



## **Módulo de observación nacional del suelo, caso de estudio Departamento de Cundinamarca**

Juan Sebastian Torres Gutierrez

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Asesor: Luis Alfonso Gutiérrez Castro, Especialista (Esp) en sistemas de información geográfica

Asesores de recursos académicos: Luz Andrea Sepúlveda Escobar (asesora bibliográfica), Claudia Marcela Cerón Rubio (asesora Centro de Escritura) y Elvia Lucía Sánchez García (asesora de integridad académica)

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Especialización en Sistemas de Información Geográfica  
Manizales, Caldas, Colombia

2025

<b>Cita</b>	(Torres Gutierrez, 2025)
<b>Referencia</b>	Torres Gutierrez, J. S. (2025). <i>Módulo de observación nacional del suelo, caso de estudio Departamento de Cundinamarca</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Especialización en Sistemas de Información Geográfica , XXIX

Línea de Investigación Desarrollo de Software.

**Declaración de inteligencia artificial:** el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como (TORRES, 2025) Gemini, entre otras], de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

**Biblioteca y Centro de Recursos:** <https://biblioteca.umanizales.edu.co/>

**Repositorio Institucional:** <http://ridum.umanizales.edu.co/>

**Universidad de Manizales:** [www.umanizales.edu.co](http://www.umanizales.edu.co)

**Revistas:** <http://revistasum.umanizales.edu.co/>

**Fondo Editorial:** <https://editorialum.umanizales.edu.co/>

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

**Tabla de contenido**

Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción .....	11
1 Planteamiento del problema .....	12
1.1 Antecedentes .....	13
2 justificación .....	23
3 objetivos .....	25
3.1 Objetivo general .....	25
3.2 Objetivos específicos .....	25
4 Referente normativo y legal .....	26
5 Referente teórico.....	29
6 Metodología.....	34
6.1 Enfoque metodológico .....	34
6.2 Tipo de estudio.....	35
6.3 Procedimiento .....	36
7 Resultados.....	41
7.1 Arquitectura e Implementación del Sistema .....	41
7.1.1 Integración de Datos y Modelo de Base de Datos Espacial.....	41
7.1.2 Desarrollo del Dashboard y Componentes Visuales.....	43
7.2 Funcionalidades Clave Implementadas.....	43
7.3 Cumplimiento de Requerimientos No Funcionales .....	44
7.4 Presentación Visual del Dashboard .....	45
8 Análisis y Discusión de los Resultados .....	45
8.1 Consideraciones Críticas y Limitaciones .....	46

9	Conclusiones.....	48
10	Recomendaciones .....	49
11	Referencias.....	51

### **Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Estructura de datos por uso de suelos .....	37
<b>Tabla 2.</b> Estructura de datos por capacidad de suelos.....	37
<b>Tabla 3.</b> Estructura de datos por uso de suelos implementada.....	42
<b>Tabla 4.</b> Estructura de datos por capacidad de suelos implementada. ....	42

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Presentación general Dashboard .....	41
<b>Figura 2.</b> Funcionalidades clave .....	44
<b>Figura 3.</b> Presentación Visual del Dashboard .....	45

### Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>CMA</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>CORPOICA</b>	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
<b>DANE</b>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<b>DNP</b>	Departamento Nacional de Planeación
<b>EOT</b>	Esquema de Ordenamiento Territorial
<b>ESRI</b>	Environmental Systems Research Institute
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>GDB</b>	Geodatabase
<b>IDE</b>	Infraestructura de Datos Espaciales
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>IGAC</b>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<b>MADR</b>	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
<b>MADS</b>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
<b>MINCIT</b>	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo
<b>ODS</b>	Objetivos de Desarrollo Sostenible
<b>OGC</b>	Open Geospatial Consortium
<b>PBOT</b>	Plan Básico de Ordenamiento Territorial
<b>PNGS</b>	Política Nacional para la Gestión del Suelo
<b>POT</b>	Plan de Ordenamiento Territorial
<b>REDD+</b>	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques
<b>SIA</b>	Sistema de Información Ambiental

<b>SIAC</b>	Sistema de Información Ambiental de Colombia
<b>SIG</b>	Sistemas de Información Geográfica
<b>SIMCI</b>	Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos
<b>SINA</b>	Sistema Nacional Ambiental
<b>SINAP</b>	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
<b>SINCHI</b>	Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas
<b>SISAC</b>	Sistema de Información de Suelos Agropecuarios de Colombia
<b>SNIT</b>	Sistema Nacional de Información y Trámites
<b>SUT</b>	Subdirección de Suelos y Tierras
<b>UN</b>	Naciones Unidas
<b>UNGRD</b>	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
<b>UPRA</b>	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
<b>WFS</b>	Web Feature Service
<b>WMS</b>	Web Map Service

## Resumen

En busca de potenciar la divulgación, visualización y análisis de información geográfica en el Geoportal "Colombia en Mapas", específicamente en el área agrológica, se busca desarrollar un módulo de observación de suelos; el cual pretende abordar la carencia de herramientas especializadas para el análisis del suelo en el contexto colombiano, en vista del desconocimiento generalizado sobre la utilidad de los datos geoespaciales en la toma de decisiones agrícolas a nivel nacional.

La iniciativa busca superar la limitación existente en la comprensión de las características de las áreas homogéneas de tierra, la geomorfología, la cobertura del suelo y el potencial de uso del suelo. La implementación de este módulo no solo facilitará la generación de insumos específicos para el análisis agrológico, sino que también mejorará la identificación precisa de variables e indicadores claves necesarios para la planificación y toma de decisiones en el sector agrícola.

Este proyecto se enmarca en la necesidad de llenar el vacío tecnológico en el ámbito agrícola colombiano, contribuyendo así a una utilización óptima de la información geográfica para la toma de decisiones. La incorporación de este módulo no solo fortalecerá la eficiencia del sector agrícola, sino que también permitirá enfrentar de manera más efectiva los desafíos actuales, como la variabilidad climática y las demandas cambiantes del mercado. En última instancia, se busca mejorar conciencia y capacidad de gestión de la producción agrícola en Colombia a través de esta herramienta especializada.

*Palabras clave:* Geovisor, suelos, potencial, cobertura.

### **Abstract**

In seeking to enhance the dissemination, visualization and analysis of geographic information in the Geoportal "Colombia on Maps", specifically in the agrological area, we seek to develop a soil observation module; which aims to address the lack of specialized tools for soil analysis in the Colombian context, in view of the generalized lack of knowledge about the usefulness of geospatial data in agricultural decision-making at the national level.

The initiative seeks to overcome the existing limitation in understanding the characteristics of homogeneous areas of land, geomorphology, land cover and land use potential. The implementation of this module will not only facilitate the generation of specific inputs for agrological analysis, but will also improve the accurate identification of key variables and indicators necessary for planning and decision making in the agricultural sector.

This project is framed in the need to fill the technological gap in the Colombian agricultural field, thus contributing to optimal use of geographic information for decision making. The incorporation of this module will not only strengthen the efficiency of the agricultural sector, but will also make it possible to more effectively face current challenges, such as climate variability and changing market demands. Ultimately, the aim is to improve awareness and management capacity of agricultural production in Colombia through this specialized tool.

*Keywords:* Geovisor, soils, potential, coverage.

## Introducción

En la actualidad, el acceso y la divulgación de información geográfica precisa y especializada son fundamentales para la planificación territorial y la toma de decisiones en diversos sectores. En el contexto colombiano, existe una necesidad crítica de potenciar las herramientas de visualización y análisis de datos agrológicos en plataformas de acceso público. El presente trabajo de grado aborda la carencia de un módulo de observación de suelos especializado dentro del Geoportal "Colombia en Mapas", una iniciativa del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Esta limitación impide una comprensión profunda de variables clave como las características de las áreas homogéneas, la geomorfología, la cobertura y el potencial de uso del suelo, lo que dificulta la gestión agrícola sostenible a nivel nacional.

El problema de investigación se centra en el desconocimiento generalizado sobre la utilidad de los datos geoespaciales para el sector agrícola y la falta de herramientas especializadas que permitan a los usuarios generar insumos agrológicos a partir de información geoespacial. Este vacío limita la capacidad de los agricultores, planificadores y tomadores de decisiones para identificar de manera precisa variables e indicadores esenciales para la planificación rural. Por consiguiente, el objetivo general de este proyecto es desarrollar un módulo de observación de suelos que permita la divulgación, visualización y análisis de la información agrológica y ambiental del país.

Para lograrlo, se establecen los siguientes objetivos específicos: diseñar y configurar una base de datos geoespacial de acuerdo con la información cartográfica de suelos del Departamento de Cundinamarca; diseñar e implementar un Geovisor web que integre el módulo de suelos, permitiendo la interacción con la información espacial y la obtención de informes y estadísticas; desarrollar la documentación técnica y manuales de usuario para el correcto uso y administración de la herramienta; y poner a disposición del público la información geoespacial de suelos a través de servicios web (WMS y WFS).

## **1 Planteamiento del problema**

El problema principal radica en la dificultad para acceder, comprender y utilizar eficazmente la información geográfica relacionada con la agrología, específicamente la información de suelos, publicada en el geoportal "Colombia en Mapas" del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi).

Este problema se deriva de la complejidad y la falta de herramientas adecuadas de visualización, divulgación y análisis, lo que limita la capacidad de los usuarios, incluyendo agricultores, investigadores y planificadores agrícolas, para tomar decisiones informadas y estratégicas en relación con el manejo de la tierra y la producción agrícola.

La falta de una interfaz intuitiva y herramientas interactivas en el geoportal obstaculiza la comprensión clara de los datos agrológicos, dificultando la interpretación de patrones y tendencias específicas de los suelos en diferentes regiones de Colombia. Además, la ausencia de guías prácticas y programas de capacitación adecuados limita la capacidad de los usuarios para utilizar plenamente la información disponible, lo que resulta en una subutilización de recursos y un potencial subdesarrollo de prácticas agrícolas sostenibles.

La complejidad técnica y la falta de accesibilidad efectiva a la información geográfica agrícola también afectan la capacidad de los usuarios para realizar análisis detallados y proyecciones precisas sobre la idoneidad de los suelos para diversos cultivos, la gestión de plagas y enfermedades, y la adaptación al cambio climático. Esto puede llevar a decisiones inadecuadas en la planificación de cultivos, el uso de insumos y la adopción de prácticas de manejo del suelo, lo que a su vez puede resultar en una menor productividad, mayores costos operativos y potenciales impactos negativos en el medio ambiente y la seguridad alimentaria.

