM) y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), y los contenidos de las asignaturas de la escuela de geología. Se delineó el modelo de datos y se especificó la información que debía integrarse. Los insumos utilizados se derivan de los formatos y esquemas establecidos específicamente para la creación del modelo, incorporando simultáneamente algunos de los estándares oficiales pertinentes relacionados con geformas, clasificación de rocas, características físicas de las rocas, geoambientes, entre otros.

Como se mencionó en la metodología, primero se procedió con la identificación de las asignaturas que involucraban la recolección de datos geoespaciales en campo. Este proceso arrojó como resultado la siguiente tabla:

Tabla 3

Asignaturas del programa académico que cumplen con el requisito de involucrar la recolección de datos geoespaciales en campo

Asignatura	Cumple		Asignatura	Cumple	
	Si	No		Si	No
Introducción a las Geociencias		x	Métodos Geofísicos	x	
Mineralogía I		x	Paleontología I	x	
Cartografía	x		Geología Estructural	x	
Biología para Geología		x	Estratigrafía	x	
Mineralogía II		x	Teledetección		x
Sedimentología	x		Geomorfología	x	
Petrología Ígnea	x		Campo I	x	
SIG		x	Geología Histórica	x	
Geoestadística		x	Petrología Metamórfica	x	
Geoquímica		x	Campo II	x	
Hidrogeología		x	Geología Ambiental	x	
Yacimientos Minerales	x		Geología de Hidrocarburos	x	
Geología de Colombia	x				

5.2. Características de la información geográfica recopilada en la Escuela de Geología

Como resultado de la agrupación y generalización de los elementos presentes en las libretas de campo durante las distintas campañas de campo de cada asignatura, se obtuvieron las siguientes tablas:

Figura 9

Tablas generalizadas que comprenden los temas centrales en las campañas de campo

<table border="1"> <thead> <tr><th>Estaciones de campo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Fecha</td></tr> <tr><td>Día de campo</td></tr> <tr><td>Ubicación</td></tr> <tr><td>Coordenada en X</td></tr> <tr><td>Coordenada en Y</td></tr> <tr><td>Altura</td></tr> <tr><td>Plancha</td></tr> <tr><td>Calidad de la roca</td></tr> <tr><td>Grado de meteorización</td></tr> <tr><td>Indicador cinemático</td></tr> </tbody> </table>	Estaciones de campo	Fecha	Día de campo	Ubicación	Coordenada en X	Coordenada en Y	Altura	Plancha	Calidad de la roca	Grado de meteorización	Indicador cinemático	<table border="1"> <thead> <tr><th>Unidad Geomorfológica</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Geoestructura</td></tr> <tr><td>Ambiente morfogenético</td></tr> <tr><td>Unidad de paisaje geomorfológico</td></tr> <tr><td>Tipo de relieve</td></tr> <tr><td>Facies material parental</td></tr> <tr><td>Forma del terreno</td></tr> <tr><td>Provincia geomorfológica</td></tr> <tr><td>Componente geomorfológico</td></tr> <tr><td>Nombre de la unidad</td></tr> <tr><td>Nomenclatura unidad</td></tr> </tbody> </table>	Unidad Geomorfológica	Geoestructura	Ambiente morfogenético	Unidad de paisaje geomorfológico	Tipo de relieve	Facies material parental	Forma del terreno	Provincia geomorfológica	Componente geomorfológico	Nombre de la unidad	Nomenclatura unidad	<table border="1"> <thead> <tr><th>Características Litológicas</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Facies metamórfica</td></tr> <tr><td>Grado metamórfico</td></tr> <tr><td>Tipo de metamorfismo</td></tr> <tr><td>Estructura metamórfica</td></tr> <tr><td>Composición metamórfica</td></tr> <tr><td>Zona metamórfica</td></tr> <tr><td>Tipo de magna</td></tr> <tr><td>Textura ígnea</td></tr> <tr><td>Ambiente sedimentario</td></tr> </tbody> </table>	Características Litológicas	Facies metamórfica	Grado metamórfico	Tipo de metamorfismo	Estructura metamórfica	Composición metamórfica	Zona metamórfica	Tipo de magna	Textura ígnea	Ambiente sedimentario	<table border="1"> <thead> <tr><th>Unidad Geológica</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Eón geológico</td></tr> <tr><td>Era geológica</td></tr> <tr><td>Periodo geológico</td></tr> <tr><td>Época geológica</td></tr> <tr><td>Edad geológica</td></tr> <tr><td>Nombre unidad</td></tr> <tr><td>Nomenclatura unidad</td></tr> <tr><td>Litología</td></tr> </tbody> </table>	Unidad Geológica	Eón geológico	Era geológica	Periodo geológico	Época geológica	Edad geológica	Nombre unidad	Nomenclatura unidad	Litología
Estaciones de campo																																												
Fecha																																												
Día de campo																																												
Ubicación																																												
Coordenada en X																																												
Coordenada en Y																																												
Altura																																												
Plancha																																												
Calidad de la roca																																												
Grado de meteorización																																												
Indicador cinemático																																												
Unidad Geomorfológica																																												
Geoestructura																																												
Ambiente morfogenético																																												
Unidad de paisaje geomorfológico																																												
Tipo de relieve																																												
Facies material parental																																												
Forma del terreno																																												
Provincia geomorfológica																																												
Componente geomorfológico																																												
Nombre de la unidad																																												
Nomenclatura unidad																																												
Características Litológicas																																												
Facies metamórfica																																												
Grado metamórfico																																												
Tipo de metamorfismo																																												
Estructura metamórfica																																												
Composición metamórfica																																												
Zona metamórfica																																												
Tipo de magna																																												
Textura ígnea																																												
Ambiente sedimentario																																												
Unidad Geológica																																												
Eón geológico																																												
Era geológica																																												
Periodo geológico																																												
Época geológica																																												
Edad geológica																																												
Nombre unidad																																												
Nomenclatura unidad																																												
Litología																																												
<table border="1"> <thead> <tr><th>Alteraciones</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Facies de la alteración</td></tr> <tr><td>Estilo de alteración</td></tr> </tbody> </table>	Alteraciones	Facies de la alteración	Estilo de alteración	<table border="1"> <thead> <tr><th>Contacto Geológico</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tipo de contacto</td></tr> </tbody> </table>	Contacto Geológico	Tipo de contacto	<table border="1"> <thead> <tr><th>Procesos Morfodinámicos</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tipo de proceso</td></tr> <tr><td>Nombre del proceso</td></tr> <tr><td>Estado del proceso</td></tr> </tbody> </table>	Procesos Morfodinámicos	Tipo de proceso	Nombre del proceso	Estado del proceso	<table border="1"> <thead> <tr><th>Discontinuidades Geológicas</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tipo de discontinuidad</td></tr> <tr><td>Buzamiento</td></tr> <tr><td>Dirección de buzamiento</td></tr> <tr><td>Continuidad</td></tr> </tbody> </table>	Discontinuidades Geológicas	Tipo de discontinuidad	Buzamiento	Dirección de buzamiento	Continuidad																											
Alteraciones																																												
Facies de la alteración																																												
Estilo de alteración																																												
Contacto Geológico																																												
Tipo de contacto																																												
Procesos Morfodinámicos																																												
Tipo de proceso																																												
Nombre del proceso																																												
Estado del proceso																																												
Discontinuidades Geológicas																																												
Tipo de discontinuidad																																												
Buzamiento																																												
Dirección de buzamiento																																												
Continuidad																																												
<table border="1"> <thead> <tr><th>Estratigrafía Sedimentológica</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tipo de laminación</td></tr> <tr><td>Estructuras sedimentarias</td></tr> <tr><td>Tipo de roca sedimentaria</td></tr> <tr><td>Geometría del estrato</td></tr> <tr><td>Espesor de las capas</td></tr> <tr><td>Tipo de fósil</td></tr> <tr><td>Columna estratigráfica</td></tr> </tbody> </table>	Estratigrafía Sedimentológica	Tipo de laminación	Estructuras sedimentarias	Tipo de roca sedimentaria	Geometría del estrato	Espesor de las capas	Tipo de fósil	Columna estratigráfica	<table border="1"> <thead> <tr><th>Unidad Litológica</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nombre de la roca metamórfica</td></tr> <tr><td>Clasificación roca ígnea plutónica</td></tr> <tr><td>Clasificación roca ígnea volcánica</td></tr> <tr><td>Clasificación roca subvolcánica</td></tr> <tr><td>Nombre de la roca sedimentaria</td></tr> <tr><td>Evento asociado</td></tr> <tr><td>Mineralogía</td></tr> </tbody> </table>	Unidad Litológica	Nombre de la roca metamórfica	Clasificación roca ígnea plutónica	Clasificación roca ígnea volcánica	Clasificación roca subvolcánica	Nombre de la roca sedimentaria	Evento asociado	Mineralogía	<table border="1"> <thead> <tr><th>Fallas</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tipo de falla</td></tr> <tr><td>Nombre de la falla</td></tr> <tr><td>Buzamiento</td></tr> <tr><td>Dirección de buzamiento</td></tr> <tr><td>Cinemática de la falla</td></tr> </tbody> </table>	Fallas	Tipo de falla	Nombre de la falla	Buzamiento	Dirección de buzamiento	Cinemática de la falla	<table border="1"> <thead> <tr><th>Toma de datos Geofísicos</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Método geofísico</td></tr> <tr><td>Unidad de medida</td></tr> <tr><td>Nombre del perfil</td></tr> <tr><td>Tipo de malla</td></tr> <tr><td>Tipo de técnica</td></tr> </tbody> </table>	Toma de datos Geofísicos	Método geofísico	Unidad de medida	Nombre del perfil	Tipo de malla	Tipo de técnica													
Estratigrafía Sedimentológica																																												
Tipo de laminación																																												
Estructuras sedimentarias																																												
Tipo de roca sedimentaria																																												
Geometría del estrato																																												
Espesor de las capas																																												
Tipo de fósil																																												
Columna estratigráfica																																												
Unidad Litológica																																												
Nombre de la roca metamórfica																																												
Clasificación roca ígnea plutónica																																												
Clasificación roca ígnea volcánica																																												
Clasificación roca subvolcánica																																												
Nombre de la roca sedimentaria																																												
Evento asociado																																												
Mineralogía																																												
Fallas																																												
Tipo de falla																																												
Nombre de la falla																																												
Buzamiento																																												
Dirección de buzamiento																																												
Cinemática de la falla																																												
Toma de datos Geofísicos																																												
Método geofísico																																												
Unidad de medida																																												
Nombre del perfil																																												
Tipo de malla																																												
Tipo de técnica																																												
<table border="1"> <thead> <tr><th>Datos Estructurales</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tipo de dato</td></tr> <tr><td>Buzamiento</td></tr> <tr><td>Azmut de buzamiento</td></tr> <tr><td>Trend</td></tr> <tr><td>Rake</td></tr> </tbody> </table>	Datos Estructurales	Tipo de dato	Buzamiento	Azmut de buzamiento	Trend	Rake	<table border="1"> <thead> <tr><th>Eventos Morfodinámicos</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tipo de MM</td></tr> <tr><td>Subtipo de MM</td></tr> <tr><td>Parte del MM</td></tr> <tr><td>Etiqueta</td></tr> <tr><td>Estilo</td></tr> <tr><td>Estado del movimiento</td></tr> </tbody> </table>	Eventos Morfodinámicos	Tipo de MM	Subtipo de MM	Parte del MM	Etiqueta	Estilo	Estado del movimiento	<table border="1"> <thead> <tr><th>Pliegues</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>Clasificación según la geometría</td></tr> <tr><td>Clasificación según la estratigrafía</td></tr> <tr><td>Clasificación según el análisis de su geometría</td></tr> <tr><td>Clasificación según la configuración de los flancos y las charnelas</td></tr> <tr><td>Clasificación según la apertura de los flancos</td></tr> <tr><td>Clasificación según su extensión regional</td></tr> <tr><td>Clasificación según el estilo y la forma</td></tr> <tr><td>Nombre del pliegue</td></tr> </tbody> </table>	Pliegues	Clasificación según la geometría	Clasificación según la estratigrafía	Clasificación según el análisis de su geometría	Clasificación según la configuración de los flancos y las charnelas	Clasificación según la apertura de los flancos	Clasificación según su extensión regional	Clasificación según el estilo y la forma	Nombre del pliegue																				
Datos Estructurales																																												
Tipo de dato																																												
Buzamiento																																												
Azmut de buzamiento																																												
Trend																																												
Rake																																												
Eventos Morfodinámicos																																												
Tipo de MM																																												
Subtipo de MM																																												
Parte del MM																																												
Etiqueta																																												
Estilo																																												
Estado del movimiento																																												
Pliegues																																												
Clasificación según la geometría																																												
Clasificación según la estratigrafía																																												
Clasificación según el análisis de su geometría																																												
Clasificación según la configuración de los flancos y las charnelas																																												
Clasificación según la apertura de los flancos																																												
Clasificación según su extensión regional																																												
Clasificación según el estilo y la forma																																												
Nombre del pliegue																																												

5.3. Modelamiento de características geográficas según el eje temático de las asignaturas de la Escuela de Geología

Se definieron 4 temáticas principales según el eje temático de las asignaturas de la Escuela de Geología, en las cuáles se agruparon las distintas tablas creadas:

- **Campo:** En este grupo se encuentra la información que debe ligarse a una estación de campo (en datos puntuales), como alteraciones en el macizo rocoso, discontinuidades, estructuras sedimentarias y datos estructurales.
- **Geología:** Alberga la información relacionada con las propiedades geológicas del

macizo rocoso (principalmente presentados como líneas y polígonos), tales como la unidad geológica, contactos geológicos, fallas y pliegues.

- **Geomorfología:** En este grupo se encuentra toda aquella información referente a las características y rasgos geomorfológicos del paisaje, tales como procesos morfodinámicos (reptaciones, deslizamientos, flujos, terrazas) y unidades geomorfológicas.
- **Geofísica:** En este grupo se encuentra toda aquella información correspondiente a levantamientos geofísicos.

La tabla 4 presenta una síntesis de la clasificación de las tablas conforme a las cuatro temáticas previamente definidas, tomando como base la estructuración de las tablas creadas:

Tabla 4

Distribución temática

Campo	Geología	Geomorfología	Geofísica
Estaciones	Unidad Litológica	Procesos Morfodinámicos	Toma de datos geofísicos
GCP	Características Litológicas	Unidad Geomorfológica	
Proyecto de campo	Unidad Geológica	Eventos Morfodinámicos	
Estratigrafía	Contacto Geológico		
Sedimentológica			
Alteraciones	Fallas		
Discontinuidades	Pliegues		
Datos Estructurales			

5.4.Propuesta de un modelo de datos geográficos con su respectivo diccionario de datos

Como se mencionó anteriormente, para el diseño del modelo de datos, los organismos oficiales definen (3) componentes fundamentales:

- **Estructura:** Se presenta el contenido o estructura general de la información temática.
- **Capas:** Se presenta la descripción de cada entidad temática de tipo vectorial, detallando cada uno de sus atributos o campos y las relaciones entre entidades.
- **Dominios:** Se presentan los dominios (Valores definidos para los campos de la entidad) que están definidos y referenciados para ciertos atributos de las capas o tablas.