En el contexto nacional de Colombia, el uso eficiente de los recursos agrícolas y la gestión sostenible de la tierra son temas críticos en el desarrollo económico y social del país. Colombia, como nación con una amplia diversidad geográfica y climática, depende en gran medida de la agricultura como fuente de empleo, ingresos y seguridad alimentaria para una parte significativa de su población. La productividad agrícola efectiva se considera crucial para la reducción de la pobreza y la promoción del desarrollo rural en todo el país.

Dentro del contexto global, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental son preocupaciones crecientes en el contexto de un cambio climático cada vez más evidente. La creciente presión sobre la disponibilidad de tierras cultivables, combinada con la necesidad de aumentar la producción agrícola para alimentar a una población mundial en constante crecimiento, resalta la importancia de una gestión efectiva de los suelos y una agricultura sostenible en todo el mundo.

Los antecedentes de investigaciones relacionadas con la agrología y la gestión de suelos en Colombia han resaltado la importancia de la conservación de la calidad del suelo, la prevención de la degradación y la adopción de prácticas sostenibles para garantizar la productividad a largo plazo. Sin embargo, ha habido una notable brecha en la aplicación efectiva de estos conocimientos y directrices en el terreno, lo que ha resultado en una explotación inadecuada de los recursos agrícolas y ambientales, y en algunos casos, ha contribuido a problemáticas como la erosión del suelo, la contaminación y la disminución de la fertilidad.

## **1.1 Antecedentes**

Una visión general del uso de geoportales y geovisores como entornos colaborativos para la producción, acceso y difusión de información geográfica, destacando el papel de los usuarios como posibles productores de datos geográficos.

La investigación de Riva (2015) presenta tres geovisores web desarrollados para la visualización de datos geoespaciales: Condor, Global Climate Monitor y Gis and Coast. Cada uno posee funcionalidades específicas para la renderización tridimensional, la descarga eficiente de datos y la creación de vistas personalizadas. El visor Gis and Coast, en particular, ha desarrollado funcionalidades de consulta y participación activa que permiten a los usuarios interactuar con el sistema y dar su opinión, siendo útiles en procesos de planificación y gestión costera, así como en proyectos de investigación colaborativa.

El acceso a la información geográfica desempeña un papel esencial en la toma de decisiones de índole espacial, siendo un instrumento indispensable para intervenir con conocimiento de causa en los asuntos públicos. El avance experimentado en el desarrollo del

software de código abierto, Internet y redes de comunicación ha impulsado la expansión de numerosas aplicaciones que permiten el acceso, la difusión e interacción con la información geográfica en la web, incrementando la interoperabilidad y la posibilidad de combinar datos y servicios con independencia de la fuente de producción utilizada, mediante el uso de estándares. Este avance se ha complementado con la revolución producida en las últimas décadas en las fuentes de información territorial, como sensores espaciales, datos aerotransportados, LIDAR, drones, etc., y la aparición de nuevas plataformas de acceso y producción de datos, capaces de describir de forma precisa su localización espacial (Riva, 2015). En este contexto, se destaca la importancia de la participación pública y colaborativa en la visualización y producción de datos geoespaciales, lo que ha llevado a la aparición de una nueva corriente geográfica denominada "neogeografía", vinculada al conjunto de técnicas y herramientas geográficas usadas para actividades personales. Las características de estos geovisores, particularmente la interactividad y la capacidad de descarga de datos, influyen directamente en el diseño del Módulo de Observación Nacional del Suelo al priorizar una interfaz intuitiva y funcionalidades que permitan a los usuarios no solo visualizar, sino también extraer y analizar la información. La interoperabilidad y el uso de estándares OGC (Open Geospatial Consortium) son fundamentales para asegurar que el Módulo pueda integrarse con otras fuentes de datos y servicios geográficos, maximizando su utilidad y escalabilidad (Longley et al., 2015).

En el contexto nacional se desarrolló e implementó un Geovisor para el ordenamiento territorial del municipio de Maceo, Antioquia. Este Geovisor es una herramienta que permite la visualización de información geográfica de forma interactiva y accesible para la comunidad, sin la necesidad de conocimientos previos en software especializados. El objetivo principal de esta herramienta es disponer de toda la información consolidada a disposición de la comunidad, facilitando la toma de decisiones en diferentes sectores estratégicos para el municipio (Mercedes & Peñalosa, 2017). El desarrollo del Geovisor se llevó a cabo a través de la identificación de las necesidades de la población en referencia al acceso a los recursos generados tras la actualización del EOT (Esquema de Ordenamiento Territorial). Se especificaron los requerimientos funcionales y no funcionales para garantizar la operación correcta del Geovisor, así como el diseño de la arquitectura del software, utilizando la metodología de reutilización de componentes para reducir la complejidad y hacer más eficientes los tiempos dispuestos. Dentro del desarrollo del Geovisor,

se incluyeron 24 capas geográficas que recogen la mayor parte de la información relevante para los usuarios, las cuales fueron distribuidas dentro de una organización temática para lograr un mejor entendimiento y comprensibilidad del EOT. Además, se realizó un tratamiento exhaustivo a la información geográfica, decidiendo la disposición que se le dará dentro del Geovisor, incluyendo el diseño temático de cada una de estas. En cuanto a la implementación del Geovisor, se planteó la creación del diagrama de componentes, representando los paquetes necesarios para el desarrollo e implementación del sistema. Se identificaron cuatro componentes necesarios para la implementación del Geovisor: gestión y mantenibilidad de información espacial, visualización de información, diseño básico para la presentación y organización del Geovisor, e interfaz con el usuario. Para la correcta disposición del Geovisor en la web, la visualización fue permitida a través del servidor de aplicaciones WAMP, que posibilitó la ejecución del Geovisor en el navegador, permitiendo la visualización de los parámetros de diseño y funcionamiento establecidos dentro de la arquitectura, desarrollo e implementación del sistema. La experiencia de Maceo, centrada en la accesibilidad para la comunidad y la organización temática de capas, es un referente clave para la estructura del Módulo de Observación Nacional del Suelo. La capacidad de presentar información compleja del suelo (ej., tipos de suelos, uso actual, aptitud, cobertura) de manera simplificada y organizada por temas es fundamental para facilitar la comprensión y la toma de decisiones por parte de usuarios no especializados, como propietarios de predios o gestores locales. Esto se alinea con la gestión predial y catastral, donde la claridad y accesibilidad de la información cartográfica y alfanumérica es crucial (Delgado & Mora, 2019).

Dentro de la difusión web de datos, se desarrollaron geovisores web para la difusión de datos de erosión en playas andaluzas, centrándose en la adaptación de la información geográfica a distintas escalas y en la satisfacción de las necesidades de usuarios con diferentes niveles de especialización (Ojeda Zújar et al., 2015) La investigación se enmarca en el contexto del intenso desarrollo de sistemas y aplicaciones de geovisualización en los últimos años, que han facilitado el acceso y la difusión de información geográfica en la web, así como la combinación de datos y servicios mediante el uso de estándares (Ojeda Zújar et al., 2015) Se destaca la importancia de los geovisores web como herramientas esenciales para la difusión de resultados de proyectos de investigación, así como para la toma de decisiones en la gestión ambiental y la concienciación de la sociedad sobre los impactos de la erosión costera (Ojeda Zújar et al., 2015). El estudio presenta

dos estrategias de geovisualización para la difusión de datos de erosión en playas andaluzas: un geovisor para usuarios genéricos y un geovisor para usuarios especializados. El geovisor para usuarios genéricos ofrece funcionalidades de navegación, consulta y organización de la información, siendo una herramienta efectiva para la difusión de la información a usuarios con perfil menos especializado. Por otro lado, el geovisor para usuarios especializados proporciona grandes posibilidades para la exploración interna de los datos, su interpretación y la generación de nuevas hipótesis (Ojeda Zújar et al., 2015). En cuanto a la implementación técnica, se utilizan servicios OGC generados por Geoserver, así como otras herramientas como Leaflet y OpenLayers 3 para el desarrollo de los geovisores. Se destaca la capacidad de Geoserver para aplicar filtros sobre las peticiones a los servicios mediante el parámetro `CQL_FILTER`, lo que permite generar cartografías a demanda (Ojeda Zújar et al., 2015). Considerando que el Módulo de Observación Nacional del Suelo busca servir a una amplia gama de usuarios, desde la academia y entidades gubernamentales (usuarios especializados) hasta la comunidad en general y propietarios de predios (usuarios genéricos), la interfaz de la aplicación se diseñará con múltiples niveles de interactividad. Esto implicará una visualización sencilla para usuarios básicos y herramientas de análisis espacial avanzadas para profesionales. La capacidad de filtrar datos a demanda, como se logra con `CQL_FILTER`, será esencial para permitir a los usuarios especializados realizar consultas complejas sobre las propiedades del suelo o cambios en la cobertura.

En la visualización de imágenes, se presenta un enfoque basado en multi-boosting para detectar peatones en imágenes panorámicas de alta resolución, con el fin de difuminar sus rostros para preservar la privacidad en visores geográficos a nivel de calle. Este enfoque combina detectores de rostros y cuerpos con un algoritmo de detección de tono de piel (Brédif et al., 2009). Los resultados muestran una tasa de detección del 86.2% con un promedio de 2 detecciones falsas por imagen. La combinación de los detectores proporciona resultados más robustos que cada algoritmo de detección realizado de forma independiente. Si el Módulo de Observación Nacional del Suelo incorpora o gestiona datos que pudieran contener información sensible o privada (por ejemplo, imágenes de predios con elementos identificables, datos personales asociados a la gestión predial, o información detallada sobre uso del suelo que pudiera inferir actividades privadas), métodos para la anonimización o difuminación de datos geoespaciales serán relevantes. Esto

asegura el cumplimiento de normativas de protección de datos y garantiza la privacidad, aspecto crítico en la gestión de la información geográfica y catastral (Braidt & Loidl, 2021).

Desde 2002, se ha proporcionado información detallada sobre "GeoViewer", un software de visualización espacial que ha sido utilizado en una variedad de aplicaciones, desde la gestión de datos ambientales hasta la predicción meteorológica y la gestión de emergencias. El "GeoViewer" se destaca por su capacidad para integrar datos espaciales en aplicaciones de toma de decisiones, permitiendo la representación dinámica de objetos y la visualización de datos en tiempo real. Además, el "GeoViewer" ha sido utilizado en aplicaciones portátiles y de mano, lo que lo hace adecuado para su implementación en una amplia gama de dispositivos informáticos, desde computadoras portátiles hasta dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas (Knoblock, 2002). El software "GeoViewer" ha sido utilizado en el desarrollo de sistemas de gestión de datos e información, como el NABIR Data and Information Management System (NADIMS), diseñado para compartir datos entre investigadores en el programa de Investigación de Bioremediación Natural y Acelerada (NABIR) del Departamento de Energía de los Estados Unidos (Knoblock, 2002). Asimismo, el "GeoViewer" ha sido empleado en el desarrollo de sistemas de análisis y predicción meteorológica, como el Global Theater Weather Analysis and Prediction System (GTWAPS), que proporciona información meteorológica y oceanográfica para mejorar el despliegue efectivo de fuerzas armadas. "GeoViewer" ha demostrado ser una herramienta versátil y adaptable, capaz de integrarse con otros entornos de desarrollo y ser implementado en aplicaciones web a través de navegadores habilitados para Java. Esto permite que los usuarios accedan a datos espaciales y realicen consultas a través de Internet, lo que amplía significativamente las posibilidades de uso y acceso a la información geoespacial (Brajnik & Montanari, 2012). En el contexto de la investigación, "GeoViewer" ofrece una base sólida para la visualización y gestión de datos espaciales relacionados con la agricultura y la gestión de suelos. Su capacidad para representar dinámicamente objetos espaciales y su integración con sistemas de gestión de datos. La versatilidad de "GeoViewer" y su capacidad para integrar y visualizar datos espaciales dinámicamente son características esenciales que el Módulo de Observación Nacional del Suelo buscará emular. Esto es particularmente importante para la representación de datos complejos del suelo, como los cambios en el uso, la erosión o la aptitud agrícola, que requieren una visualización interactiva y en tiempo casi real. La capacidad de acceder a estos datos desde

diferentes dispositivos (móviles, tabletas) es crucial para fomentar la adopción y la utilidad del módulo en el trabajo de campo y la toma de decisiones in situ, una ventaja significativa para ingenieros y gestores del suelo (ESRI, 2022).

En la presentación de datos en tiempo real, Jung & Issa (2015) describen el desarrollo de un geovisor en tiempo real para monitorear los impactos de desastres utilizando mensajes de redes sociales basados en la ubicación en Twitter. El objetivo principal del geovisor es mejorar la conciencia situacional en la respuesta a desastres, recuperación y gestión de emergencias. Comienza discutiendo la importancia de la conciencia situacional en la respuesta a desastres y cómo la recopilación de mensajes de redes sociales en tiempo real puede ayudar a mejorarla. Se mencionan varios ejemplos de cómo se han utilizado los mensajes de redes sociales en situaciones de emergencia, como el terremoto de Haití en 2010, el tifón Haiyn en Filipinas en 2013 y los brotes de ébola en África occidental en 2014 (Jung & Issa, 2015). El geovisor utiliza bibliotecas y bases de datos de programación de código abierto para visualizar y consultar tweets basados en la ubicación desde una base de datos NoSQL y proporciona funciones de mapeo interactivo y consulta espacial (Jung & Issa, 2015). Se describen las funciones clave del geovisor, como la visualización de mensajes de redes sociales en tiempo real, la identificación de áreas de alto riesgo y la protección de la privacidad del usuario mediante la función de enmascaramiento geográfico. También se describe el desarrollo del prototipo inicial del geovisor durante el incendio forestal de San Diego en 2014 y cómo se realizó el análisis espaciotemporal en el estudio. Si bien el Módulo de Observación Nacional del Suelo no está primariamente enfocado en desastres, la metodología de análisis espaciotemporal y la visualización de datos en tiempo real que se observan en este antecedente son altamente relevantes. Para la observación del suelo, esto podría traducirse en el monitoreo continuo de cambios en la cobertura del suelo, la detección de eventos de erosión o movimientos en masa, o la actualización de indicadores de calidad del suelo. La capacidad de integrar y analizar flujos de datos continuos sería una característica avanzada del módulo, permitiendo una "conciencia situacional" sobre la salud y el uso del suelo en Cundinamarca (Li et al., 2020).

En cuanto a la interacción de los datos con los usuarios, (Visner et al., 2021) analiza los patrones de incendios forestales en Nueva Gales del Sur, Australia, durante los últimos 100 años.

Utiliza técnicas de análisis espacial y visualización interactiva para crear un panel de control basado en GIS que permite monitorear los cambios espaciales y temporales de los puntos calientes de incendios forestales. El estudio se basa en la premisa de que los incendios forestales son un problema importante en Australia, especialmente en Nueva Gales del Sur, donde los incendios forestales son una amenaza recurrente para la vida humana, la propiedad y la biodiversidad. El estudio señala que los incendios forestales son causados por una combinación de factores naturales y humanos, como el clima, la topografía, la vegetación y la actividad humana. Por lo tanto, es importante comprender los patrones espaciales y temporales de los incendios forestales para desarrollar estrategias efectivas de prevención y gestión de incendios (Visner et al., 2021). El estudio utiliza datos de incendios forestales de la base de datos de incendios forestales de Nueva Gales del Sur, que contiene información sobre los incendios forestales que ocurrieron en el estado desde 1915 hasta 2015. Los datos se procesaron y analizaron utilizando técnicas de análisis espacial y visualización interactiva para identificar patrones espaciales y temporales de los incendios forestales. Los resultados del estudio mostraron que los incendios forestales en Nueva Gales del Sur han aumentado en frecuencia y magnitud en las últimas décadas. (Visner et al., 2021) también identificó patrones espaciales de incendios forestales, como la concentración de incendios forestales en áreas con una alta densidad de vegetación y la influencia de la topografía en la propagación de los incendios forestales. Además, (Visner et al., 2021) muestra cómo los patrones de incendios forestales han cambiado a lo largo del tiempo, con un aumento en la frecuencia de incendios forestales en los meses de verano y una disminución en los meses de invierno. La metodología de análisis espacial y los paneles de control interactivos utilizados para monitorear patrones de incendios forestales son directamente aplicables a la observación del suelo. Su Módulo podría utilizar un enfoque similar para visualizar y analizar patrones de cambio en el uso del suelo, la degradación, la erosión o la salinización a lo largo del tiempo en Cundinamarca. La identificación de "puntos calientes" de cambio o degradación del suelo, y la correlación con factores como la topografía, el clima o la actividad humana, es fundamental para la toma de decisiones en gestión del suelo y planificación territorial (Buzai & Baxendale, 2010).

Respecto a la estructuración de tableros de control, Lombana (2014) realiza una propuesta para la implementación de un tablero de control en el programa de control de efluentes industriales de la EAB-ESP utilizando la aplicación Operations Dashboard for ArcGIS. El objetivo principal

de esta propuesta es prevenir daños al sistema de alcantarillado y estructuras de tratamiento mediante la identificación de fuentes potenciales de contaminación. Las características clave de la aplicación Operations Dashboard for ArcGIS se centran en la visualización de datos, para crear paneles de control interactivos y personalizados en forma de gráficos, tablas, mapas y otros elementos visuales. Dispone de widgets personalizables, que proporcionan una amplia gama de widgets predefinidos que se pueden personalizar según las necesidades del usuario. Estos widgets permiten mostrar información en tiempo real, realizar consultas, filtrar datos y realizar análisis espaciales. La integración de datos para conectar y visualizar datos de diferentes fuentes (bases de datos, servicios web, archivos CSV, entre otros) facilita la integración de datos de diferentes sistemas y fuentes en un solo panel de control. El análisis en tiempo real permite la toma de decisiones basadas en información actualizada, lo que es especialmente útil en situaciones donde se requiere monitorear y responder rápidamente a cambios o eventos en el campo (Lombana, 2014). Operations Dashboard for ArcGIS es una herramienta poderosa para visualizar y analizar datos en tiempo real. Las capacidades de ArcGIS Dashboards son centrales para el diseño de la interfaz de usuario y la visualización de datos del Módulo de Observación Nacional del Suelo. La posibilidad de integrar múltiples fuentes de datos (vectoriales y ráster), personalizar widgets para presentar indicadores clave (porcentaje de cobertura vegetal, índices de erosión, clasificación de aptitud del suelo) y permitir análisis en tiempo real, es crucial para proporcionar una herramienta de monitoreo y toma de decisiones ágil y robusta para la gestión del suelo en Cundinamarca (ESRI, 2023).

Respecto al análisis del catálogo de datos ráster, (Agudelo, s.f.) pretende incorporarlo al geovisor del Departamento de Sistemas de Información Geográfica, Análisis y Estadística. Por medio de la implementación de los SIG, se busca brindar a los usuarios de los diferentes municipios del departamento de Cundinamarca herramientas para optimizar diferentes labores y complementar los proyectos que puedan presentarse en el departamento. Para integrar esta información se desarrolla un catálogo de datos ráster, que cuenta con datos de fotografías aéreas, imágenes satelitales y modelos de terreno, los cuales fueron procesados y estructurados para la mejor implementación y servicio por parte de los usuarios. Dado su manejo de información ráster (ERDAS) y su experiencia en la generación de cartografía e interpretación de fotografías aéreas y satelitales, la gestión y el catálogo de datos ráster serán pilares fundamentales de la base de datos

para el Módulo del Suelo. Un catálogo robusto no solo facilita el acceso a imágenes y modelos de terreno, sino que también garantiza la calidad y la trazabilidad de la información, lo que es esencial para análisis de teledetección precisos sobre la cobertura, uso y degradación del suelo a lo largo del tiempo (Lillesand et al., 2015).