Estos componentes (estructura, capas y dominios) se presentan en detalle en las figuras a

continuación:

Figura 10

Estructura del modelo de datos, presentando las temáticas principales y las distintas capas que las conforman

Escuela de Geología		MODELO DE DATOS PARA LA PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA EN LAS CAMPAÑAS DE CAMPO				Universidad Industrial de Santander		UIS	
COD_T	TEMA GENERAL	GRUPOS	COD_G	OBJETOS	COD_O	GEOMETRÍA/ TIPO DATO	ID IDENTIDAD		
01	Geociencias	Campo	10	ProyectoCampo	01	Polígono	011001		
				GCP	02	Punto	011002		
				Estaciones	03	Punto	011003		
				EstratigrafiaSedimentologica	04	Punto	011004		
				Alteraciones	05	Punto	011005		
				Discontinuidades	06	Punto	011006		
				Dato_Estructural	07	Punto	011007		
		Geología	20	UnidadLito	01	Polígono	012001		
				CaracteristicaLito	02	Punto	012002		
				UnidadGeo	03	Polígono	012003		
				ContactoGeo	04	Línea	012004		
				Fallas	05	Línea	012005		
				Plegues_PT	06	Punto	012006		
				Plegues_LN	07	Línea	012007		
		Geomorfología	30	Proceso_Morfodinamico_PT	01	Punto	013001		
				Proceso_Morfodinamico_LN	02	Línea	013002		
				Proceso_Morfodinamico_PG	03	Polígono	013003		
				UnidadGeomorfo	04	Polígono	013004		
				EventoMorfodinamico	05	Punto	013005		
		Geofísica	40	Geofisica_LN	01	Línea	014001		
Geofisica_PG	02			Polígono	014002				

Figura 11

Ejemplo del proceso de creación de las capas, definiendo sus atributos, propiedades y, en caso de aplicarse, dominios correspondientes

Alias		Estratigrafía Sedimentológica					
Definición		Comprende las estructuras sedimentarias (como estratificaciones y laminaciones) que se pudieron identificar en el afloramiento					
Feature Class		EstratigrafiaSedimentologica					
Geometría		Punto					
CAMPO	ALIAS	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN	DOMINIO	CONDICIÓN	
GUID	Guid	Guid	22	Código del elemento.	N / A	Obligatorio	
UUID	uuid	String	22	Código de cada estación asociada. Estructura: Dos iniciales por cada integrante del grupo + letra "d" + número del día de campo + letra "e" + número de la estación. Ej: JBGSJCd1e1.	N / A	Obligatorio	
TIPO_ESTRATIF	Tipo de estratificación	String	22	Indica el tipo de estratificación (en caso de observar alguna).	Dom_Tipo_Estratif	Opcional	
TIPO_LAMINA	Tipo de laminación	String	22	Indica el tipo de laminación (en caso de observar alguna).	Dom_Tipo_Lamina	Opcional	
ESTRUCT_SED	Estructuras sedimentarias	String	30	Indica las estructuras sedimentarias que se pueden observar en el afloramiento.	Dom_Estruct_Sed	Opcional	
TIPO_ROCA	Tipo de roca	String	15	Tipo de roca sedimentaria.	Dom_TipoSedimen	Obligatorio	
GEOM_ESTRAT	Geometría	String	19	Geometría del estrato.	Dom_GeomEstrat	Obligatorio	
ESPESOR	Espesor de las capas	String	11	Espesor de las capas.	Dom_Espesor	Obligatorio	
FOSIL	Fósiles	String	2	Indicar si el afloramiento presenta un registro fósil apreciable.	Dom_Fosiles	Obligatorio	
TIPO_FOSIL	Tipo de fósil	String	20	Indica el tipo de fósil encontrado en el cuerpo rocoso.	Dom_TipoFos	Opcional	
COLUMNA	Columna estratigráfica	String	2	Indicar si se cuenta con una columna estratigráfica.	Dom_Columna	Obligatorio	
OBSERVA	Observaciones	String	300	Observaciones generales.	N / A	Opcional	

Figura 12

Ejemplo de la definición de dominios, ilustrando un caso específico de dominio definido para la capa presentada en la Figura 10.

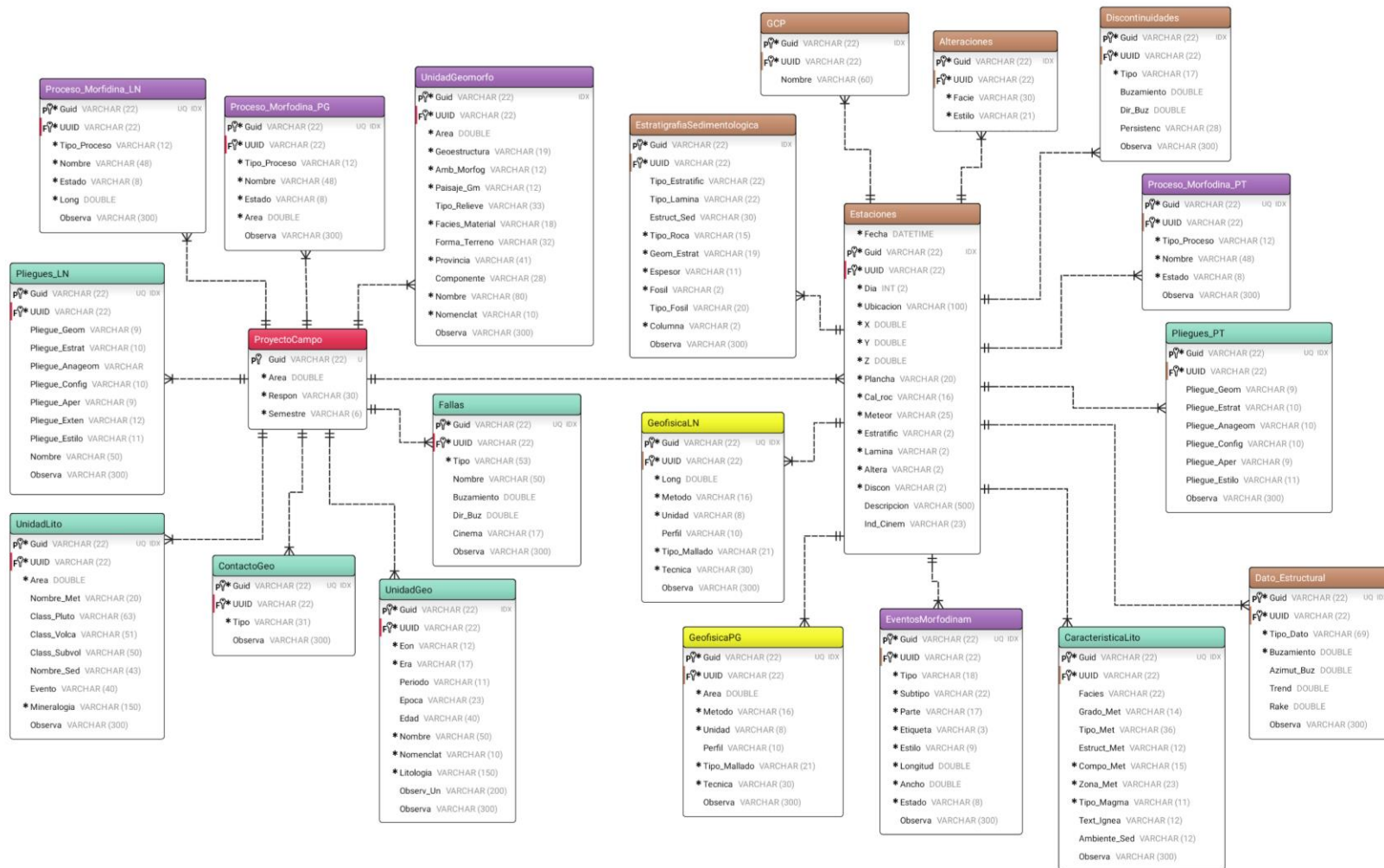
Dominio	Dom_Tipo_Estratíf
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
1001	Paralela
1002	Cruzada
1003	Cruzada tangencial
1004	Cruzada planar
1005	Cruzada en artesa
1006	Gradada
1007	Flaser
1008	Lenticular
1009	Ondulada
1010	Imbricación de clastos

En la *Figura 13* se presenta el modelo de datos relacional diseñado, donde la disposición de la información sigue un formato específico: las entidades se representan mediante objetos rectangulares, en los cuales se detallan sus atributos en filas. La paleta de colores asignada obedece a la clasificación temática, delimitando las entidades según su pertenencia a un grupo específico:

- **Color naranja:** Representa las entidades que hacen parte del tema Campo.
- **Color amarillo:** Representa las entidades que hacen parte del tema Geofísica.
- **Color verde:** Representa las entidades que hacen parte del tema Geología.
- **Color morado:** Representa las entidades que hacen parte del tema Geomorfología.

Figura 13

Modelo relacional.



Fue imperativo establecer una tabla “padre” o tabla primaria en conformidad con las buenas prácticas en la elaboración del modelo entidad-relación. Para garantizar un buen funcionamiento de la información, se creó la tabla denominada “ProyectoCampo”. Su función principal es actuar como identificador único para definir las relaciones entre las tablas. En función del semestre y asignatura en curso, esta tabla establece una relación uno a muchos (1:M) con las tablas secundarias, conformando así una estructura que facilita la gestión eficiente de los datos asociados a cada campaña de campo.

Adicionalmente, en consideración a las necesidades de los usuarios, se decidió establecer una tabla adicional denominada "GCP" (Ground Control Point, por sus siglas en inglés). En esta tabla, se pueden configurar puntos de control en el terreno sin la inclusión de información adicional acerca de las características específicas del mismo. Esta elección se sustenta en la premisa de contar con puntos de referencia geográfica que sirvan como guías o que presenten particularidades distintivas, conforme a los requisitos y preferencias de los usuarios futuros.

Los dominios se definieron atendiendo a los modelos de referencia consultados, además de manuales respectivos a cada tema y libros. Estos dominios se encuentran enlazados a capas que requieren un control de estandarización, puesto que se puede generar una cantidad innecesaria de valores en caso de dejar a libre definición del usuario, puesto que una letra minúscula donde antes se escribió una letra mayúscula, un error ortográfico o una conocimiento incorrecto del término, van generando más y más registros nuevos, ya que el software no tiene la capacidad de discretizar entre mayúsculas o minúsculas o tener el conocimiento de que un término está correcto o incorrecto.

La justificación de la organización en las cuatro temáticas se fundamenta para proporcionar un conjunto de mapas temáticos. En específico, se contempla la generación de cuatro mapas temáticos distintos: un mapa geológico, un mapa geomorfológico, un mapa de campo y un mapa de levantamientos geofísicos. Este enfoque se orienta a proporcionar una representación cartográfica especializada y diferenciada de cada una de las áreas temáticas identificadas.

En la *Figura 14* se presenta el diccionario de datos elaborado, atendiendo al objetivo específico planteado:

Figura 14

Diccionario de datos.

Nombre de la tabla de la base de datos	Alias de la tabla de la base de datos	Código de la tabla de la base de datos	Etiqueta del campo o variable (atributo)	Alias de la etiqueta del campo o variable (atributo)	Descripción	Tipo de dato	Obligatoriedad del campo	Dominios asociados a la tabla de la base de datos (En caso de que no existan, escribir "No aplica")
Proyecto	Proyecto	011001	guid	Guid	Código del elemento. Estructura: Año + semestre + materia + grupo (todo en minúscula). Ej: 20241campo1g2.	Alfanumérico	Obligatorio	No aplica
			area	Área	Área del polígono en ha.	Número con decimales	Obligatorio	No aplica
			respon	Docente responsable	Docente responsable de la campaña de campo.	Alfanumérico	Obligatorio	No aplica
			semestre	Semestre	Semestre escolar en que se realizó la campaña de campo. Ej: 20231.	Alfanumérico	Obligatorio	No aplica
GCP	Puntos Control Terreno	011002	guid	Guid	Código del elemento.	Guid	Obligatorio	No aplica
			uuid	uuid	Código de cada estación asociada. Estructura: Dos iniciales por cada integrante del grupo + letra "d" + número del día de campo + letra "e" + número de la estación. Ej: JBKSJCd1e1.	Alfanumérico	Obligatorio	No aplica
			nombre	Nombre del punto	Nombre del punto de control de terreno.	Alfanumérico	Opcional	No aplica
Estaciones	Estaciones de campo	011003	fecha	Fecha	Día-mes-año en que se tomó cada estación. Ej: 12-05-21.	Date	Obligatorio	No aplica
			guid	Guid	Código de cada estación. Estructura: Dos iniciales por cada integrante del grupo + letra "d" + número del día de campo + letra "e" + número de la estación. Ej: JBKSJCd1e1.	Alfanumérico	Obligatorio	No aplica
			uuid	uuid	Código del proyecto de campo asociado. Estructura: Año + semestre + materia + grupo (todo en minúscula). Ej: 20241campo1g2.	Alfanumérico	Obligatorio	No aplica
			dia	Día de campo	Día de campo.	Número con decimales	Obligatorio	No aplica
			ubicacion	Ubicación	Ubicación de la zona de cada estación (carretera, kilometraje, localidad).	Alfanumérico	Obligatorio	No aplica
			x	Coordenada en X	Coordenada X (este/oeste) de cada estación.	Número con decimales	Obligatorio	No aplica
			y	Coordenada en Y	Coordenada Y (norte/sur) de cada estación.	Número con decimales	Obligatorio	No aplica
			z	Altura	Altura sobre el nivel del mar de cada estación.	Número con decimales	Obligatorio	No aplica
			plancha	Plancha	Plancha cartográfica en la que se encuentra la estación.	Alfanumérico	Obligatorio	No aplica

5.5.Implementación de un borrador de geportal con software licenciado

En esta etapa, se integran las fases correspondientes a la implementación de las infraestructuras y al diseño del geportal mencionadas en la metodología.

En una fase inicial, fue necesario construir la base de datos conforme a la definición previa del modelo de datos. Para llevar a cabo este proceso, se optó por el uso del software GIS ArcGIS Pro, en él se procedió con la creación de la base de datos, la definición de las temáticas centrales en forma de feature datasets, la generación de las capas con sus respectivos atributos y restricciones, así como la definición de los dominios y el establecimiento de las relaciones entre las capas. El resultado final de la construcción de la base de datos se presenta de manera gráfica en la figura subsecuente:

Figura 15

Base de datos en ArcGIS Pro.