Finalmente, para la integración de datos, (Newman et al., 2023) exponen los resultados de un índice de transferencia de toxinas en un tablero de ArcGIS. Se presenta un método para integrar las salidas del índice con otras plataformas de visualización y análisis de datos utilizando los Dashboards de Environmental Systems Research Institute (ESRI) como software de destino. El objetivo de la investigación es mejorar la comprensión de las plataformas y soluciones integradas habilitadas digitalmente. El flujo de trabajo propuesto se puede ajustar y aplicar a diferentes ciudades, municipios y departamentos para identificar y visualizar problemas espaciales específicos y los factores primarios relacionados con estas amenazas. La metodología utilizada en la investigación consistió en varios pasos que se realizaron para integrar los resultados del índice de transferencia de toxinas en un tablero de ArcGIS. Inicialmente, se utilizó software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para realizar cálculos espaciales y determinar la extensión de cada variable en un distrito del censo específico. Se consideraron variables como vacantes, características de salud, vulnerabilidad social, tierras industriales, superficies impermeables y zonas inundables. Los datos relevantes de cada variable se seleccionaron, se simplificaron y se unieron con el shapefile correspondiente al distrito del censo de EE. UU. Posteriormente, se convirtió la extensión espacial de cada variable en un porcentaje para cada distrito del censo. Para la reclasificación de datos espaciales a escala de distritos del censo, se mostraron en ArcGIS Desktop y se accedieron más fácilmente a través de la aplicación web ToxPi\*GIS. Esta aplicación permitió una mayor flexibilidad en la visualización y análisis de los datos. En el cálculo del índice de transferencia de toxinas, utilizando el software ToxPi\*GIS, se aplicó el índice de transferencia de toxinas (TMI) a los datos de los distritos del censo. Este índice tuvo en cuenta las variables tomadas en la reclasificación de datos para evaluar la vulnerabilidad relativa de cada distrito a la transferencia de toxinas durante eventos de inundaciones. Para la preparación de los datos para el tablero de ArcGIS, se agregaron coordenadas X y a la tabla de puntuaciones del TMI para permitir la visualización espacial de los resultados. Los datos también se prepararon para su posterior visualización en el tablero de ArcGIS. En el desarrollo y visualización, la aplicación web

ToxPI\*GIS permitió la visualización espacial de los datos del TMI. Cada "pie" representó la vulnerabilidad relativa de un distrito del censo a la transferencia de toxinas durante una inundación. Estos "pies" se mostraron dinámicamente en un mapa dentro del distrito correspondiente. Finalmente, la integración de los resultados del TMI en los tableros de ArcGIS Dashboard. Estos tableros proporcionaron herramientas interactivas y capacidades de análisis para explorar y comprender mejor los datos del TMI. Dada su experiencia en avalúos, gestión predial, vías e hidrocarburos, la integración y visualización de índices de riesgo o vulnerabilidad, similar al TMI, es altamente aplicable al Módulo de Observación del Suelo. Se podrían desarrollar índices de degradación del suelo, riesgo de desertificación, vulnerabilidad a la erosión o aptitud para ciertos usos agrícolas, combinando múltiples variables geoespaciales (pendientes, tipos de suelo, cobertura vegetal, historial de uso). La visualización de estos índices a nivel predial o municipal a través de un dashboard interactivo permitiría a los usuarios identificar zonas prioritarias para intervención y apoyar la toma de decisiones en la planificación del uso del suelo y la gestión de riesgos ambientales (FAO, 2020).

## 2 justificación

La implementación de un módulo de observación de suelos en el geoportal "Colombia en Mapas" del IGAC se justifica en base a las limitaciones identificadas en la divulgación, visualización y análisis efectivo de la información geográfica agrológica. La falta de herramientas de visualización adecuadas dificulta la interpretación de los datos agrológicos, limitando así la comprensión clara de las características del suelo en distintas regiones y departamentos de Colombia. Además, la accesibilidad y usabilidad limitadas de la plataforma restringen el acceso efectivo a la información, afectando la toma de decisiones informadas por parte de agricultores y planificadores agrícolas.

La carencia de interactividad y herramientas de análisis avanzado también supone un obstáculo importante para la evaluación detallada de las características del suelo y la implementación de prácticas agrícolas eficaces. Esta limitación impide realizar análisis profundos y proyecciones precisas sobre la gestión adecuada de los suelos, lo que puede resultar en una menor productividad y un uso ineficiente de los recursos agrícolas. Adicionalmente, la escasez de recursos educativos y de capacitación, limita la comprensión y el uso efectivo de la información disponible, lo que conduce a una subutilización de la plataforma y un subdesarrollo potencial en la aplicación de estrategias basadas en la información agrológica en Colombia.

Ante estas limitaciones, la implementación de un módulo de observación de suelos, complementado con una guía detallada de uso, permitirá un acceso mejorado a datos geoespaciales precisos y actualizados sobre la calidad y características del suelo. Esto posibilitará a los agricultores y planificadores agrícolas realizar una planificación de cultivos más precisa y estratégica, seleccionando cultivos adecuados para cada tipo de suelo y maximizando el rendimiento de las cosechas. Además, la disponibilidad de información detallada del suelo facilitará la gestión óptima de recursos, permitiendo un uso más eficiente de fertilizantes y otros insumos agrícolas, lo que reducirá los costos y el impacto ambiental.

Asimismo, la integración de herramientas de análisis espacial avanzado en el módulo de observación de suelos permitirá una evaluación más precisa de la capacidad de la tierra para diferentes tipos de cultivos, lo que fomentará una gestión más eficiente de la tierra y una planificación más efectiva de la producción agrícola. Esta mejora en la gestión de la tierra se traducirá en un uso más sostenible de los recursos naturales y una mayor resiliencia ante los

desafíos ambientales y climáticos, promoviendo así la sostenibilidad a largo plazo del sector agrícola.

Además, al proporcionar información clara y detallada sobre la calidad del suelo, el módulo ayudará a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones agrícolas, permitiendo a los usuarios tomar medidas preventivas y correctivas de manera oportuna. Esto conducirá a una mayor estabilidad en la producción agrícola, una mejor gestión de riesgos y una mayor confianza en las decisiones tomadas.

Este enfoque integral tiene como objetivo fomentar el uso de la información Geoespacial Brajnik & Montanari (2012), al promover una comprensión más profunda y significativa de la información agrológica. Se busca empoderar a los agricultores y planificadores agrícolas con herramientas y el conocimiento necesario para tomar decisiones informadas y estratégicas en la gestión de sus cultivos, promoviendo así el desarrollo sostenible y la eficiencia en el sector agrícola colombiano. La integración de tecnologías de análisis espacial avanzado no solo mejorará la eficiencia en la producción agrícola, sino que también fomentará la adopción de prácticas a largo plazo y la conservación de recursos naturales, contribuyendo así al desarrollo económico y social sostenible en el sector agrícola colombiano.

### **3 objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar un módulo de observación de suelos en línea con el propósito de mejorar la divulgación, visualización y análisis de la información geográfica publicada en el Geoportal "Colombia en Mapas" en el Departamento de Cundinamarca, implementado desde Arcgis online por medio de la herramienta "Dashboards".

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Realizar la identificación de variables y la selección de indicadores relevantes para el análisis de la información agrológica, considerando factores como : áreas homogéneas de tierra, geomorfología, cobertura de la tierra y el potencial de uso de los suelos entre otros elementos clave para la producción agrícola sostenible en diversas regiones de Colombia.
- Diseñar e implementar una interfaz interactiva y amigable por medio de la herramienta "Dashboards".para la visualización y divulgación de datos geoespaciales agrológicos en el Geoportal "Colombia en Mapas", que permita a los agricultores y planificadores agrícolas explorar de manera efectiva las características del suelo en el Departamento de Cundinamarca a nivel municipal en Colombia.
- Implementar una guía didáctica para el uso del módulo, aplicación de herramientas de procesamiento y contextualización de variables e indicadores establecidos, esto con el fin de facilitar y promover la comprensión y aplicación efectiva del módulo de observación para la información agrológica publicada en geo portal "Colombia en Mapas".

#### 4 Referente normativo y legal

Para desarrollar un módulo de observación de suelos en línea con el propósito de mejorar la divulgación, visualización y análisis de la información geográfica en el Geoportal "Colombia en Mapas" en el Departamento de Cundinamarca, implementado desde ArcGIS Online mediante la herramienta "Dashboards", es esencial considerar los siguientes referentes normativos y legales:

El marco normativo y legal en Colombia es un pilar fundamental para la validez, operatividad y sostenibilidad de cualquier sistema de información geográfica relacionado con la gestión territorial, como el Módulo de Observación Nacional del Suelo. El cumplimiento de estas regulaciones no solo asegura la legalidad del proyecto, sino que también garantiza la calidad, interoperabilidad y el acceso público a la información, aspectos cruciales para la toma de decisiones informadas en el ordenamiento territorial y la gestión de recursos naturales. Es fundamental realizar una revisión detallada de la normativa aplicable, tanto a nivel nacional como local, para garantizar el cumplimiento de las regulaciones en el desarrollo e implementación del módulo de observación de suelos. Además, se debe tener en cuenta cualquier actualización normativa que pueda surgir durante el proceso de desarrollo del proyecto.

**Ley 99 de 1993 - Normas para el Uso Sostenible de Recursos Naturales y Creación del SINA:** Este marco normativo crucial en Colombia establece las normas para el uso sostenible de los recursos naturales y la protección del medio ambiente, y crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Su enfoque integral busca armonizar el desarrollo económico con la conservación de la biodiversidad, influyendo directamente en iniciativas agrícolas y la gestión del suelo. La ley proporciona un marco legal para promover prácticas agrícolas respetuosas con el entorno, alentando la eficiencia en el uso de recursos y la mitigación de impactos ambientales. El Módulo de Observación Nacional del Suelo contribuye directamente a los objetivos de la Ley 99 al proporcionar herramientas para el monitoreo continuo de la degradación del suelo, los cambios en la cobertura vegetal y la identificación de áreas vulnerables. Esto facilita la implementación de políticas de uso sostenible, la zonificación ambiental y la planificación de intervenciones para la recuperación de suelos degradados, apoyando la gestión integral del territorio (Congreso de la República de Colombia, 1993).

**Decreto 2811 de 1974 - Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente:** Este decreto reglamenta el uso del suelo en Colombia, definiendo categorías de clasificación de tierras y estableciendo normas para su utilización. Es fundamental para el desarrollo agrícola al proporcionar criterios claros sobre la aptitud de las tierras para diversas actividades. Influye directamente en el diseño y la planificación de proyectos agrícolas, asegurando la utilización adecuada del suelo y contribuyendo a la sostenibilidad a largo plazo. El Módulo de Observación del Suelo, a través de la visualización de datos de aptitud de uso del suelo y la generación de cartografía temática, será una herramienta clave para verificar el cumplimiento de este decreto. Permitirá identificar usos del suelo no conformes con las clasificaciones establecidas y evaluar la vocación y limitaciones de los suelos, información esencial para la gestión predial y la planificación agrícola sostenible (Presidencia de la República de Colombia, 1974).

**Ley 1687 de 2014 - Por la cual se adopta la política de Estado para el desarrollo de actividades en materia de Geografía, Cartografía, Geomática y sus Ciencias afines:** Esta ley establece las normas para la actividad cartográfica en Colombia, regulando la producción, almacenamiento y difusión de información geográfica. En el contexto de desarrollo de módulos de observación de suelos, esta ley garantiza la calidad y la accesibilidad de la información geoespacial (Brajnik & Montanari, 2012). Facilita la integración de datos cartográficos en herramientas como Dashboards, fortaleciendo la toma de decisiones informada y la divulgación efectiva. El Módulo de Observación Nacional del Suelo, al generar y consumir información geoespacial, se adhiere rigurosamente a los estándares y lineamientos de producción y difusión establecidos por la Ley 1687 de 2014. Esto asegura la interoperabilidad de los datos con otras plataformas de la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE) y garantiza la calidad y confiabilidad de la información del suelo, desde la captura (teleobservación) hasta la visualización y análisis por parte del usuario final (Congreso de la República de Colombia, 2014; IGAC, 2015).

**Decreto 1279 de 2002 - Por el cual se reglamenta la actividad cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC):** Este decreto complementa la Ley 1687 (anteriormente el Decreto 2113 de 1992, que fue derogado por la Ley 1687, sin embargo, las funciones del IGAC se mantienen y se refuerzan), detallando las funciones y responsabilidades del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en la actividad cartográfica. En el contexto del desarrollo de módulos

geoespaciales, este decreto proporciona pautas específicas sobre el manejo y la publicación de datos cartográficos, asegurando la coherencia y la calidad de la información utilizada en el Geoportal "Colombia en Mapas". El Módulo de Observación Nacional del Suelo se alinea con las pautas del Decreto 1279 de 2002 (y las responsabilidades del IGAC ratificadas en la Ley 1687 de 2014) al integrar sus datos y servicios con el Geoportal "Colombia en Mapas". Esta adhesión asegura que la información de suelos generada o visualizada a través del Módulo cumpla con los estándares técnicos y de calidad establecidos por la máxima autoridad cartográfica en Colombia, garantizando su validez oficial y su utilidad para procesos catastrales, de avalúos y de planificación territorial (Presidencia de la República de Colombia, 2002; IGAC, 2015).

## 5 Referente teórico

Este marco conceptual proporciona una guía integral para el desarrollo del módulo de observación de suelos, asegurando una integración efectiva en el Geoportal "Colombia en Mapas" para mejorar significativamente la divulgación, visualización y análisis de la información geográfica en el área agrológica.

**Información Geoespacial:** Se refiere a cualquier dato o información que está vinculado a una ubicación geográfica específica. Esto puede incluir coordenadas geográficas (latitud, longitud), mapas digitales, imágenes satelitales, datos de límites administrativos, datos climáticos, entre otros. La información geoespacial es fundamental para comprender y analizar fenómenos geográficos, tomar decisiones informadas y desarrollar aplicaciones relacionadas con la ubicación (Brajnik & Montanari, 2012).

**Agricultura:** Es el conjunto de actividades relacionadas con el cultivo de la tierra y la producción de alimentos, fibras, energía y otros productos agrícolas. Incluye prácticas como la siembra de cultivos, el manejo de suelos, el control de plagas, la gestión del agua y la aplicación de tecnologías para mejorar la productividad y sostenibilidad agrícola.

**Tecnologías Geoespaciales:** Son herramientas y técnicas que se utilizan para adquirir, procesar, analizar y visualizar datos geográficos. Esto puede incluir sistemas de información geográfica (SIG), sensores remotos (como satélites y drones), tecnologías de posicionamiento global (GPS), realidad aumentada, entre otras. Estas tecnologías son fundamentales para la gestión y toma de decisiones en diferentes campos, incluyendo la agricultura.

**Geoportales:** Son plataformas en línea que proporcionan acceso a información geoespacial a través de internet (Brajnik & Montanari, 2012). Permiten a los usuarios visualizar mapas, realizar consultas, analizar datos, colaborar en proyectos geoespaciales y acceder a herramientas específicas para sus necesidades. Los geoportales son una forma eficiente de compartir y distribuir información geográfica.

**Experiencia del Usuario (UX):** Es el conjunto de sensaciones, emociones y percepciones que tiene un usuario al interactuar con un producto, servicio o sistema. En el contexto de los geoportales, la experiencia del usuario (UX) es crucial para garantizar que la plataforma sea intuitiva, fácil de usar, eficiente y satisfactoria para los usuarios, lo que aumenta su adopción y uso. Para el Módulo de Observación Nacional del Suelo, una UX bien diseñada es fundamental para su

éxito, especialmente para usuarios con diferentes niveles de conocimiento en SIG o ingeniería. Un diseño intuitivo que facilite la navegación y la interacción con los datos del suelo, independientemente de la complejidad de la información, fomentará su adopción y utilidad práctica por parte de ingenieros civiles, gestores prediales y la comunidad en general. Esto se alinea con la importancia de una interfaz clara en los geoportales, como se menciona en el análisis de navegación de geoportales (Hochsztain et al., 2012).

**Visualización de Datos:** Consiste en representar datos de manera visual para facilitar su interpretación y análisis. En el ámbito geoespacial, la visualización de datos incluye la creación de mapas temáticos, gráficos, infografías, modelos 3D y otras formas de presentación que ayudan a comunicar información geográfica de manera efectiva

**Análisis de Datos Agrológicos:** Es el proceso de recopilación, procesamiento y análisis de datos relacionados con la agricultura y la ciencia del suelo. Esto puede incluir datos sobre la composición del suelo, condiciones climáticas, rendimientos de cultivos, uso de fertilizantes, plagas y enfermedades, entre otros. El análisis de estos datos permite tomar decisiones informadas para mejorar la productividad y sostenibilidad agrícola.

**Capacitación GIS:** Se refiere al proceso de formación y adquisición de habilidades en el uso de sistemas de información geográfica (GIS). Incluye aprender a utilizar herramientas GIS, realizar análisis espaciales, interpretar datos geoespaciales y aplicar técnicas GIS en diferentes contextos, como la agricultura, el medio ambiente, la planificación urbana, entre otros.

**Concienciación GIS:** Se refiere a la sensibilización y difusión del conocimiento sobre la importancia y el uso de los sistemas de información geográfica (GIS) en diversos ámbitos. Esto incluye educar a la comunidad, empresas, instituciones y organizaciones sobre las aplicaciones y beneficios de las tecnologías geoespaciales para la toma de decisiones y la gestión de recursos.

**Sostenibilidad de Geoportales:** Se refiere a la capacidad de los geoportales para mantenerse operativos, eficientes y relevantes en el tiempo. Esto implica considerar aspectos como la actualización de datos, la seguridad de la información, la optimización de recursos, la accesibilidad para diferentes usuarios y la integración de nuevas tecnologías y funcionalidades.

**Adaptabilidad de Datos en el Tiempo:** Hace referencia a la capacidad de los datos geoespaciales y los sistemas que los gestionan para adaptarse a cambios, actualizaciones y evolución en el tiempo. Esto incluye mantener la integridad de los datos, la compatibilidad con

diferentes plataformas y estándares, y la capacidad de incorporar nuevas fuentes de información y tecnologías emergentes.

**Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Son sistemas computacionales diseñados para capturar, almacenar, gestionar, analizar y visualizar datos geoespaciales. Los SIG permiten la integración de información de diversas fuentes, realizar análisis espaciales, generar mapas temáticos y apoyar la toma de decisiones en múltiples áreas, incluyendo la agricultura.

**Sensores Remotos:** Es una técnica que consiste en la adquisición de información sobre objetos o fenómenos sin necesidad de contacto directo. En el contexto geoespacial, el sensoramiento remoto se utiliza para obtener datos e imágenes de la superficie terrestre mediante sensores montados en satélites, aviones o drones.

**Modelado de Datos Geoespaciales:** Es el proceso de representar la realidad geográfica mediante modelos matemáticos y computacionales. Incluye la creación de modelos digitales de elevación (DEM), modelos de uso del suelo, modelos hidrológicos, modelos de contaminación, entre otros, que permiten simular y analizar diferentes escenarios espaciales.

**Interoperabilidad de Datos:** Se refiere a la capacidad de diferentes sistemas y plataformas para intercambiar, compartir y utilizar datos de manera efectiva. En el contexto geoespacial, la interoperabilidad permite la integración de información de múltiples fuentes y la colaboración entre diferentes usuarios y organizaciones.

**Estándares de la Información Geográfica:** Son normas y especificaciones que establecen la estructura, formato y contenido de los datos geoespaciales para garantizar su calidad, consistencia, compatibilidad y reutilización. Ejemplos de estándares incluyen ISO 19115 para metadatos, OGC (Open Geospatial Consortium) para servicios web geoespaciales (WMS, WFS, WCS), y formatos como Shapefile, GeoJSON, entre otros.

**Tecnologías Web GIS y Desarrollo de Aplicaciones en Geoportales:** Estas tecnologías se refieren al uso de herramientas y plataformas basadas en la web para la creación, gestión y visualización de información geoespacial (Brajnik & Montanari, 2012). Incluyen tecnologías como HTML, CSS, JavaScript para el desarrollo de interfaces de usuario en geoportales, así como frameworks y bibliotecas específicas para el desarrollo de aplicaciones GIS en entornos web, como Leaflet, OpenLayers, Mapbox, entre otros.

**Gestión de Información Agrícola:** Es el proceso de recopilación, almacenamiento, análisis y distribución de datos relacionados con la actividad agrícola. Esto abarca información

sobre cultivos, suelos, condiciones climáticas, prácticas de manejo agrícola, rendimientos, costos, entre otros aspectos relevantes para la gestión eficiente de las explotaciones agrícolas.

**Agricultura de Precisión:** Es un enfoque agrícola basado en la utilización de tecnologías geoespaciales y de información para gestionar de manera precisa y eficiente los recursos agrícolas, como la siembra, riego, aplicación de fertilizantes y control de plagas. La agricultura de precisión permite optimizar los rendimientos, reducir costos y minimizar el impacto ambiental.