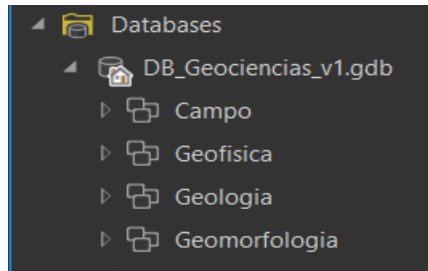


Figura 16

Feature class temática de Campo.

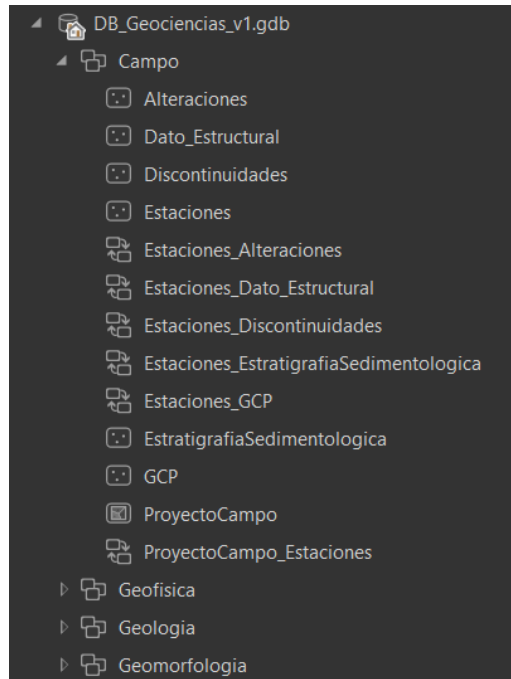


Figura 17

Feature class temática de Geología

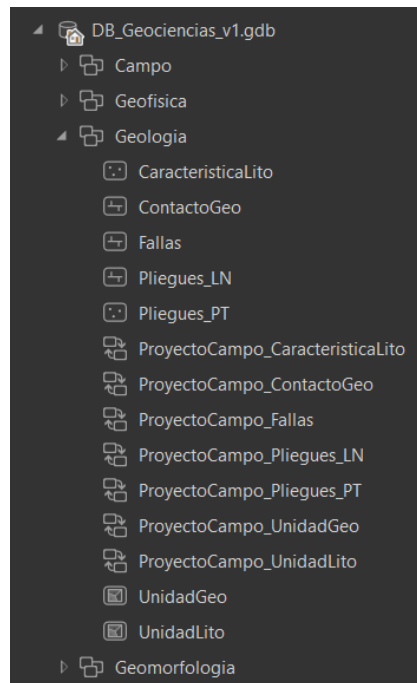


Figura 18

Feature class temática de Geomorfología

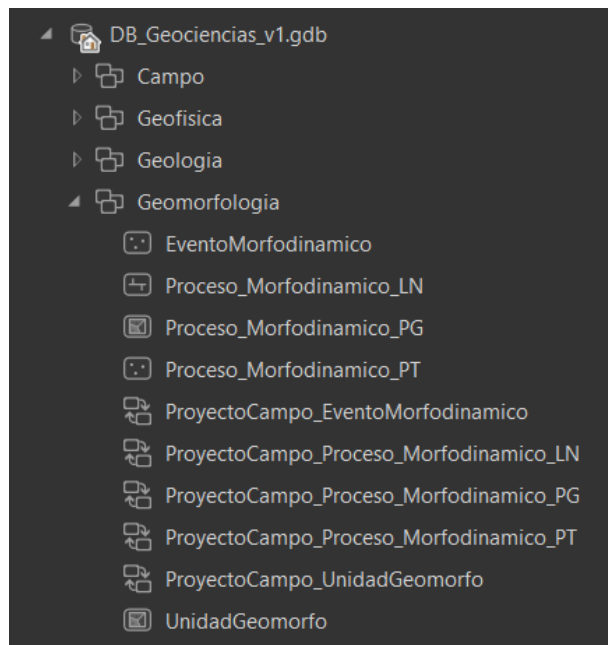
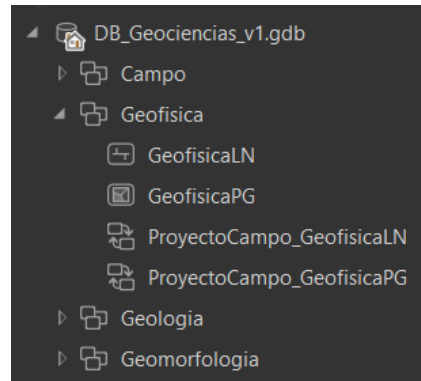


Figura 19

Feature class temática de Geofísica



Una vez culminada la construcción de la base de datos, se procede a la generación de la simbología de las capas. Este diseño se llevó a cabo conforme a los parámetros establecidos por el Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization (FGDC), bajo la responsabilidad del Federal Geographic Data Committee. Dichos parámetros están documentados en el FGDC Document Number FGDC-STD-013-2006 (Apéndice A). En situaciones donde los elementos no contaban con referencias explícitas en dicho documento, se procedió a su diseño siguiendo el criterio de los autores.

Figura 20

Ejemplo de la simbología consultada en el documento FGDC-STD-013-2006 para la capa de contactos geológicos

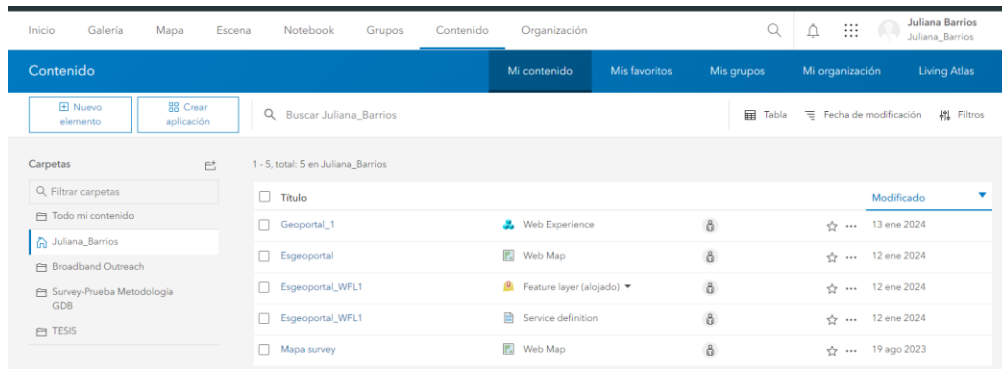
<h2>ContactoGeo</h2>	
<h3>Tipo de contacto</h3>	
Aureola de contacto	-----
Contacto definido	—————
Contacto aproximado	-----
Contacto inferido	-----
Contacto cubierto
Contacto gradacional	
Contacto gradacional aproximado	
Contacto gradacional inferido	
Contacto discordante	—————
Contacto discordante aproximado	-----
Contacto discordante inferido	-----
Contacto discordante cubierto
Contacto fallado	—————
Dique	—————
Dique aproximado	*****
Contacto incierto	-----

Después, se migró la base de datos a la nube, concretamente en ArcGIS Online, donde se estableció como servicio de mapa. Esta elección permitió no solo la visualización, sino también la

edición y manipulación de la información contenida en la base de datos.

Figura 21

Contenido alojado en ArcGIS Online para la realización del proyecto



En la *Figura 21*, se pueden observar tres elementos en el listado del contenido en ArcGIS Online, denominados "Esgeoportal". Uno de ellos adopta un formato de Web Map que refleja la totalidad de la escena generada desde ArcGIS Pro y compartida en la nube. El segundo, con el añadido en el nombre "Esgeoportal_WFL1", se corresponde con el feature layer alojado, representando el componente que alberga la base de datos y facilita la sincronización tanto con el geoportal como con el formulario destinado a la toma de datos en campo.

Una vez alojada la base de datos en la nube, se procedió con la creación de un formulario mediante la aplicación ArcGIS Survey123 Connect, dicho formulario se encuentra interconectado con la el feature layer alojado en ArcGIS Online, permitiendo así la actualización progresiva de la información a medida que se ingresan respuestas en el formulario. La versión seleccionada de esta aplicación ofrece un abanico más amplio de opciones y configuraciones personalizables para asegurar el funcionamiento óptimo del formulario.

Figura 22

Formato para la elaboración del formulario en Survey123 Connect

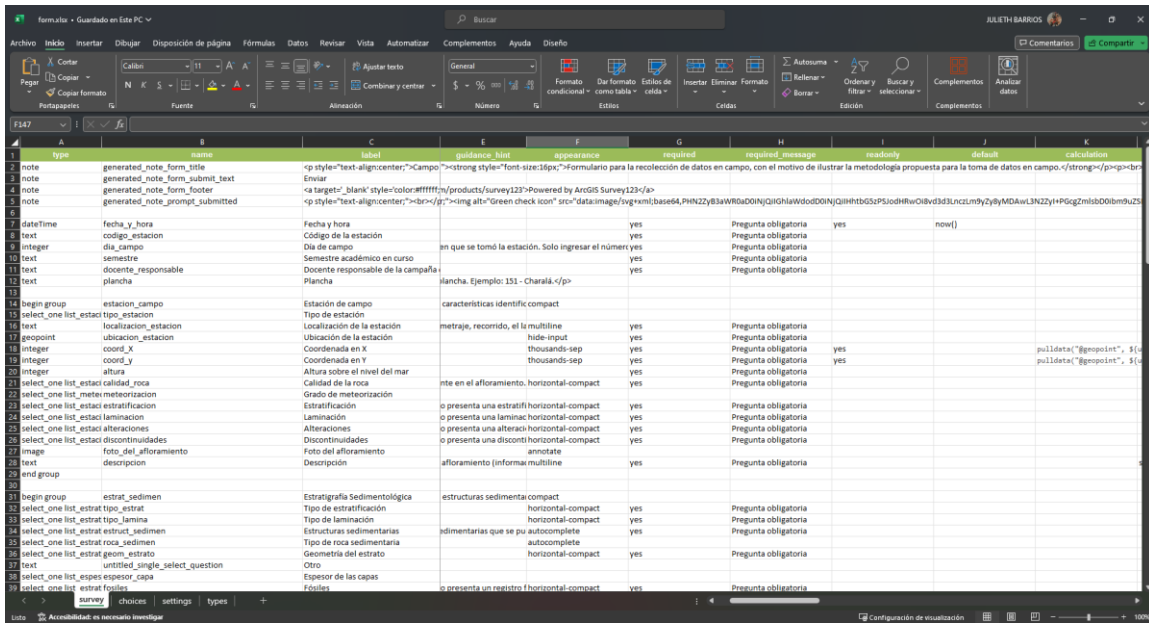
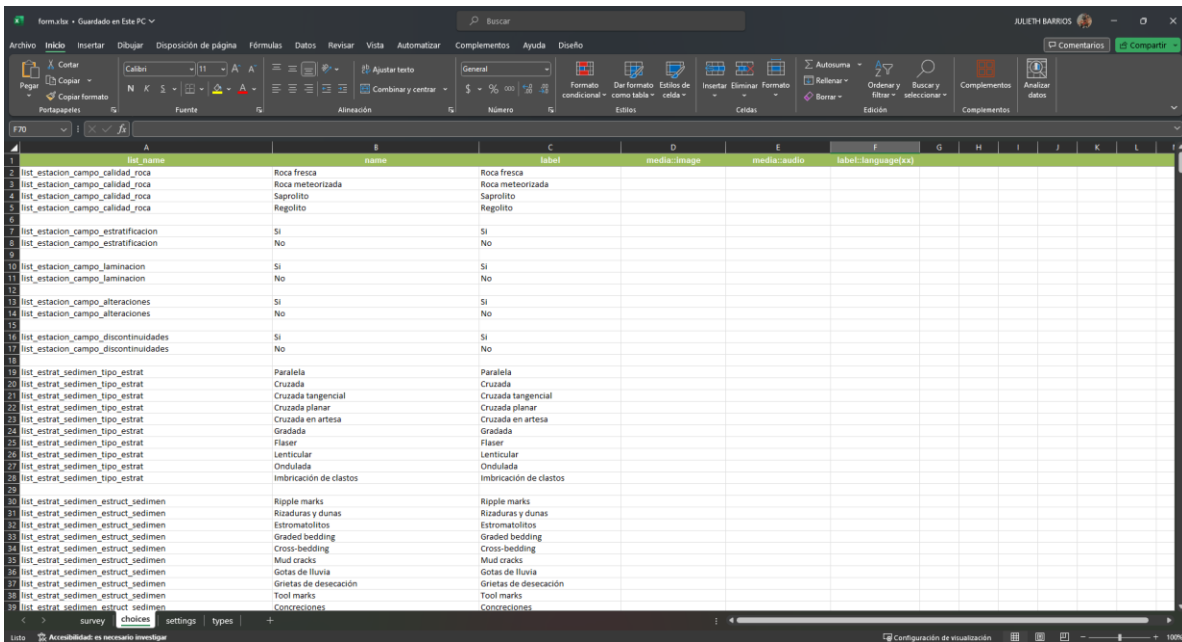


Figura 23

Pestaña denominada "choices" en la hoja de cálculo utilizada en la creación del formulario, destinada a especificar las opciones predefinidas aplicables a preguntas de selección única o múltiple



La herramienta ArcGIS Survey123 Connect proporciona una opción más integral y completa para la creación de formularios, condensada en una hoja de cálculo denominada XLSForm. Esta hoja consta de cuatro pestañas: la primera, titulada "survey", detalla las preguntas que se incluirán en el formulario; la segunda, "choices", establece las opciones predeterminadas en caso de incluir preguntas de selección única o múltiple en la encuesta; la tercera, "settings",

determina el feature en el que se almacenarán las respuestas del formulario; y la cuarta, "types", resume los tipos de preguntas, datos y operadores disponibles para personalizar el formulario.

Figura 24

Visualización del formulario en la aplicación móvil de ArcGIS Survey123

Considerando las recomendaciones de los usuarios que expresaron el interés en que el formulario posibilitara la visualización geográfica precisa de los puntos de campo, se tomó la decisión de utilizar otra aplicación proporcionada por Esri, denominada Field Maps. Esta aplicación presenta una interfaz más dinámica para la observación de la ubicación del usuario en tiempo real, ofreciendo la capacidad de integrar mapas personalizados. Cabe destacar que Field Maps opera de manera conjunta con ArcGIS Survey123 Connect, facilitando la interoperabilidad eficiente de ambas aplicaciones en conjunto.