**Monitorización de Cultivos:** Consiste en el seguimiento y análisis continuo de los cultivos a lo largo de su ciclo de crecimiento. Esto incluye la observación de parámetros como el estado fenológico, salud de las plantas, requerimientos hídricos, presencia de enfermedades o plagas, con el fin de tomar decisiones informadas para su manejo y cuidado.

**Gestión de Riesgos:** En el contexto agrícola, se refiere a la identificación, evaluación y mitigación de posibles riesgos que puedan afectar la producción agrícola, como eventos climáticos extremos, enfermedades de los cultivos, fluctuaciones en los precios de los productos, entre otros. La gestión de riesgos busca minimizar las pérdidas y optimizar la resiliencia de las explotaciones agrícolas.

**Especificaciones Técnicas de Productos Geográficos:** Son requisitos y criterios técnicos establecidos para la producción y distribución de productos geográficos, como mapas, ortofotos, modelos digitales de elevación, entre otros. Incluyen aspectos como la resolución espacial, precisión, formato de archivo, metadatos asociados, proyecciones cartográficas, entre otros.

**Calidad de la Información Geográfica:** Hace referencia a la fiabilidad, precisión, actualidad, consistencia y relevancia de los datos geoespaciales. La calidad de la información geográfica es fundamental para garantizar la toma de decisiones correctas y la generación de productos cartográficos confiables y útiles para los usuarios.

**Calidad en los Servicios GIS:** Se refiere a la calidad de los servicios basados en tecnologías GIS, como la disponibilidad, velocidad de respuesta, interoperabilidad, precisión y confiabilidad de los resultados que ofrecen. La calidad en los servicios GIS es esencial para garantizar una experiencia positiva para los usuarios y la efectividad de las aplicaciones geoespaciales.

**Infraestructura de Datos Espaciales (IDE):** Es un conjunto de recursos, normas, políticas y procedimientos que permiten la gestión, acceso, integración y uso eficiente de datos geoespaciales a nivel nacional, regional o local. Las IDE son fundamentales para la coordinación

y colaboración entre diferentes actores en el ámbito geoespacial, así como para promover la interoperabilidad y la reutilización de datos.

**Metadatos Geográficos:** Son información descriptiva y contextual que acompaña a los datos geoespaciales y permite su interpretación y utilización adecuada. Incluyen información sobre la fuente de datos, fecha de creación, autor, proyección cartográfica, precisión, escala, entre otros detalles relevantes para entender y gestionar la información geográfica.

**Catálogos de Metadatos:** Son repositorios o bases de datos que almacenan y organizan metadatos geoespaciales de manera estructurada y accesible. Los catálogos de metadatos facilitan la búsqueda, descubrimiento y uso de datos geográficos, proporcionando información clave sobre la disponibilidad y características de los recursos geoespaciales.

**Normativas de la Información Geográfica:** Son normas, leyes, regulaciones y políticas que establecen los requisitos legales y técnicos para la gestión, uso y difusión de información geográfica. Estas secciones normativas pueden incluir estándares de calidad, protección de datos, acceso público, derechos de autor, entre otros aspectos relacionados con la información geoespacial (Brajnik & Montanari, 2012).

## 6 Metodología

Con el objetivo de crear un módulo de observación de suelos que mejore la divulgación, visualización y análisis de la información geográfica en el Geoportal "Colombia en Mapas" para el área agrológica, se seguirá una metodología integral. Esta metodología se caracteriza por un enfoque iterativo y adaptativo, que permite la retroalimentación constante y la integración de las lecciones aprendidas en cada fase del desarrollo, garantizando así una solución robusta y alineada con las necesidades del usuario final.

### 6.1 Enfoque metodológico

El desarrollo del módulo web de observación del suelo se llevará a cabo mediante un enfoque interdisciplinario que abarca diversas áreas clave para asegurar la integridad y eficacia del proyecto. Las disciplinas fundamentales involucradas incluyen:

**Análisis de Requisitos y Especificaciones:** Implicando la comprensión a fondo de los objetivos específicos del módulo y la identificación de requisitos funcionales (qué debe hacer el sistema) y no funcionales (cómo debe funcionar, en aspecto como rendimiento y seguridad). Esto implica el análisis de documentos existentes y flujos de trabajo actuales para definir con precisión las funcionalidades esperadas del módulo y los criterios de rendimiento.

**Diseño de Interfaz de Usuario (UI) y Experiencia del Usuario (UX):** Centrado en el usuario, este componente asegura que el módulo sea intuitivo, fácil de usar y visualmente atractivo. Se aplicarán principios de diseño centrado en el usuario (UCD) y heurísticas de usabilidad (como las de Jakob Nielsen). El objetivo es asegurar una interacción fluida y eficiente, que minimice la curva de aprendizaje y maximice la satisfacción al navegar, consultar y analizar la información del suelo.

**Gestión de Datos Geospaciales:** La integración de datos agrológicos desde diversas fuentes, incluyendo el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Geoportal "Colombia en Mapas", asegurando su correcta transformación y carga. Esto implicará la implementación de estrictos controles de calidad de los datos y la aplicación de estándares de metadatos geospaciales (ISO 19115) para garantizar la interoperabilidad, la trazabilidad y la reusabilidad de la información. Se dará especial atención a la gobernanza de los datos en el contexto de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) para asegurar su consistencia y acceso.

**Desarrollo y Programación:** Incluye la implementación del diseño del módulo, utilizando lenguajes de programación y frameworks adecuados para aplicaciones web geoespaciales. Esto abarca la codificación de la lógica del negocio, la conectividad con la base de datos geoespacial y la integración con las herramientas de visualización como ArcGIS Dashboards.

**Pruebas y Optimización:** Esta etapa garantiza la calidad y el rendimiento del módulo, desde pruebas de funcionalidad (verificando que cada característica opere según lo esperado) hasta la evaluación de rendimiento (asegurando que el módulo cargue y responda de manera eficiente). Se realizarán pruebas unitarias, de integración y de sistema, para validar que el módulo cumple con los requisitos funcionales y no funcionales. La optimización incluirá el ajuste de consultas a la base de datos, la mejora del rendimiento de la visualización y la escalabilidad de la aplicación.

**Capacitación y Soporte:** Para asegurar la adopción y el uso efectivo del módulo, se desarrollarán materiales de capacitación (manual de usuario). Estos materiales y sesiones se diseñarán considerando los diferentes perfiles de usuario (desde el usuario final hasta el administrador) y se complementarán con documentación clara y eficaz.

## **6.2 Tipo de estudio**

El presente proyecto se enmarca dentro de una investigación cuantitativa aplicada. Este tipo de estudio se centra en la recolección y análisis de datos numéricos para describir, explicar y predecir fenómenos. En el contexto de este proyecto, se aplicará para mejorar la divulgación, visualización y análisis de la información agrológica en el Geoportal "Colombia en Mapas", utilizando métodos estadísticos y técnicas geoespaciales. Este enfoque es particularmente pertinente dado que el proyecto busca generar resultados medibles y cuantificables en términos de mejora de la divulgación y el análisis, como, por ejemplo, el rendimiento del módulo, la eficiencia en la consulta de datos y el impacto en la toma de decisiones. La naturaleza de los datos agrológicos, predominantemente numéricos y clasificatorios (como la capacidad de uso del suelo), se presta óptimamente para el análisis estadístico y la representación cartográfica y gráfica.

### 6.3 Procedimiento

El desarrollo del módulo de observación de suelos se llevará a cabo a través de un procedimiento estructurado en tres fases principales, cada una con actividades y metodologías específicas para asegurar la consecución de los resultados deseados:

#### **Fase 1: Identificación de variables y selección de indicadores**

Esta fase inicial se enfoca en la preparación exhaustiva de la información fundamental que alimentará el módulo. La actividad principal se centra en la adquisición, revisión, análisis y selección de datos agrológicos clave para el Departamento de Cundinamarca.

#### **Procedimientos Detallados:**

**Recopilación de datos fuente:** Se realizará una rigurosa revisión y adquisición de la clasificación de capacidad de uso de los suelos del (IGAC, 2015) a escala 1:100.000, la cual se basa en el sistema de clasificación de suelos de los Estados Unidos y ha sido adaptada para Colombia. Se incluirán datos de condición climática, forma del terreno, material parental, relieve, características del suelo y uso potencial.

**Limpieza y Preprocesamiento de Datos:** Se utilizarán herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como ArcGIS Pro para inspeccionar la integridad espacial y atributiva de las capas. Se aplicarán scripts desarrollados en Python para automatizar la limpieza de inconsistencias, la estandarización de formatos y la validación de la topología de los datos geográficos, asegurando que la información sea precisa y compatible con el modelo de datos propuesto.

**Definición de Indicadores:** Se establecerán los indicadores agrológicos relevantes que serán visualizados y analizados en el módulo, basándose en la disponibilidad de datos y las necesidades de los usuarios (capacidad de uso, principales limitantes, recomendaciones de manejo).

**Resultado de la Fase 1:** Un conjunto de datos agrológicos limpios, estandarizados y estructurados, listos para ser integrados en una base de datos geográfica robusta, y con las variables clave definidas para la observación del suelo.

A continuación, se presentan las estructuras de datos que guiarán la organización de la información:

**Tabla 1.** Estructura de datos por uso de suelos

<b>Variable</b>	<b>Tipo de Datos</b>	<b>Descripción</b>
Condición Climática	Texto	Define el tipo de clima (seco)
Forma del Terreno	Texto	Describe la forma superficial del terreno (cóncavo)
Material Parental	Texto	Tipo de roca o material del que se deriva el suelo.
Relieve	Texto	Describe las características del relieve del terreno (plano)
Características del Suelo	Texto	Propiedades físicas y químicas del suelo (textura)
Uso Potencial	Texto	Uso agrícola recomendado para el suelo.

Nota. Datos elaborados por el autor.

También se integró la información de la capacidad de suelos, que representa la clasificación por Capacidad de Uso de las tierras, escala 1:100.000, publicado en el año 2014. Suministra información importante acerca del recurso suelo, a través de la determinación de las potencialidades y limitaciones de uso de las tierras a partir del análisis de las características de los suelos. Se definen las unidades cartográficas de capacidad de uso de la tierra con sus respectivos componentes: Clase, Subclase, Grupo de manejo, Principales Limitantes y Prácticas de Manejo.