Figura 25

Visualización del mapa con la información de la cartografía básica en la aplicación móvil de ArcGIS Field Maps



La cartografía básica utilizada en el mapa se derivó de las bases de datos accesibles en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Estos datos se integraron en un modelo de datos junto con su correspondiente diccionario para su registro sistemático.

Figura 26

Modelo de datos geográficos de la cartografía base



	Modelo de Datos Geográficos de Cartografía Base	CÓDIGO
	MODELO DE DATOS	VERSIÓN: 1.0
Modelo de Datos Geográficos de Cartografía Base		
Título	Modelo de Datos Espaciales de Cartografía Base	
Resumen	En el presente documento se establecen los conceptos oficiales de los datos geograficos tomados del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) que comprenden la cartografía base del país a nivel 1:100.000.	
Idioma	Español	
Versión	1.0	
Fecha de creación	30/05/2023	
Autor	Juliana Barrios - Cediel Rozo. Modificado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).	
Publicador	Escuela de Geología UIS	
Tipo	Texto	
Formato	Microsoft Excel (.xlsx) - Portable Document Format (PDF)	
Derechos	Copyright	
Palabras clave	Diccionario de datos, atributo, dominio, objeto geográfico, operación, relación, polígono, Geología.....	

Figura 27

Diccionario de datos del modelo de datos geográficos de la cartografía base

	Modelo de Datos Geográficos de Cartografía Base	CÓDIGO
	DICCIONARIO DE DATOS	VERSIÓN: 1.0
Diccionario de Datos - Modelo de Datos Geográficos de Cartografía Base		
Título	Diccionario de Datos Espaciales de Cartografía Base	
Resumen	En el presente documento se establecen los conceptos oficiales de los datos geograficos tomados del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) que comprenden la cartografía base del país a nivel 1:100.000.	
Idioma	Español	
Versión	1.0	
Fecha de creación	30/05/2023	
Autor	Juliana Barrios - Cediel Rozo. Modificado del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).	
Publicador	Escuela de Geología UIS	
Tipo	Texto	
Formato	Microsoft Excel (.xlsx) - Portable Document Format (PDF)	
Derechos	Copyright	
Palabras clave	Diccionario de datos, atributo, dominio, objeto geográfico, operación, relación, polígono, Geología.....	

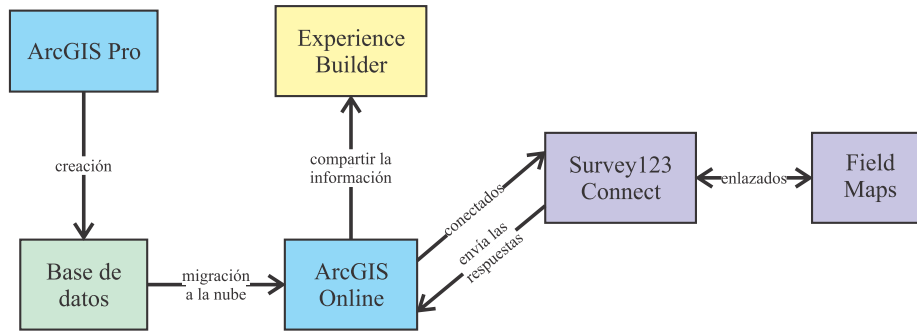
Teniendo en cuenta lo anteriormente implementado, finalmente se llevó a cabo la creación del geoportel utilizando la aplicación de ArcGIS Experience Builder, cuyo propósito se centra en exhibir en tiempo real la información proporcionada por los usuarios mediante las nuevas entradas en el formulario. Este enfoque elimina la necesidad de asignar a un individuo encargado de la constante actualización y verificación de cambios, proporcionando así una automatización de todo el procedimiento.

Según el flujo de trabajo mencionado en la metodología, esta figura ilustra la interacción y

las relaciones entre aplicaciones, software y otras plataformas previamente aludidas.

Figura 28

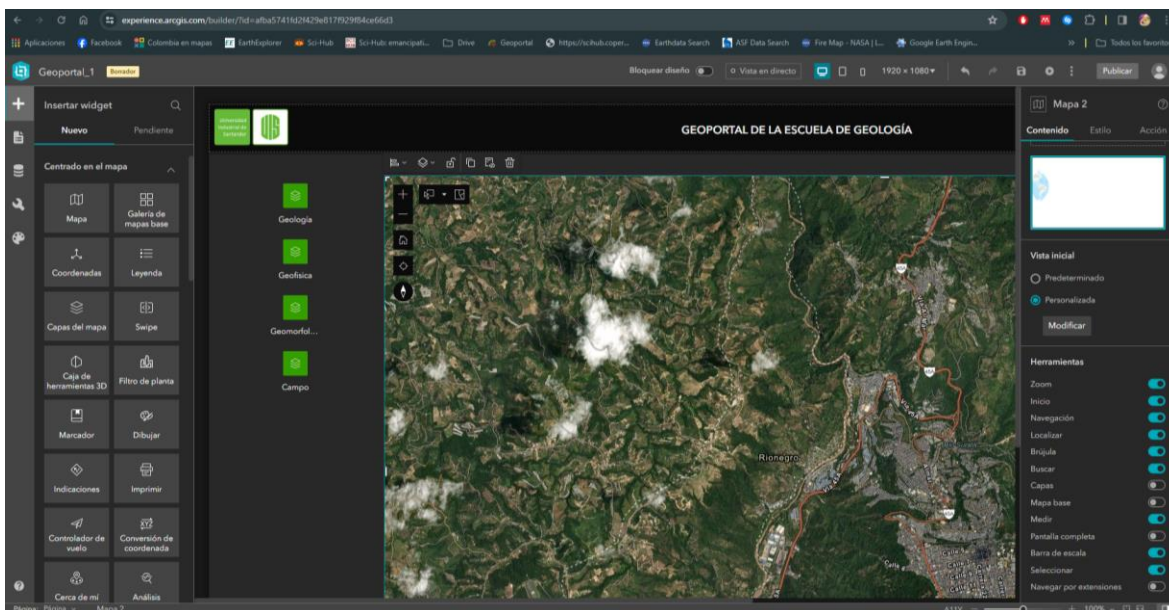
Flujo de trabajo utilizando la alternativa con software licenciado



Como resultado del mencionado flujo de trabajo, se ha desarrollado el geoportal mediante la aplicación de ArcGIS Experience Builder (ver Figura 28).

Figura 29

Interfaz de desarrollo del geoportal en ArcGIS Experience Builder



La interfaz de desarrollo del geoportal se estructura mediante una cinta de opciones en un panel lateral izquierdo, donde se disponen cinco íconos con diversas funcionalidades. El primer ícono posibilita la selección de widgets, como el mapa, para su visualización por parte del usuario. El segundo ícono ofrece una vista detallada de la estructura completa de la página del geoportal, presentando todos los widgets, imágenes y texto incorporados. En el tercer ícono, se establece el

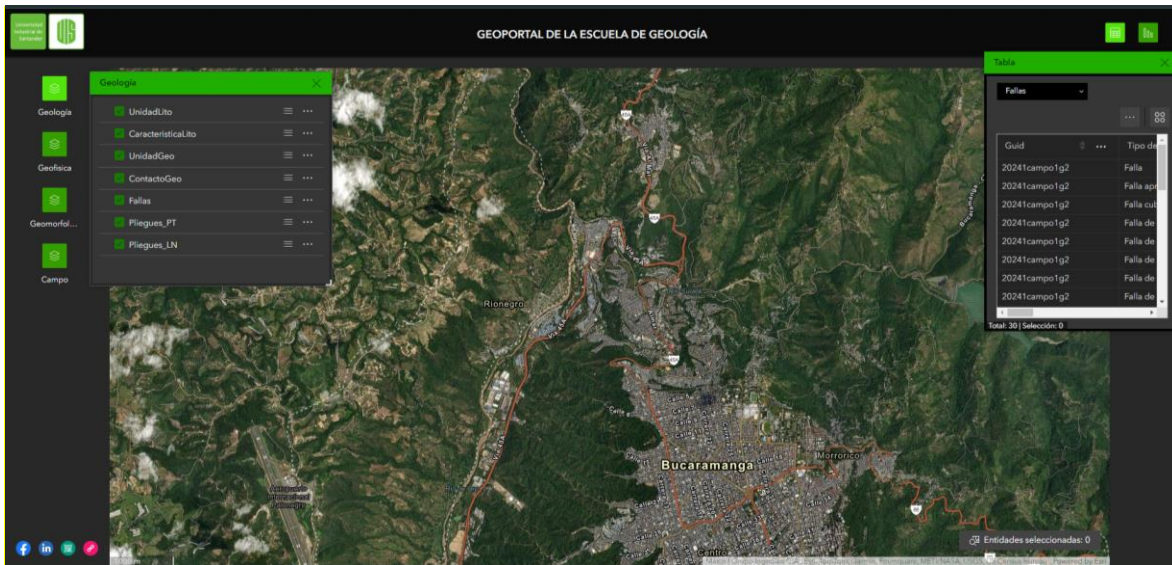
enlace con la información geográfica destinada a ser exhibida en el mapa. El cuarto ícono facilita la incorporación de una red de servicios, mientras que el quinto ícono permite la selección de un tema prediseñado para la presentación del geoportal. Además, se incluye un panel lateral derecho que actúa como un centro de control para la personalización de elementos e información añadidos a través de los tres primeros íconos del panel lateral izquierdo.

En esta primera versión del diseño, se han implementado diversas funciones interactivas para mejorar la experiencia del usuario. Entre estas funciones se incluye un panel lateral izquierdo que actúa como controlador de capas, permitiendo al usuario seleccionar la información a mostrar en el mapa. Este panel también posibilita la visualización de detalles de las capas, la presentación de la leyenda, la exportación de entidades, y proporciona la opción de ver la tabla correspondiente a las entidades seleccionadas. Esta última opción está vinculada a la parte superior derecha del geoportal, donde se desplegarán las tablas o gráficos seleccionados por el usuario.

El mapa central ofrece varias opciones, como zoom básico, vista predeterminada del mapa, un buscador de posición que enlaza con la ubicación actual del usuario, orientación del mapa, buscador de direcciones o lugares, herramientas de medición y herramientas de selección de entidades. Finalmente, el geoportal cuenta con diversos hipervínculos para facilitar el intercambio del mismo en las distintas redes sociales o aplicaciones. Los datos presentes están vinculados a la nube y actualizados en tiempo real (el geoportal no cuenta con información geológica, solamente se incluyen en él datos ficticios necesarios para la definición de la simbología y para la ilustración de las funciones de la interfaz).

Figura 30

Geoportal implementando software licenciado



5.6. Implementación de un borrador de geoportál con software libre

En esta etapa de la sección de resultados, se integran las fases correspondientes a la implementación de las infraestructuras y al diseño del geoportál mencionadas en la metodología.

En la fase inicial, se procedió a la creación de la base de datos en PostGIS mediante la herramienta PgAdmin 4, siguiendo la definición previa del modelo de datos. Este proceso incluyó la generación de las diversas tablas con sus respectivos atributos y restricciones, así como la especificación de dominios y la configuración de relaciones entre las tablas. Esta etapa permitió definir la información de manera tabular. Luego, se avanzó con la implementación de la geometría correspondiente para cada capa, considerando los tipos de línea, punto o polígono según la naturaleza de los datos. Por último, se definió el sistema de coordenadas pertinente, dada la naturaleza geográfica de los datos, evitando la consideración de un espacio cartesiano

convencional.

Figura 31

Fragmento del código SQL destinado a la creación de las tablas definidas en el modelo de datos

```

1109
1110
1111 CREATE TABLE "ContactoGeo" (
1112     "Guid" UUID DEFAULT uuid_generate_v4() NOT NULL,
1113     "UUID" VARCHAR (22) NOT NULL,
1114     "Tipo" Dom_Tipo_ContUG NOT NULL,
1115     "Observa" VARCHAR (300),
1116     geometria GEOMETRY (MULTILINESTRINGZM, 3116),
1117     CONSTRAINT contacto_geo_pk PRIMARY KEY ("Guid"),
1118     CONSTRAINT proyecto_c_contacto_g_fk FOREIGN KEY ("UUID") REFERENCES "ProyectoCampo" ("Guid")
1119 );
1120 CREATE INDEX contacto_geo_guid_idx ON "ContactoGeo" ("Guid");
1121
1122
1123 CREATE TABLE "Estaciones" (
1124     "Fecha" TIMESTAMP NOT NULL,
1125     "Guid" VARCHAR (22) NOT NULL,
1126     "UUID" VARCHAR (22) NOT NULL,
1127     "Dia" INTEGER NOT NULL,
1128     "Ubicacion" VARCHAR (100) NOT NULL,
1129     "X" DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_X(ST_Transform(geometria, 3116))::DOUBLE PRECISION) STORED,
1130     "Y" DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Y(ST_Transform(geometria, 3116))::DOUBLE PRECISION) STORED,
1131     "Z" DOUBLE PRECISION,
1132     "Plancha" VARCHAR (20) NOT NULL,
1133     "CaL_roc" Dom_Roca NOT NULL,
1134     "Meteor" Dom_Meteor NOT NULL,
1135     "Estratific" Dom_Estratif NOT NULL,
1136     "Lamina" Dom_Lamina NOT NULL,
1137     "Altera" Dom_Altera NOT NULL,
1138     "Discon" Dom_Discon NOT NULL,
1139     "Ind_Cinco" Dom_Ind_Cinco,
1140     "Descripcion" VARCHAR (500),
1141     geometria GEOMETRY (POINTZM, 3116),
1142     CONSTRAINT estaciones_pk PRIMARY KEY ("Guid"),
1143     CONSTRAINT proyecto_c_estaciones_fk FOREIGN KEY ("UUID") REFERENCES "ProyectoCampo" ("Guid")
1144 );
1145 CREATE INDEX estaciones_guid_idx ON "Estaciones" ("Guid");
1146
1147
1148 CREATE TABLE "Fallas" (
1149     "Guid" UUID DEFAULT uuid_generate_v4() NOT NULL,
1150     "UUID" VARCHAR (22) NOT NULL,
1151     "Descripcion" VARCHAR (500),
1152     "Tipo" Dom_Tipo_Falla NOT NULL,
1153     "Ubicacion" VARCHAR (100) NOT NULL,
1154     "X" DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_X(ST_Transform(geometria, 3116))::DOUBLE PRECISION) STORED,
1155     "Y" DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Y(ST_Transform(geometria, 3116))::DOUBLE PRECISION) STORED,
1156     "Z" DOUBLE PRECISION,
1157     "Plancha" VARCHAR (20) NOT NULL,
1158     "CaL_roc" Dom_Roca NOT NULL,
1159     "Meteor" Dom_Meteor NOT NULL,
1160     "Estratific" Dom_Estratif NOT NULL,
1161     "Lamina" Dom_Lamina NOT NULL,
1162     "Altera" Dom_Altera NOT NULL,
1163     "Discon" Dom_Discon NOT NULL,
1164     "Ind_Cinco" Dom_Ind_Cinco,
1165     "Descripcion" VARCHAR (500),
1166     geometria GEOMETRY (POINTZM, 3116),
1167     CONSTRAINT fallas_pk PRIMARY KEY ("Guid"),
1168     CONSTRAINT proyecto_c_fallas_fk FOREIGN KEY ("UUID") REFERENCES "ProyectoCampo" ("Guid")
1169 );
1170 CREATE INDEX fallas_guid_idx ON "Fallas" ("Guid");
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
2654
2655
2656
2657
2658
2659
2660
2661
2662
2663
2664
2665
2666
2667
2668
2669
2670
2671
2672
2673
2674
2675
2676
2677
2678
2679
2680
2681
2682
2683
2684
2685
2686
2687
2688
2689
2690
2691
2692
2693
2694
2695
2696
2697
2698
2699
2700
2701
2702
2703
2704
2705
2706
2707
2708
2709
2710
2711
2712
2713
2714
2715
2716
2717
2718
2719
2720
2721
2722
2723
2724
2725
2726
2727
2728
2729
2730
2731
2732
2733
2734
2735
2736
2737
2738
2739
2740
2741
2742
2743
2744
2745
2746
2747
2748
2749
2750
2751
2752
2753
2754
2755
2756
2757
2758
2759
2760
2761
2762
2763
2764
2765
2766
2767
2768
2769
2770
2771
2772
2773
2774
2775
2776
2777
2778
2779
2780
2781
2782
2783
2784
2785
2786
2787
2788
2789
2790
2791
2792
2793
2794
2795
2796
2797
2798
2799
2800
2801
2802
2803
2804
2805
2806
2807
2808
2809
2810
2811
2812
2813
2814
2815
2816
2817
2818
2819
2820
2821
2822
2823
2824
2825
2826
2827
2828
2829
2830
2831
2832
2833
2834
2835
2836
2837
2838
2839
2840
2841
2842
2843
2844
2845
2846
2847
2848
2849
2850
2851
2852
2853
2854
2855
2856
2857
2858
2859
2860
2861
2862
2863
2864
2865
2866
2867
2868
2869
2870
2871
2872
2873
2874
2875
2876
2877
2878
2879
2880
2881
2882
2883
2884
2885
2886
2887
2888
2889
2890
2891
2892
2893
2894
2895
2896
2897
2898
2899
2900
2901
2902
2903
2904
2905
2906
2907
2908
2909
2910
2911
2912
2913
2914
2915
2916
2917
2918
2919
2920
2921
2922
2923
2924
2925
2926
2927
2928
2929
2930
2931
2932
2933
2934
2935
2936
2937
2938
2939
2940
2941
2942
2943
2944
2945
2946
2947
2948
2949
2950
2951
2952
2953
2954
2955
2956
2957
2958
2959
2960
2961
2962
2963
2964
2965
2966
2967
2968
2969
2970
2971
2972
2973
2974
2975
2976
2977
2978
2979
2980
2981
2982
2983
2984
2985
2986
2987
2988
2989
2990
2991
2992
2993
2994
2995
2996
2997
2998
2999
3000
3001
3002
3003
3004
3005
3006
3007
3008
3009
3010
3011
3012
3013
3014
3015
3016
3017
3018
3019
3020
3021
3022
3023
3024
3025
3026
3027
3028
3029
3030
3031
3032
3033
3034
3035
3036
3037
3038
3039
3040
3041
3042
3043
3044
3045
3046
3047
3048
3049
3050
3051
3052
3053
3054
3055
3056
3057
3058
3059
3060
3061
3062
3063
3064
3065
3066
3067
3068
3069
3070
3071
3072
3073
3074
3075
3076
3077
3078
3079
3080
3081
3082
3083
3084
3085
3086
3087
3088
3089
3090
3091
3092
3093
3094
3095
3096
3097
3098
3099
3100
3101
3102
3103
3104
3105
3106
3107
3108
3109
3110
3111
3112
3113
3114
3115
3116
3117
3118
3119
3120
3121
3122
3123
3124
3125
3126
3127
3128
3129
3130
3131
3132
3133
3134
3135
3136
3137
3138
3139
3140
3141
3142
3143
3144
3145
3146
3147
3148
3149
3150
3151
3152
3153
3154
3155
3156
3157
3158
3159
3160
3161
3162
3163
3164
3165
3166
3167
3168
3169
3170
3171
3172
3173
3174
3175
3176
3177
3178
3179
3180
3181
3182
3183
3184
3185
3186
3187
3188
3189
3190
3191
3192
3193
3194
3195
3196
3197
3198
3199
3200
3201
3202
3203
3204
3205
3206
3207
3208
3209
3210
3211
3212
3213
3214
3215
3216
3217
3218
3219
3220
3221
3222
3223
3224
3225
3226
3227
3228
3229
3230
3231
3232
3233
3234
3235
3236
3237
3238
3239
3240
3241
3242
3243
3244
3245
3246
3247
3248
3249
3250
3251
3252
3253
3254
3255
3256
3257
3258
3259
3260
3261
3262
3263
3264
3265
3266
3267
3268
3269
3270
3271
3272
3273
3274
3275
3276
3277
3278
3279
3280
3281
3282
3283
3284
3285
3286
3287
3288
3289
3290
3291
3292
3293
3294
3295
3296
3297
3298
3299
3300
3301
3302
3303
3304
3305
3306
3307
3308
3309
3310
3311
3312
3313
3314
3315
3316
3317
3318
3319
3320
3321
3322
3323
3324
3325
3326
3327
3328
3329
3330
3331
3332
3333
3334
3335
3336
3337
3338
3339
3340
3341
3342
3343
3344
3345
3346
3347
3348
3349
3350
3351
3352
3353
3354
3355
3356
3357
3358
3359
3360
3361
3362
3363
3364
3365
3366
3367
3368
3369
3370
3371
```

```

Tablero  Propiedades  SQL  Estadísticas  Dependencias  Dependientes  creaciondatabase5.sql
DB_Geociencias_v5/postgres@ESGEO_v1
Sin límite
Consultas  Historial de Consultas
74 --crear dominios--
75 CREATE DOMAIN Dom_Roca AS CHAR(16) CONSTRAINT Dom_Roca_const CHECK (VALUE IN ('Roca fresca',
76 'Roca meteorizada',
77 'Saprolito',
78 'Regolito'));
79
80 CREATE DOMAIN Dom_Meteor AS CHAR(25) CONSTRAINT Dom_Meteor_const CHECK (VALUE IN ('Débilmente meteorizada',
81 'Moderadamente meteorizada',
82 'Altamente meteorizada',
83 'Completamente meteorizada'));
84
85 CREATE DOMAIN Dom_Estratif AS CHAR(2) CONSTRAINT Dom_Estratif_const CHECK (VALUE IN ('Si', 'No'));
86
87 CREATE DOMAIN Dom_Lamina AS CHAR(2) CONSTRAINT Dom_Lamina_const CHECK (VALUE IN ('Si', 'No'));
88
89 CREATE DOMAIN Dom_Altera AS CHAR(2) CONSTRAINT Dom_Altera_const CHECK (VALUE IN ('Si', 'No'));
90
91 CREATE DOMAIN Dom_Discon AS CHAR(2) CONSTRAINT Dom_Discon_const CHECK (VALUE IN ('Si', 'No'));
92
93 CREATE DOMAIN Dom_Ind_Cinem AS CHAR(23) CONSTRAINT Dom_Ind_Cinem_const CHECK (VALUE IN ('Estrías de falla',
94 'Escalones mineralizados',
95 'Venas sigmoidales',
96 'Planos de falla',
97 'Brechas',
98 'Harina de falla',
99 'Cataclásitas'));
100
101 CREATE DOMAIN Dom_Tipo_Estratif AS CHAR(22) CONSTRAINT Dom_Tipo_Estratif_const CHECK (VALUE IN ('Paralela',
102 'Cruzada',
103 'Cruzada tangencial',
104 'Cruzada planar',
105 'Cruzada en artesa',
106 'Gradada',
107 'Flaser',
108 'Lenticular',
109 'Ondulada',
110 'Imbricación de clastos'));
111
112 CREATE DOMAIN Dom_Tipo_Lamina AS CHAR(22) CONSTRAINT Dom_Tipo_Lamina_const CHECK (VALUE IN ('Paralela',
113 'Cruzada',
114 'Cruzada tangencial',
115 'Cruzada planar');
Total rows: 0 of 0
Ln 1, Col 1
    
```

Figura 33

Base de datos en PgAdmin 4

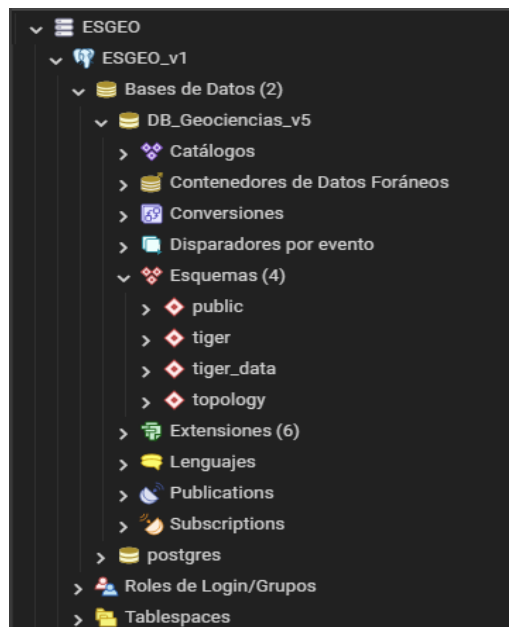
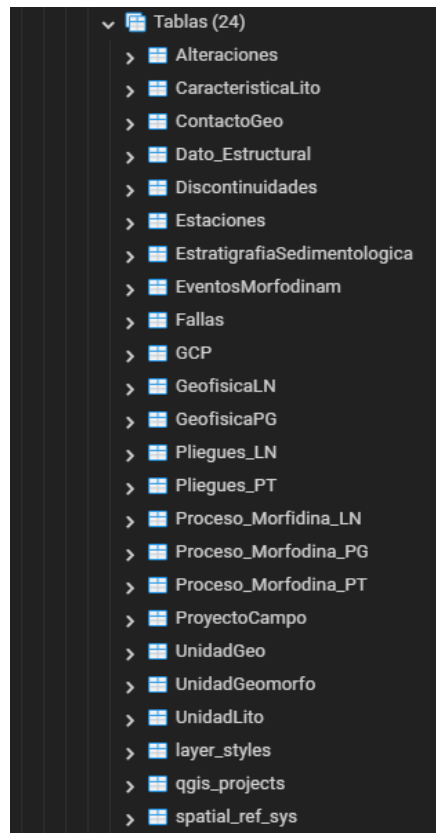


Figura 34

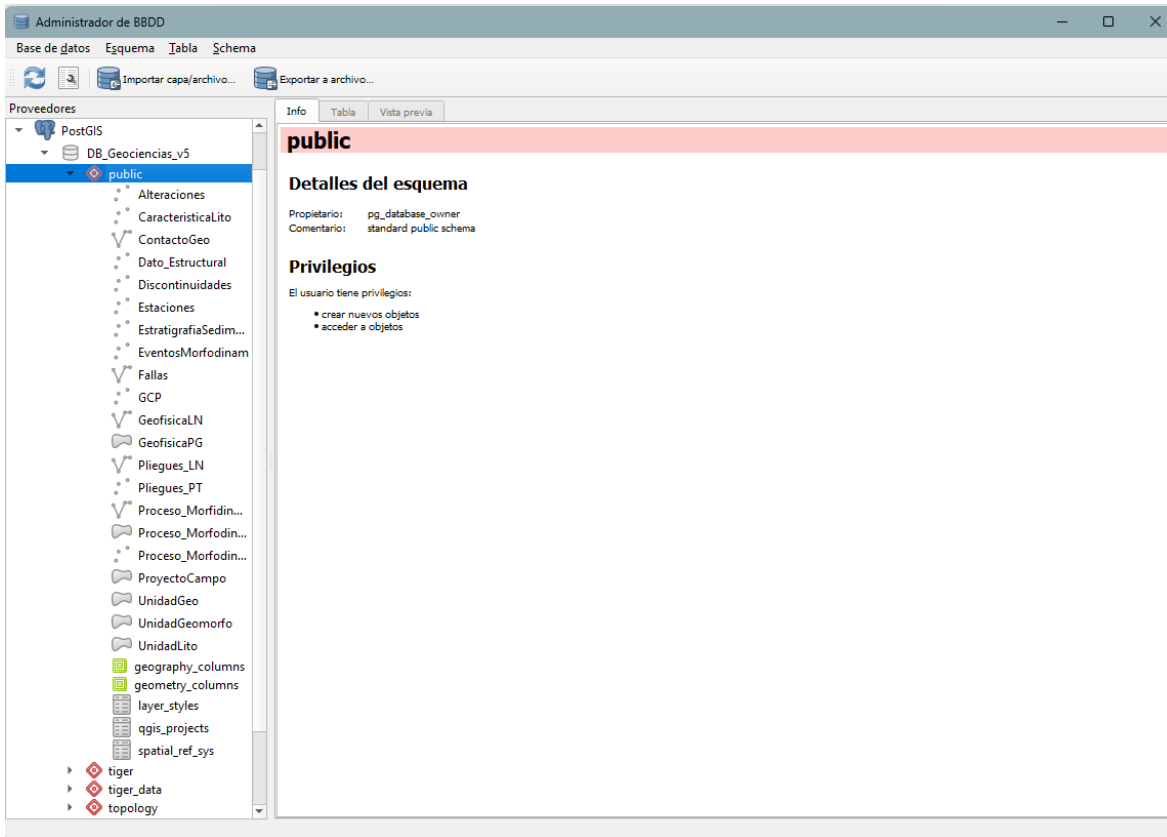
Tablas creadas en la base de datos en PgAdmin 4



Una vez completada la creación adecuada de la base de datos en PgAdmin 4, se procedió a establecer la conexión con QGIS, el software GIS seleccionado para la alternativa de código abierto. En la siguiente figura, se ilustra la vinculación de la base de datos de PostGIS en QGIS, evidenciando la configuración de los privilegios asociados con la capacidad de crear, editar y visualizar datos. Este ajuste posibilita la manipulación de la información y su consiguiente sincronización.