**Tabla 2.** Estructura de datos por capacidad de suelos.

<b>Variable</b>	<b>Tipo de Datos</b>	<b>Descripción</b>
Clase	Texto	Categoría general de la capacidad de uso del suelo (Clase I, Clase II).
Subclase	Texto	Subdivisión de la clase, basada en la naturaleza de la limitación principal (limitación por erosión).
Grupo de Manejo	Texto	Agrupación de suelos con respuestas similares a las prácticas de manejo.

Principales Limitantes	Texto	Identifica los factores principales que restringen el uso del suelo, tales como problemas de erosión, drenaje deficiente, toxicidad, baja fertilidad, o condiciones climáticas adversas. Se utilizan códigos específicos ('e' para erosión, 'w' para exceso de agua) para indicar la naturaleza de la limitación.
Prácticas de Manejo	Texto	Medidas o técnicas recomendadas para el uso sostenible del suelo.

Nota. Datos elaborados por el autor.

A través de los datos tomados de la información geográfica de la capa de usos y capacidad de suelo podemos obtener una comprensión profunda de las características de los suelos, su distribución espacial y su aptitud para diferentes usos. Recopilando y organizando datos detallados sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, así como información sobre el uso actual de la tierra. Se procede a la fase dos.

## **Fase 2 Integración y estructuración de datos:**

Esta fase se centra en la construcción de la base de datos geoespacial y la realización de análisis que permitan derivar información valiosa para la observación del suelo. La actividad principal se centra en integrar y estructurar los datos seleccionados en una base de datos geográficos que permita realizar el análisis espacial y visualizar la información de manera gráfica.

**Procedimientos Detallados:** Diseño e Implementación de la Geodatabase: Se utilizará una geodatabase, debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos geoespaciales, garantizar la integridad espacial, soportar consultas complejas y su robustez para entornos de producción. El proceso de Extracción, Transformación y Carga (ETL) de los datos se diseñará cuidadosamente, utilizando scripts de Python (con librerías como `psycopg2` y `geopandas`) para automatizar la migración de los datos preprocesados desde las fuentes iniciales hacia el esquema de la geodatabase, asegurando la consistencia y la optimización para el rendimiento.

**Análisis Exploratorio de Datos (EDA) Geoespaciales:** Se realizará un análisis exploratorio de los datos para identificar patrones y tendencias subyacentes. Esto implicará la creación de mapas temáticos que muestran la distribución espacial de las diferentes clases de suelo, así como el cálculo de estadísticas descriptivas (promedios, desviaciones estándar, rangos) para

resumir las características de los suelos. Se utilizarán herramientas de análisis estadístico espacial de ArcGIS Pro para visualizar distribuciones, detectar anomalías y comprender la variabilidad espacial de los atributos del suelo.

**Técnicas de Análisis Espacial:** Además, se aplicarán técnicas de análisis espacial para identificar relaciones entre variables y patrones espaciales más complejos que informen la toma de decisiones. Esto incluirá la aplicación de análisis de superposición (overlay analysis) para combinar capas de información (uso actual del suelo con capacidad de uso para identificar conflictos) y análisis de autocorrelación espacial (Hot Spot Analysis) para identificar conglomerados significativos de propiedades o limitantes específicas del suelo.

**Resultado de la Fase 2:** Una base de datos geográfica optimizada y poblada, con datos agrológicos estructurados y validados, y la generación de nueva información espacial derivada de análisis complejos, lo cual es fundamental para las funcionalidades avanzadas del módulo.

### **Fase 3: Representación y evaluación**

Esta fase final se enfoca en la visualización y la interpretación de los resultados del análisis de datos agrológicos, haciendo que la información sea accesible y comprensible para los usuarios. La actividad principal es evaluar la capacidad de uso de los suelos y representarla mediante elementos visuales interactivos dentro del módulo.

**Procedimientos Detallados:** Evaluación de la Capacidad de Uso del Suelo: Se utilizará la clasificación ya establecida para representar la aptitud de los suelos, incluyendo sus usos recomendados, las prácticas de manejo necesarias y la influencia de las condiciones climáticas. Esta evaluación no solo mostrará la vocación del suelo, sino también sus limitaciones.

**Diseño y Configuración de la Visualización:** La representación de cada una de las entidades y sus atributos se realizará a través de elementos visuales interactivos. Se diseñarán gráficos circulares para mostrar proporciones de uso o capacidad de forma clara; tablas de datos dinámicas para presentar información detallada y atributos específicos que el usuario pueda consultar; y gráficos de serie para visualizar.

**Implementación en ArcGIS Dashboards:** Toda esta visualización se implementará utilizando las capacidades interactivas de ArcGIS Dashboards. El Dashboard se conectará a los

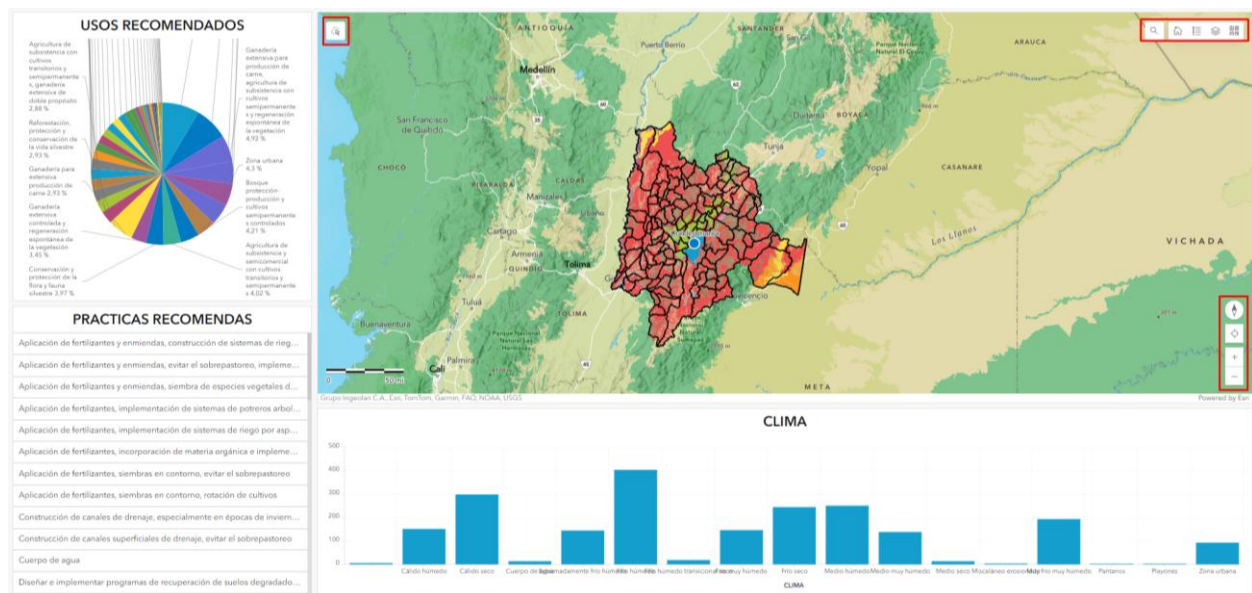
servicios geográficos publicados desde la geodatabase PostgreSQL/PostGIS (vía ArcGIS Server) para asegurar la carga en tiempo real de los datos y permitir a los usuarios filtrar, consultar y explorar la información de manera intuitiva y personalizada.

**Resultado de la Fase 3:** Un módulo de observación de suelos funcional y altamente interactivo dentro del Geoportal "Colombia en Mapas", que proporciona una plataforma eficiente para la divulgación, visualización y análisis de la información agrológica, facilitando la toma de decisiones informadas en la planificación y gestión del suelo en Cundinamarca.

## 7 Resultados

El desarrollo de este proyecto culminó en la creación de un dashboard de observación de suelos para el Geoportal "Colombia en Mapas", una herramienta web interactiva diseñada para mejorar significativamente la divulgación, visualización y análisis de información agrológica en el Departamento de Cundinamarca. Este dashboard representa un avance fundamental en la disponibilidad y accesibilidad de datos georreferenciados para la toma de decisiones en el ámbito agrícola y la planificación territorial. La plataforma integra diversas tecnologías y fuentes de datos, resultando en un sistema robusto con una interfaz de usuario intuitiva y funcionalidades avanzadas.

**Figura 1. Presentación general Dashboard**



Nota. Mapa elaborado por el autor.

Se incluyen botones como: selección por lazo, buscador de entidades, vista general, leyenda, visualizador de capas, mapas bases, brújula, geoubicación y zoom.

### 7.1 Arquitectura e Implementación del Sistema

La consecución del dashboard de observación de suelos se materializó a través de la implementación de una arquitectura de sistema geoespacial que integra componentes clave para la gestión, procesamiento y visualización de datos.

#### 7.1.1 Integración de Datos y Modelo de Base de Datos Espacial

La base del sistema es un robusto sistema de gestión de bases de datos espaciales, diseñado para almacenar y gestionar de manera eficiente la información agrológica georreferenciada. La información principal corresponde a la clasificación por capacidad de uso de los suelos del Instituto

Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2015), a escala 1:100.000, un criterio imprescindible para la planificación territorial y la reducción del uso irracional del suelo. Esta clasificación, adaptada a partir de la metodología de Estados Unidos con más de cinco décadas de experiencia, establece las restricciones y potencialidades biofísicas de las tierras colombianas. Los datos fueron exitosamente integrados y estructurados conforme a los siguientes modelos de información implementados en la geodatabase:

**Tabla 3.** Estructura de datos por uso de suelos implementada

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Condición Climática	Describe el clima predominante en la zona donde se encuentra el suelo (cálido húmedo, frío seco, etc.).
Forma del Terreno	Indica la morfología del terreno (lomas, valles, planicies, etc.).
Material Parental	Especifica el material original del cual se formó el suelo (rocas, depósitos aluviales, etc.).
Relieve	Describe las características del relieve del terreno (plano, ondulado, escarpado, etc.).
Características del Suelo	Detalla las propiedades físicas y químicas del suelo, como la profundidad, textura, estructura, drenaje, etc.

Nota. Datos elaborados por el autor.