Figura 35

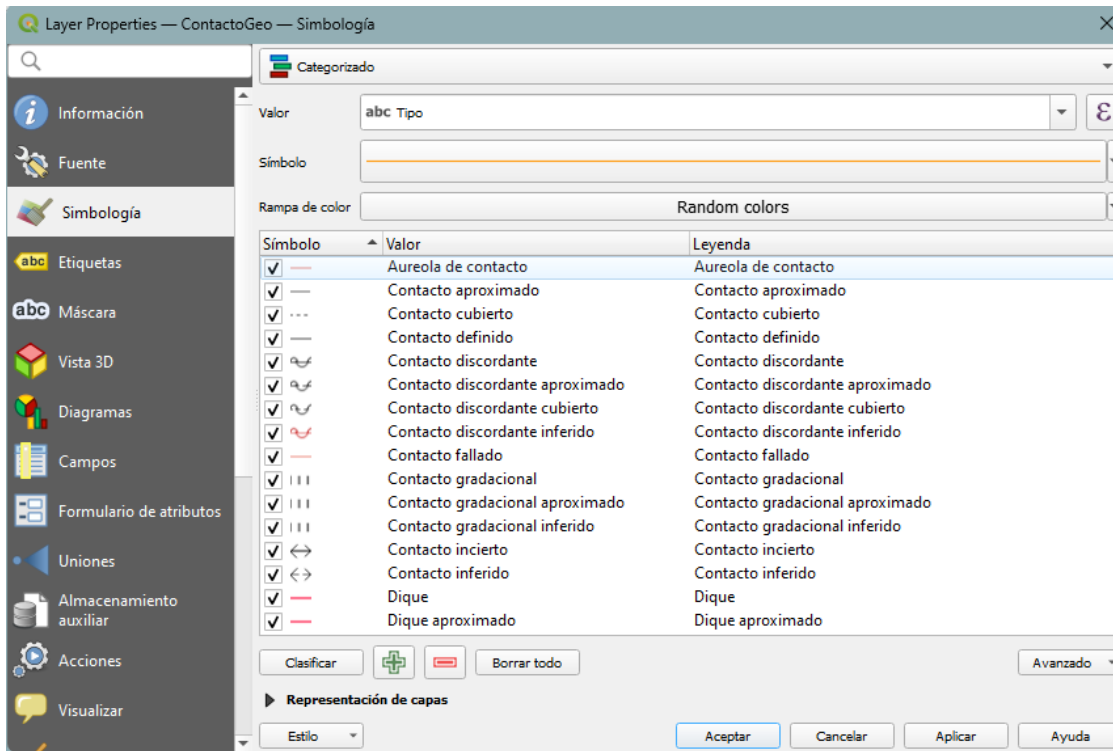
Administrador de bases de datos de QGIS



En QGIS, se llevó a cabo la personalización de la simbología de manera análoga a la alternativa licenciada. Este proceso se guio por las directrices estipuladas en el documento FGDC Document Number FGDC-STD-013-2006 (Apéndice A). Los elementos sin referencias explícitas en dicho documento se definieron según el criterio de los autores. Ya que las simbologías de las capas fueron definidas en QGIS, se exportaron dichos estilos en formato SLD para su posterior carga en el GeoServer.

Figura 36

Ejemplo de la simbología consultada en el documento FGDC-STD-013-2006 para la capa de contactos geológicos



Posteriormente, se efectuó la instalación y configuración en Apache Tomcat con el propósito de establecer la conexión con el GeoServer. Dicha configuración en Apache Tomcat es esencial, dado que posibilita la creación de un servidor local para efectuar la conexión exitosa del GeoServer. Este paso resulta fundamental para la implementación del geoportale.

Figura 37

Servidor local con Apache Tomcat

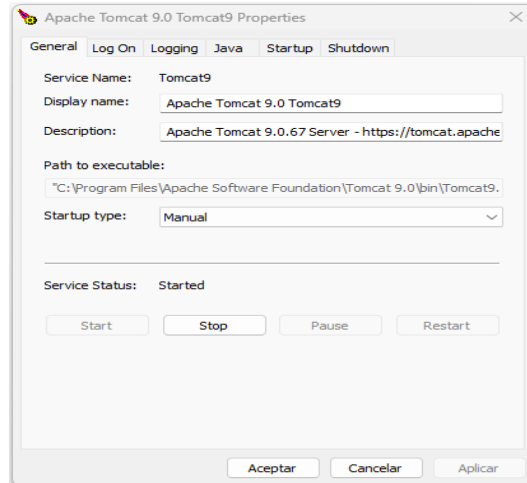
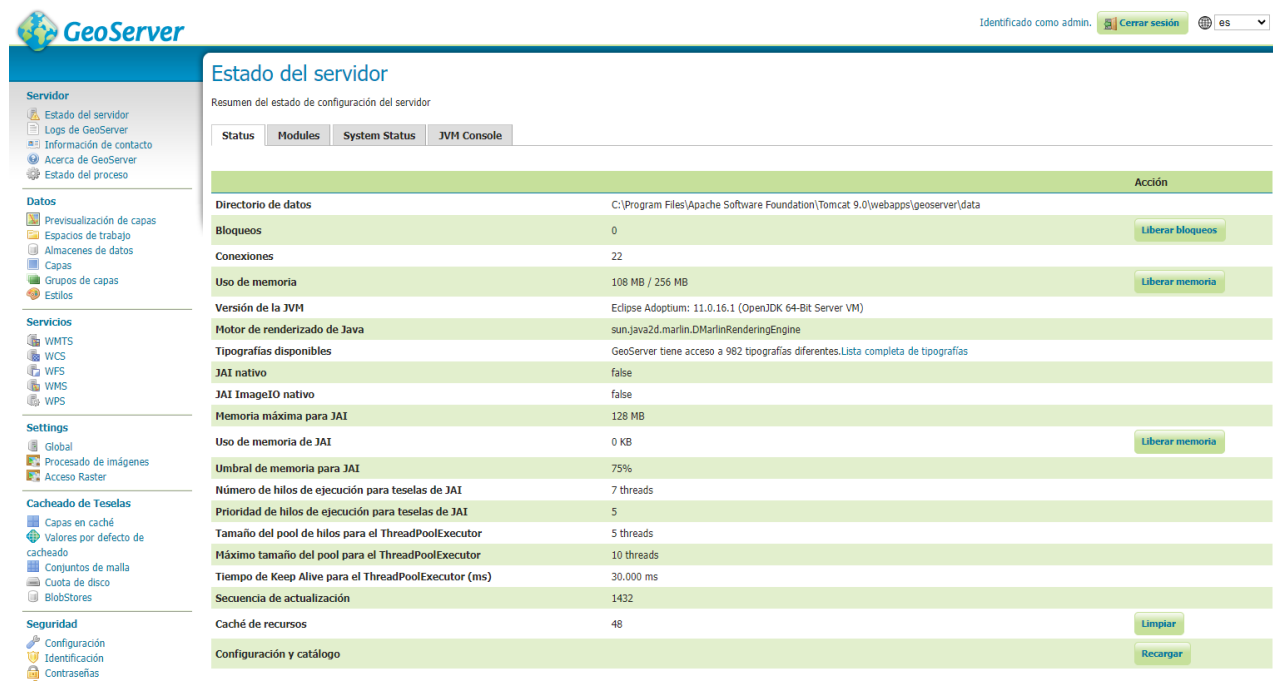


Figura 38

Servidor local en el Geoserver



Dentro de la interfaz de GeoServer, se llevó a cabo la conexión de la base de datos hospedada en PostGIS (ver *Figura 38* y *39*), proceso que fue precedido por la importación de los estilos (ver *Figura 40*) para luego llevar a cabo el vinculamiento entre cada capa y su correspondiente simbología. Este proceso resultó necesario dado que, al cargar la base de datos, las simbologías no son incorporadas automáticamente.

Figura 39

Base de datos de PostGIS importada en el Geoserver como un almacén de datos

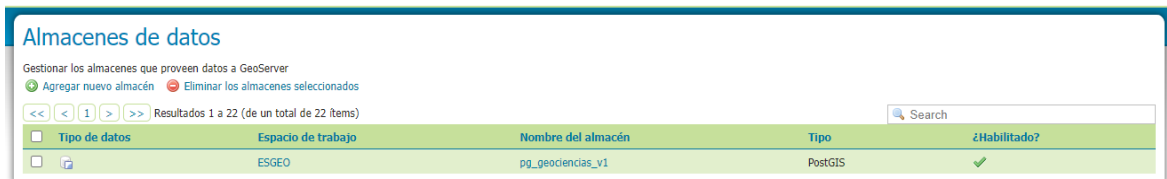


Figura 40

Tablas de la base de datos publicadas en el Geoserver como capas

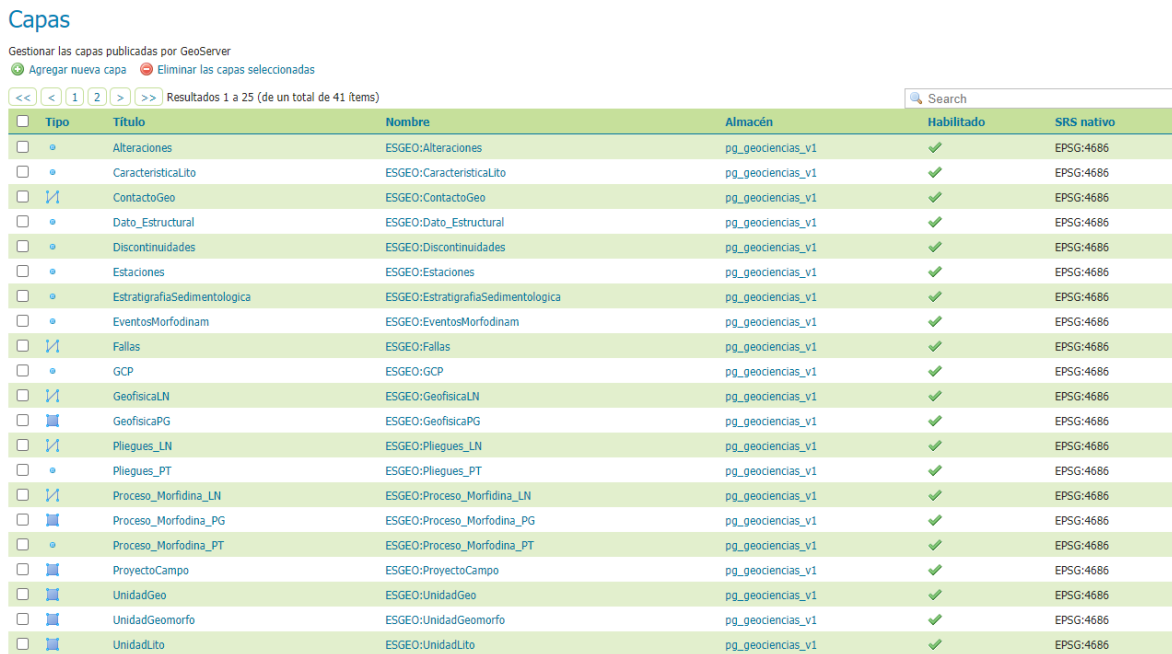
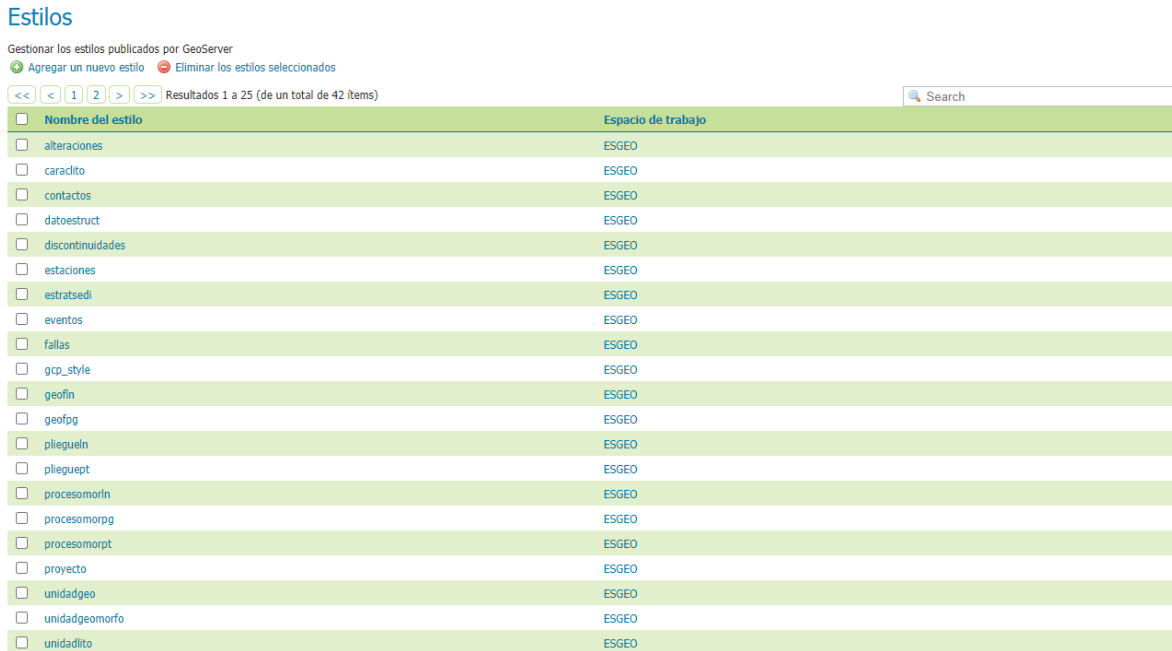


Figura 41

Estilos SLD importados en el Geoserver.

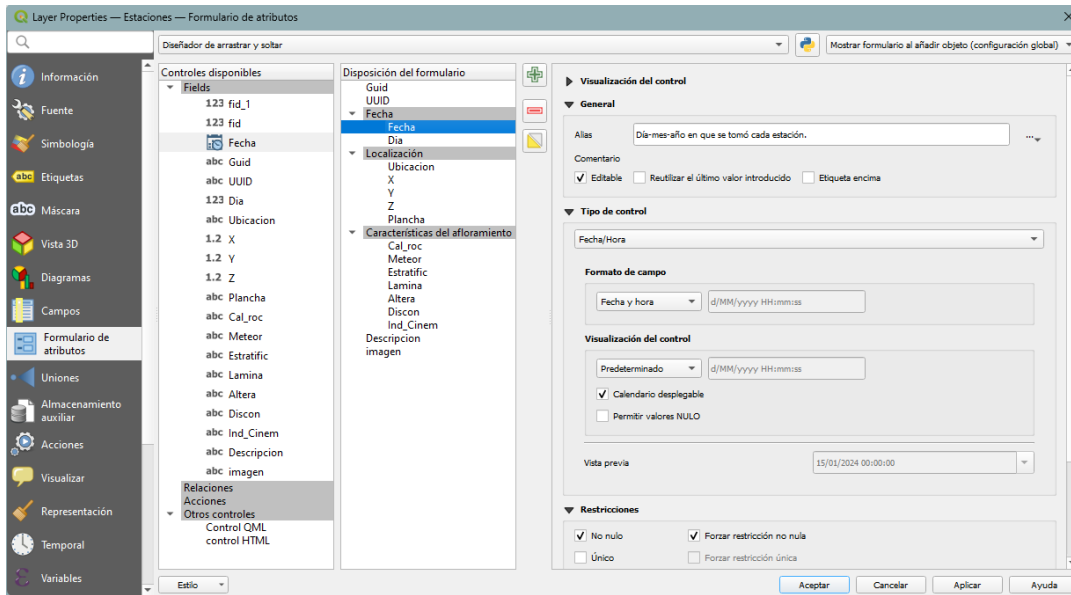


Para abordar la temática de la recolección de datos en el campo, se empleó QField, una aplicación móvil asociada a QGIS que facilita la ejecución de trabajos de campo. Esta aplicación opera como un formulario interactivo que los usuarios pueden completar, y los resultados se almacenan en un repositorio de datos de origen. En este contexto, dicho repositorio corresponde a la base de datos alojada en PostGIS.

La adaptación del esquema destinado a la recolección de datos mediante QField se ejecuta de manera directa en QGIS, específicamente en la sección de “formulario de atributos” dentro de las propiedades de la capa. En esta sección, se detallan los atributos de la capa que participarán en el proceso, brindando la posibilidad de establecer especificaciones relativas al tipo de pregunta asociada con cada dato correspondiente.

Figura 42

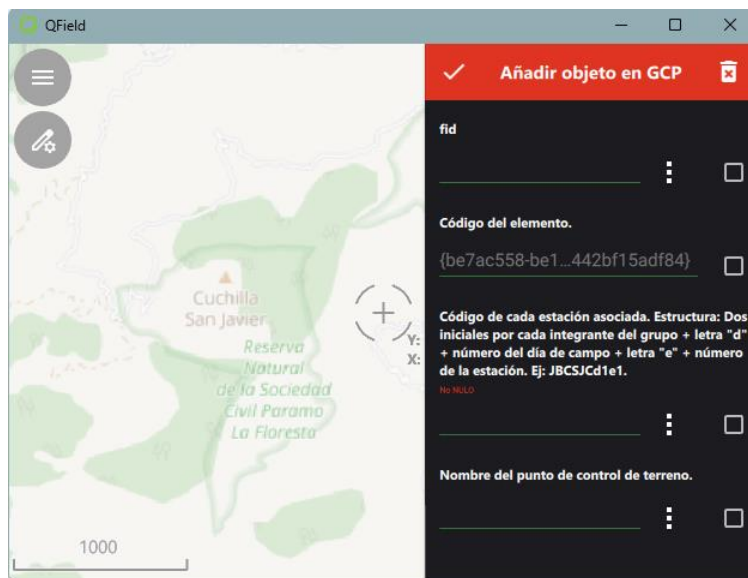
Personalización del formulario de QField en QGIS



Una vez configurado el formato del formulario en todas las capas, se llevó a cabo la instalación del complemento "QFieldSync" en QGIS, el cual facilita el empaquetado de los proyectos en QGIS para QField. Posteriormente, mediante dicho plugin, se procedió a la conversión del proyecto local de QGIS a un proyecto alojado en la nube, estableciendo así la conexión entre el proyecto y la aplicación QField.

Figura 43

Visualización de QField y el formulario correspondiente a la capa de alteraciones



Finalmente, se procedió a la selección de un editor de texto, optando en este caso por Sublime Text. A través del lenguaje JavaScript, se estableció la conexión entre GeoServer y

Leaflet, esta última siendo la librería encargada de la creación de mapas interactivos. Además, se importaron los mapas web disponibles de OpenStreetMap para crear un entorno visual en el cual examinar los datos provenientes de GeoServer. Este proceso culminó con la utilización de HTML para la creación del diseño del geoportal.

Figura 44

Fragmento del código HTML implementado en el diseño del geoportal

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="es">
3 <head>
4   <meta charset="UTF-8">
5   <link rel="stylesheet" href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/
bootstrap/4.5.2/css/bootstrap.min.css">
6   <link rel="stylesheet" href="https://unpkg.com/leaflet@1.9.4/dist
/leaflet.css"
7     integrity="sha256-p4NxAoJBhIIN+hmnHrzRCf9tD/
miZyoHS5obTRR9BMY="
8     crossorigin="" />
9   <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.5.1/
jquery.min.js"></script>
10  <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/popper.js/
1.16.0/umd/popper.min.js"></script>
11
12  <script src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.5.2/js/
bootstrap.min.js"></script>
13  <script src="https://unpkg.com/leaflet@1.9.4/dist/leaflet.js"
14    integrity="sha256-20nQCchB9co0qIjZRGuk2/
Z9VM+kNiyxNV1vTlZBo="
15    crossorigin=""></script>
16  <link rel="stylesheet" href="style.css">
17  <meta name="viewport" content="width=device-width,
initial-scale=1.0">
18  <title>Geoportál ESCUGEO</title>
19 </head>
20

```

El geoportal de código abierto presenta una interfaz sencilla, como se muestra en la *Figura 45*. Destaca un mapa central con la funcionalidad básica de zoom. En el panel lateral izquierdo, se encuentran cuatro opciones que representan las temáticas de la base de datos (Campo, Geomorfología, Geología y Geofísica), permitiendo la visualización de las entidades correspondientes. En la parte inferior, se encuentran tres hipervínculos que redirigen a las páginas institucionales de la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Geología de la UIS (el geoportal no cuenta con información geológica, solamente se incluyen en él datos ficticios necesarios para la definición de la simbología y para la ilustración de las funciones de la interfaz).

Figura 45

Geoportal implementando software libre



Nota. Se puede acceder al geoportal mediante el [link de acceso](#)

5.7. Pruebas de calidad

Se hizo un análisis de los requerimientos de los usuarios para validar el modelo de datos concebido. A lo largo de este proceso, se pudo constatar que la generalización buscada resultó apropiada y que las capas propuestas satisfacían de manera integral las temáticas esenciales requeridas.

La implementación del formulario en ArcGIS Survey123 Connect se materializó durante una campaña de campo, en la cual se observó que el formato inicial del formulario no era suficiente para abordar todas las necesidades de los usuarios y del modelo de datos. Por ende, se incluyó y modificar algunos interrogantes para optimizar la recopilación de datos. Además, se introdujo y diseñó una sección destinada al almacenamiento de material visual, que incluyó fotografías y representaciones gráficas.

El modelo de datos experimentó diversas revisiones antes de alcanzar su versión actual, durante las cuales se llevaron a cabo varios ajustes que se detallarán a continuación:

- Se vio la necesidad de crear la tabla "CaracteristicaLito" dado que la tabla "UnidadLito" anteriormente albergaba también los atributos de la primera, y se determinó que la cantidad

de información era demasiada para ser contenida en una única tabla.

- Inicialmente, la tabla "GCP" estaba definida con un formato tipo línea, concebida como una secuencia de puntos para representar una ruta. Después se estableció con una geometría de tipo punto, destinada a describir puntos de control en el terreno.
- En una versión previa, se habían asignado dominios para la edad geológica de las rocas en la tabla "UnidadGeo", desde los eones hasta las edades. Sin embargo, se concluyó que los términos en la tabla cronoestratigráfica se actualizan constantemente, por lo que se decidió dejar el campo de las edades sin dominio establecido para evitar posibles imprecisiones en el futuro y evitar que las opciones de selección sean demasiado extensas.
- Un escenario similar ocurrió con los nombres de las unidades geológicas y geomorfológicas en las tablas "UnidadGeo" y "UnidadGeomorfo". Se optó por no establecer un dominio para estos campos por la gran cantidad de información disponible.

6. Análisis de Resultados

6.1. Recopilación de la información

El proceso de recopilación se desarrolló de manera sistemática, aprovechando la información y datos de instituciones estatales colombianas clave, como el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Agencia Nacional de Minería (ANM) y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). La accesibilidad a los datos facilitó este primer paso, contribuyendo a la eficiencia del proceso. La inclusión de contenidos de asignaturas de la escuela de geología aportó una dimensión académica valiosa, combinando teoría y práctica. La estructuración clara del modelo de datos y la adhesión a estándares oficiales facilitaron la integración de información, garantizando coherencia y calidad. El enfoque metodológico, alineado con normativas geocientíficas reconocidas, se adaptó hábilmente a los objetivos específicos del proyecto. Este equilibrio entre estándares y necesidades particulares aseguró la relevancia de la información recopilada.

6.2. Desarrollo del modelo de datos y revisión de la información

En virtud de la información previamente recopilada, se agilizó el proceso de creación del modelo de datos. Este enfoque se sustentó en la información obtenida y su validación para la formulación de diversos dominios, considerando distintos marcos de referencia. Como consecuencia, se logró la obtención de las cuatro temáticas presentadas, orientadas a alcanzar una representación cartográfica especializada y distintiva.

6.3. Desarrollo del Geoportal Licenciado

El desarrollo del Geoportal licenciado se ejecutó utilizando el software ArcGIS Experience Builder, proporcionando una interfaz web que permite la creación sin la necesidad de conocimientos de programación. Esta característica simplificó significativamente el proceso de creación, permitiendo la inclusión de diversas herramientas en la interfaz y facilitando la vinculación de la información a la nube para actualizaciones en tiempo real. No obstante, se identificó un inconveniente durante el desarrollo relacionado con las limitaciones en las opciones

de personalización. Este desafío surge debido a la dependencia de la capacidad del software. Aunque la plataforma ofrece una interfaz intuitiva, la restricción en las posibilidades de personalización puede impactar en la adaptación del Geoportal a necesidades específicas.

6.4. Desarrollo del Geoportal Open Source

En la elaboración del Geoportal de código abierto, se llevó a cabo un proceso más extenso en comparación con su contraparte licenciada. Este procedimiento implicó una serie de acciones más detalladas, desde la gestión de datos y la conexión con servidores, hasta el desarrollo de la interfaz web y sus funcionalidades. Cada una de estas fases requirió la aplicación de diversos lenguajes de programación, agregando un nivel significativo de complejidad a la creación del Geoportal. La necesidad de abordar múltiples aspectos, como el almacenamiento de datos y la conexión con servidores, generó desafíos adicionales en términos de coordinación y desarrollo técnico. La diversidad de lenguajes de programación empleados para diferentes componentes del Geoportal incrementó la complejidad operativa y la necesidad de una gestión cuidadosa para asegurar la integración eficiente de cada elemento.

A pesar de la complejidad añadida, la versión de código abierto ofrece una flexibilidad y personalización superiores en comparación con la licenciada. Aunque más laborioso en su implementación, este enfoque puede proporcionar mayores oportunidades para adaptar y optimizar el Geoportal según las necesidades específicas del usuario.

La Tabla 5 presenta una recapitulación de las ventajas y desventajas inherentes al contraste delineado en el proyecto, donde se materializa la implementación de dos infraestructuras y la creación de dos geoportales distintos. Uno de ellos se sustenta en software con licencia, mientras que el otro se basa en herramientas de código abierto.

Tabla 5

Ventajas y desventajas de las opciones de software

	Software Licenciado	Software Libre
Ventajas	<p>Facilidad en el mantenimiento y montaje del geoportal, ya que todo lo necesario es suministrado en la licencia de Esri.</p> <p>Mejores, más diversos y dinámicos recursos visuales para el diseño del geoportal.</p> <p>No requiere conocimiento alguno en programación, todo es muy intuitivo.</p> <p>La implementación conlleva un flujo de trabajo automatizado.</p> <p>Garantía de compatibilidad con las varias herramientas que tiene ArcGIS con el fin de lograr un flujo de trabajo más robusto. Garantía de compatibilidad con las herramientas de ArcGIS para lograr un flujo de trabajo más robusto.</p> <p>Actualizaciones y parches de seguridad regulares proporcionados por Esri, asegurando un entorno estable.</p> <p>Amplia documentación oficial y recursos de formación para facilitar la implementación del flujo de trabajo.</p> <p>Confiabilidad en términos de rendimiento y respuesta.</p>	<p>No implica costos de licencia, siendo una opción más económica.</p> <p>No presenta limitaciones respecto al espacio de almacenamiento.</p> <p>Interoperabilidad.</p> <p>Mayor oferta de opciones al momento de modificar y adaptar el geoportal, ya que se tiene a disposición el código fuente.</p> <p>Puede ser beneficioso en contextos donde la simplicidad en el diseño es prioritaria.</p> <p>Comunidad activa que proporciona soporte, actualizaciones y contribuciones a la mejora continua de las herramientas y aplicaciones.</p> <p>Mayor disponibilidad de extensiones de código abierto para una integración más amplia.</p> <p>Posibilidad de utilizar el geoportal en entornos variados y sistemas operativos sin restricciones.</p>
Desventajas	<p>Costos iniciales y continuos asociados con el licenciamiento. significativos en el licenciamiento. Los costos para adquirir una licencia a nivel personal oscilan los 100\$ dólares y a nivel corporativo puede llegar a los 10.000\$ dólares.</p> <p>Limitado espacio de almacenamiento para la publicación de información (comprende un costo extra).</p> <p>Restricciones en la personalización avanzada y adaptación total de la interfaz del geoportal, debido a la propiedad cerrada del software.</p>	<p>Presenta más complicaciones en el mantenimiento y montaje del geoportal, puesto que requiere la implementación de distintos programas y plataformas.</p> <p>Requiere el manejo de algunos lenguajes de programación como, por ejemplo: SQL y Js.</p> <p>La culminación del proceso de diseño puede demandar un mayor nivel de competencia en programación.</p> <p>Riesgo de escasez de soporte técnico especializado, dependiendo en gran medida de la comunidad.</p> <p>Complejidad inicial en la configuración debido a la</p>

<p>Requiere conocimientos adicionales para emular la interfaz en proyectos de software libre.</p> <p>Posible necesidad de hardware específico para optimizar el rendimiento.</p> <p>Notable complejidad en la implementación del flujo de trabajo automatizado.</p>	<p>diversidad de componentes y plataformas necesarias.</p> <p>Menor garantía en cuanto a actualizaciones y parches de seguridad.</p> <p>Menor confiabilidad en rendimiento y respuesta.</p>
---	---

7. Conclusiones

A través del proceso de agrupación y generalización de los elementos de las libretas de campo, se logró organizar y estructurar la información de manera efectiva. La creación de tablas y modelos permitió una síntesis coherente y sistemática de los datos, facilitando su organización según los diversos ejes temáticos de las asignaturas de la Escuela de Geología.

El diseño del modelo de datos se concibió con la máxima generalidad y especificidad, integrando estándares establecidos por diversas instituciones de reconocido prestigio a nivel nacional. Se procuró impartir conocimiento y brindar orientación a los usuarios respecto al adecuado empleo de la información estandarizada.

El diccionario de datos establece un marco estandarizado para la descripción y definición de los datos geológicos, lo que promueve la adopción de buenas prácticas en su adquisición y administración.

La IDE presentada en el proyecto requiere una revisión y adaptación para operar como una IDE institucional. Ahora, está configurada para funcionar como un proyecto de alcance personal por las limitaciones en conocimiento, recursos humanos y presupuesto. Lamentablemente, no fue posible llevar a cabo una implementación completa del geoportal en este contexto (que tampoco era el objetivo del proyecto).

En el contexto del GeoServer, es imperativo contar con una persona encargada de llevar a cabo actualizaciones regulares en las capas importadas. Esto es esencial para reflejar de manera precisa los cambios asociados a cada nuevo elemento creado, dado que la funcionalidad básica no permite una actualización automática de la información.

En la comparación entre las dos versiones del geoportal, una desarrollada con ArcGIS Experience Builder y otra de código abierto, revela diferencias significativas en cuanto a practicidad y eficacia. La implementación con software licenciado demuestra ser más práctica y efectiva, ya que proporciona una experiencia más completa y amigable para el usuario. Con funciones avanzadas, herramientas interactivas y un diseño más elaborado. Por otro lado, la versión de código abierto, aunque cumple con su propósito, requiere una mayor especialización en el tema para su aprovechamiento completo. Su simplicidad puede ser ventajosa en ciertos contextos, pero puede limitar las posibilidades de usuarios menos familiarizados con la tecnología geoespacial.

La implementación de una IDE se ve limitada por la falta de apoyo y presupuesto, lo que

hace que el proyecto se centre en una propuesta conceptual ejecutada localmente (en localhost). La realización completa de una infraestructura de datos espaciales (IDE) requeriría una colaboración extensa con la escuela de Geología UIS y la asignación de recursos adicionales (económicos, talento humano, etc.). Por lo tanto, la viabilidad de una IDE a escala corporativa está condicionada por la disponibilidad de recursos y la complejidad del proyecto, señalando la necesidad de futuras investigaciones y colaboraciones para su realización.

La actividad fundamental para desarrollar una IDE corporativa en la Escuela de Geología UIS radica en la toma de decisiones clave sobre el ambiente en el que se realizará el proyecto. Si se opta por una IDE de código abierto, el primer paso es asegurar el presupuesto necesario para contratar un dominio donde alojar el geoportal y un servicio para almacenar los datos. Esta actividad requiere tanto recursos financieros como talento humano especializado para su ejecución. Por otro lado, si se elige un ambiente licenciado, se necesitará un presupuesto mayor para cubrir los costos de las licencias corporativas, pero la complejidad técnica puede ser menor. En este caso, es crucial contar con un plan de créditos para almacenar la información funcional en la nube junto con el geoportal. En resumen, la actividad fundamental para desarrollar una IDE corporativa en la Escuela de Geología UIS implica la toma de decisiones sobre el tipo de ambiente a utilizar, asegurando los recursos financieros y humanos necesarios para su implementación.

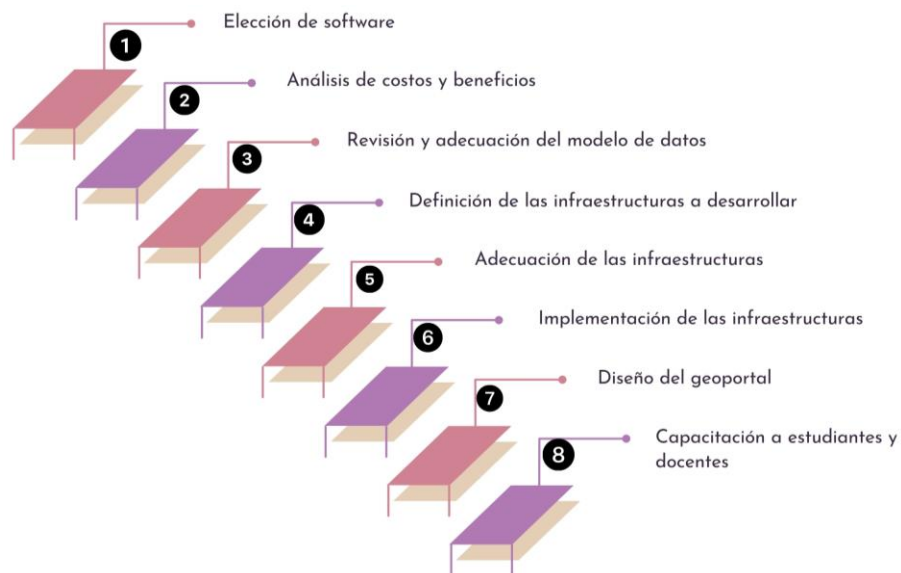
La implementación de una IDE es crucial para la Escuela de Geología UIS debido a la problemática existente: la falta de un repositorio de datos y estandarización de la información geocientífica generada en las salidas de campo. Esta carencia impide aprovechar plenamente los esfuerzos de estudiantes y profesores, así como divulgar los estudios realizados. Una IDE permitiría almacenar, gestionar y compartir eficientemente esta información, fortaleciendo así la reputación académica e impulsando la contribución de la escuela de Geología UIS en los diversos campos de esta ciencia.

Para avanzar en el desarrollo del proyecto, la Escuela de Geología UIS debe seguir una serie de pasos clave. Primero, se requiere decidir el tipo de software, licenciado o de código abierto. Luego, es esencial realizar un exhaustivo análisis de costos y beneficios para evaluar la viabilidad del proyecto. Posteriormente, se debe revisar y ajustar el modelo de datos propuesto, adaptándolo a las necesidades específicas de la escuela. Una vez definidas las infraestructuras necesarias, se procede a su adecuación y posterior implementación. Paralelamente, se desarrolla el diseño del geoportal, considerando la posibilidad de utilizar propuestas existentes o crear una nueva según las

exigencias del proyecto. Finalmente, se lleva a cabo la capacitación tanto para docentes como estudiantes, asegurando así la calidad y eficacia en el manejo de la información almacenada en la IDE. Estos pasos se presentan como fundamentales para garantizar el éxito del proyecto y su integración efectiva en la Escuela de Geología UIS como se observa en la *Figura 46*.

Figura 46

Síntesis del procedimiento a seguir para la implementación del proyecto en la Escuela de Geología



8. Referencias Bibliográficas

- Abarca, Ó., & Bernabé, M. (2015). Propuesta de un modelo conceptual para el desarrollo de una infraestructura de datos espaciales (IDE) orientada a la gestión de estaciones experimentales de investigación, extensión, docencia y producción. *GeoFocus (Informes y Comentarios)*, 8, 1–22.
- Agrawal, S., & Gupta, R. D. (2014). Development and comparison of Open Source based web GIS frameworks on WAMP and Apache Tomcat web servers. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 40(4), 1–5. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-1-2014>
- ANZLIC. (2007). *ANZLIC metadata profile guidelines*. ANZLIC - the Spatial Information Council.
- Apache. (2024). *Apache Tomcat 9*. Documentation Index. <https://tomcat.apache.org/tomcat-9.0-doc/index.html>
- Arias, R. (2017). *Desarrollo de un geoportail utilizando Arcgis Online con datos del área de salud en el Ecuador*.
- Avila, F. (2014). *Desarrollo e implementación de una infraestructura de datos espaciales para gobierno autónomo descentralizado municipal: aplicación particular Cantón Guachapala*.
- Azri, S., Ujang, U., Anton, F., Mioc, D., & Rahman, A. A. (2013). *Review of Spatial Indexing Techniques for Large Urban Data Management*. <https://www.researchgate.net/publication/259633148>
- Bendib, A., Hadda, D., & Mahdi, K. (2016). Application of Webgis in the development of interactive interface for urban management in Batna City. *Journal of Engineering and Technology Research Full Length Research Paper*, 8(2), 13–20. <https://doi.org/10.5897/JETR2015.0579>
- Cerami, Ethan. (2002). *Web services essentials*. O'Reilly.
- Chang, K.-T. (2018). *Introduction to geographic information systems*.
- Chen, P. P.-S. (1976). The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data. In *Database Systems* (pp. 9–36). <https://doi.org/doi:10.1145/320434.320440>
- Date, C. J. (2003). *Introduction to Database Systems* (8th ed.). Pearson.
- De Longueville, B. (2010). Community-based geoportails: The next generation? Concepts and methods for the geospatial Web 2.0. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(4), 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.04.004>
- ESRI. (2009). *ESRI Geoportail Technology*. www.esri.com
- ESRI. (2022). *ArcGIS Experience Builder*.
- Fratila, D. (2016). *Desarrollo de una Infraestructura de Datos Espaciales y Geoportail mediante software libre en el municipio de Villar del Arzobispo*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gaviria, R. (2015). *Implementación de Infraestructuras Tecnológicas (GIS) Geographic Information System, Expresada en “Servicios” como Patrón de Diseño, para el Inventario y Caracterización de*

- Fenómenos de Remoción en Masa y Estabilidad de Taludes en el Área Metropolitana Centro Occidente de Risaralda, Municipios de Pereira y Dosquebradas*. Universidad Autónoma de Bucaramanga.
- GeoSolutions. (2024). *GeoServer*. GeoServer. <https://www.geosolutionsgroup.com/technologies/geoserver/>
- Hernández, O. I. (2013). *Encapsulamiento de datos geoespaciales para interoperabilidad con sistemas de información geográfica basados en la Web*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Heywood, I., Cornelius, S., & Carver, S. (2010). *An introduction to geographical information systems* (4th ed.). Pearson.
- IGAC. (2023, July 12). *Colombia en Mapas*. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/#>
- INSPIRE. (2004). *Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece una Infraestructura de Información Espacial en la comunidad (INSPIRE)*.
- Jiang, H., van Genderen, J., Mazzetti, P., Koo, H., & Chen, M. (2020). Current status and future directions of geoportals. In *International Journal of Digital Earth* (Vol. 13, Issue 10, pp. 1093–1114). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1603331>
- Kommana, K. (2013). *Implementation of a Geoserver application for GIS data distribution and manipulation*. Stockholm University.
- Koshkarev, A. V., Antipov, A. N., Batuyev, A. R., Yermoshin, V. V., & Karakin, V. P. (2008). Geo-portals as part of spatial data infrastructures: Russian Academy-supported resources and geoservices. *Geography and Natural Resources*, 29(1), 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2008.04.005>
- Kroenke, D., & Auer, D. (2010). *Database Concepts* (S. Vandenberg & R. Yoder, Eds.; 9th ed.).
- Kuus, H. (2002). *Interoperability of Geographical Information Systems*.
- Maguire, D. J., & Longley, P. A. (2005). The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(1 SPEC.ISS.), 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.05.012>
- Manosalvas, L. F., & Naranjo, B. F. (2014). *Análisis, rediseño e implementación del geoportal “IDE ESPE”, usando tecnología Primefaces y herramientas open source, para el manejo de infraestructura de datos espaciales de la ESPE, para el Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción - DECTC*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Martínez, J. C. (2015). *Introducción a las IDE y Marco Legal*.
- Melton, J. (2002). *Advanced SQL:1999: Understanding Object-Relational and Other Advanced Features* (1st ed.). Morgan Kaufmann.
- MITECO. (2024). *Servicios de mapas OGC WMTS*. https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/directorio_datos_servicios/servicio_web_teseladas_mapa.html

- Morales, E., Vázquez, J. C., González, J., & Backhoff, M. Á. (2015). *Diseño, conformación y desarrollo del geoportel interno del Consejo de Información y Tecnología Geoespacial-IMT (CITGeo)*.
- Najar, C., Rajabifard, A., Williamson, I., & Giger, C. (2007). *A Framework for Comparing Spatial Data Infrastructures: An Australian-Swiss Case Study*. ESRI Press.
- Naranjo, A. (2013). *Evaluación del rendimiento de los servicios WMS de Mapserver y Geoserver para la implementación IDE*. Escuela Politécnica del Ejército.
- Obe, R. O., & Hsu, L. (2021). *PostGIS in Action* (3rd ed.). Manning.
- OGC. (2024). *Open Geospatial Consortium*. <https://www.ogc.org/>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- PostGIS. (2023, July 12). *PostGIS*. <https://postgis.net/>
- PostgreSQL Global Development Group. (2023, July 12). *PostgreSQL*. <https://www.postgresql.org/>
- Rodríguez, J. de J., & Reyes, M. C. (2015). *Diseño de una base de datos espacial e implementación de un visor web geográfico, utilizando herramientas de software libre para la visualización de las pólizas de estabilidad y calidad de las obras de movilidad que realiza el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rojas, N. M. (2014). *Diseño metodológico para crear Infraestructuras de Datos Espaciales a escala Ciudad-Región en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Sarría, F. A. (2008). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Sayago, J. P. (2015). *Geoportel Web e Infraestructura de Datos Espaciales de la Información del Plan de Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Provincial Del Cañar (Geoportel-IDE-GPC)*, Ecuador.
- Sayar, A., Pierce, M., & Fox, G. (2006). Integrating AJAX approach into GIS visualization Web Services. *Proceedings of the Advanced International Conference on Telecommunications and International Conference on Internet and Web Applications and Services, AICT/ICIW'06, 2006*, 169. <https://doi.org/10.1109/AICT-ICIW.2006.114>
- Shekhar, S., & Xiong, H. (2008). *Encyclopedia of GIS*. Springer.
- Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2002). *Database system concepts* (Cuarta). McGraw-Hill.
- Singh, T., Singh, H., Litoria, P. K., & Pateriya, B. (2018). *Web GIS Development using Open-Source Leaflet and Geoserver Toolkit*. 9(3). <https://www.researchgate.net/publication/326971834>
- Stonebraker, M., & Rowe, L. A. (1986). The design of Postgres. *ACM SIGMOD Record*, 15(2), 340–355. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/16856.16888>
- Tait, M. G. (2005). Implementing geoportels: Applications of distributed GIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(1 SPEC.ISS.), 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2004.05.011>
- Valdez, F. (2014). *Especificación de un marco de trabajo para la implementación de aplicaciones geoespaciales en la WEB*. Instituto Politécnico Nacional.

- Williamson, I. P., Rajabifard, A., & Feeney, M.-E. (2003). *Developing spatial data infrastructures: from concept to reality*. Taylor & Francis.
- Yang, P., Evans, J., Cola, M., Marley, S., Alameh, N., & Bambacus, M. (2007). The emerging concepts and applications of the spatial web portal. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 73(6), 691–698. <https://doi.org/10.14358/PERS.73.6.691>
- Yue, P., & Tan, Z. (2017). GIS Databases and NoSQL Databases. In *Comprehensive Geographic Information Systems* (Vol. 3, pp. 50–79). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09596-8>