**Tabla 4.** Estructura de datos por capacidad de suelos implementada.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
Clase	Agrupar los suelos según su grado general de limitaciones y riesgos. Los suelos de clase 1, por ejemplo, tienen las menores limitaciones y son los más adecuados para la agricultura intensiva, mientras que los de clase 8 son los de mayores limitaciones.
Subclase	Proporciona una subdivisión más detallada dentro de cada clase, considerando factores como el clima, la pendiente o la erosión. Por ejemplo, una subclase "c" podría indicar una limitación climática.
Grupo de Manejo	Define las prácticas de manejo más adecuadas para cada tipo de suelo, considerando las limitaciones identificadas en las clases y subclases.

Principales Limitantes	Identifica los factores principales que restringen la capacidad de uso del suelo, tales como problemas de erosión (e), exceso de agua (w), toxicidad (t), baja fertilidad (f), o condiciones climáticas adversas (c). Estos códigos son cruciales para entender la naturaleza de la limitación.
Prácticas de Manejo	Se enumeran las prácticas recomendadas para mitigar las limitaciones y optimizar el uso del suelo, como la rotación de cultivos, el control de la erosión, el riego, etc.

Nota. Datos elaborados por el autor.

### 7.1.2 Desarrollo del Dashboard y Componentes Visuales

El dashboard fue desarrollado utilizando ArcGIS Dashboards, una interfaz intuitiva y visual que permite crear paneles de control personalizados y atractivos. Esta herramienta se destaca por su flexibilidad y facilidad de uso, permitiendo conectar diversas fuentes de datos y ofrecer una amplia gama de opciones de visualización. La implementación incluyó el diseño y configuración de widgets interactivos, como mapas, gráficos circulares y de barras, y tablas de datos, que están dinámicamente vinculados a los datos agrológicos integrados. El sistema está optimizado para manejar grandes volúmenes de datos y responder rápidamente a las interacciones del usuario.

## 7.2 Funcionalidades Clave Implementadas

El dashboard de observación de suelos ofrece una amplia gama de funcionalidades que permiten a los usuarios interactuar y analizar los datos de manera sencilla y eficiente. Estas funcionalidades son el resultado directo de la fase de análisis de requisitos y se implementaron para satisfacer las necesidades identificadas de los usuarios.

**Visualización de Mapas Interactivos:** El mapa central permite la exploración geográfica de los datos agrológicos de Cundinamarca, incluyendo capas de usos y capacidad de suelo.

**Selección por Lazo:** Esta función permite a los usuarios delimitar áreas de interés en el mapa dibujando formas libres, lo que posibilita seleccionar múltiples elementos a la vez y realizar acciones específicas sobre ellos, como obtener información detallada, exportar datos o realizar análisis espaciales personalizados.

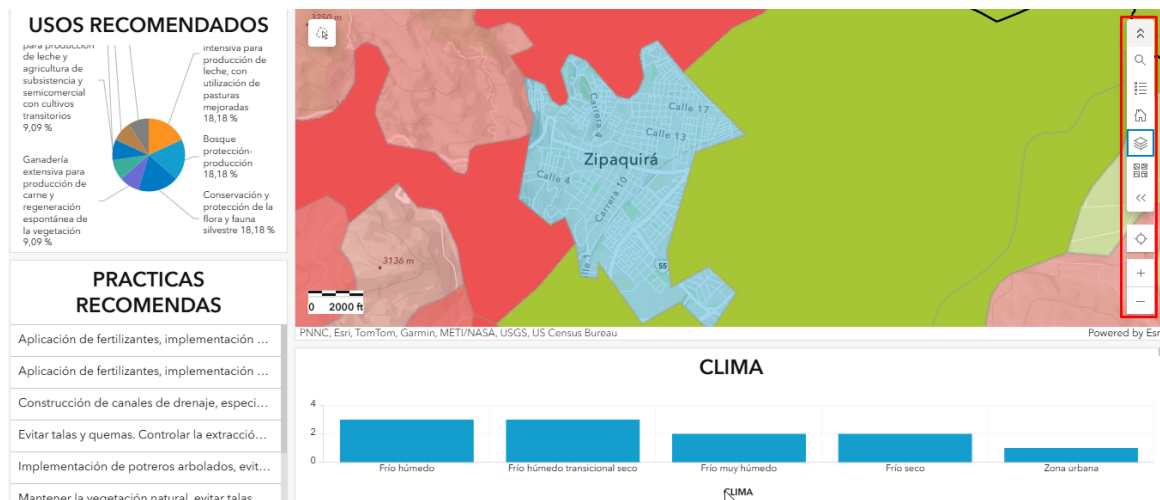
**Buscador de Entidades:** Facilita la localización rápida de elementos específicos en el mapa, permitiendo la búsqueda por términos o el uso de filtros avanzados para centrar automáticamente el mapa en los resultados deseados.

**Vista General y Orientación:** La vista general proporciona una perspectiva completa del mapa para una rápida ubicación, mientras que la brújula indica la orientación y la función de geolocalización permite encontrar la posición exacta en el mapa.

### Personalización de la Experiencia:

- **Leyenda:** Ofrece una descripción visual clara de las capas activas y su simbología.
- **Visualizador de Capas:** Brinda control total sobre las capas, permitiendo añadir, quitar, ordenar y personalizar su apariencia.
- **Mapas Base:** Permite elegir entre una variedad de mapas de fondo (topográfico, satelital, etc.) para proporcionar contexto a los datos.
- **Zoom y Desplazamiento Intuitivos:** Las funciones de zoom y desplazamiento permiten explorar diferentes áreas del mapa con facilidad, utilizando la rueda del ratón, botones de zoom o gestos táctiles.

**Figura 2.** Funcionalidades clave



Nota. Mapa elaborado por el autor.

### 7.3 Cumplimiento de Requerimientos No Funcionales

Además de las funcionalidades, se priorizaron criterios de calidad esenciales para la usabilidad, rendimiento y seguridad del dashboard. ArcGIS Dashboards, como plataforma subyacente, asegura que estos requisitos no funcionales se cumplan. La interfaz es intuitiva y consistente, optimizada para manejar grandes volúmenes de datos y responder rápidamente a las interacciones del usuario. La seguridad está garantizada por los mecanismos inherentes a la plataforma ArcGIS Online, incluyendo autenticación y gestión de permisos, protegiendo así la



resultado cumple directamente con los objetivos planteados al inicio del proyecto, al proporcionar una herramienta interactiva y visual que facilita la divulgación, el análisis y la toma de decisiones informadas para el Departamento de Cundinamarca.

#### **Logros y Contribuciones Principales:**

**Mejora de la Accesibilidad y Divulgación:** El dashboard ha transformado datos agrológicos complejos del (IGAC, 2015) en una interfaz intuitiva y accesible, democratizando el acceso a información crítica sobre el uso y la capacidad del suelo para un público más amplio, incluyendo agricultores, técnicos y planificadores. Esto reduce la barrera técnica que a menudo acompaña a los datos geoespaciales.

**Visualización y Análisis Dinámico:** La integración de un mapa central interactivo con gráficos y tablas dinámicas permite a los usuarios no solo visualizar la distribución espacial de las propiedades del suelo, sino también realizar análisis exploratorios, identificar patrones y comprender las relaciones entre las variables agrológicas de manera más eficiente. Las funcionalidades de selección por lazo y búsqueda de entidades agilizan la consulta de información específica, lo cual es fundamental para el sector agrícola.

**Soporte a la Toma de Decisiones:** Al consolidar información sobre la capacidad de uso del suelo, principales limitantes y prácticas de manejo recomendadas, el dashboard se convierte en una herramienta valiosa para la planificación agrícola, la evaluación del impacto del cambio climático y el desarrollo de estrategias de gestión sostenible de los recursos naturales. Esto se alinea con la creciente necesidad de adoptar un enfoque más digitalizado y basado en datos en la agricultura.

**Robustez Tecnológica:** El despliegue a través de ArcGIS Dashboards aseguran la escalabilidad, la seguridad y el rendimiento del sistema, lo que es vital para la gestión continua de grandes volúmenes de datos geoespaciales.

### **8.1 Consideraciones Críticas y Limitaciones**

A pesar de estos avances, es importante reconocer ciertas limitaciones y desafíos que fueron identificados durante el desarrollo y que deben abordarse en futuras investigaciones y mejoras del sistema:

**Disponibilidad y Calidad de los Datos:** La precisión de los análisis está intrínsecamente ligada a la calidad y la resolución de los datos de entrada. La clasificación del IGAC utilizada, aunque fundamental, está a una escala de 1:100.000. La falta de datos de mayor resolución o la

inconsistencia en las metodologías de medición entre diferentes fuentes a nivel regional y nacional pueden limitar la precisión de los análisis localizados y la granularidad de las decisiones que se pueden tomar.

**Complejidad de los Procesos Edáficos:** Los procesos edáficos (relacionados con el suelo) son inherentemente complejos y están influenciados por una vasta cantidad de factores naturales (geología, clima, topografía) y antrópicos (uso de la tierra, prácticas agrícolas). Modelar estos procesos de manera precisa y completa dentro de una herramienta digital es un desafío continuo que requiere de una mayor investigación y el desarrollo de algoritmos más sofisticados.

**Integración de Datos Multidisciplinarios:** Si bien el dashboard se enfoca en datos agrológicos, una comprensión holística de los sistemas agrícolas requiere la integración de información de diversas disciplinas, como la agronomía, la hidrología y la climatología. Esta tarea puede ser compleja debido a las diferentes escalas espaciales y temporales, formatos y metodologías de recolección de los datos, lo que dificulta su armonización para un análisis conjunto.

**Capacitación de los Usuarios:** La adopción efectiva y el máximo aprovechamiento del dashboard por parte de los usuarios finales (agricultores, técnicos) dependen en gran medida de una capacitación adecuada. Es necesario desarrollar materiales de formación claros y programas de capacitación accesibles que permitan a los usuarios entender y aplicar todas las funcionalidades de la herramienta en su contexto.

**Mantenimiento y Actualización Continuos:** Como cualquier sistema de información dinámico, el dashboard requiere de un mantenimiento continuo para garantizar la calidad de los datos, la actualización de las funcionalidades y su adaptabilidad a nuevas necesidades o cambios tecnológicos. Es fundamental establecer protocolos claros de actualización y mantenimiento para asegurar la longevidad y relevancia de la herramienta a largo plazo.

El dashboard de observación de suelos representa un primer paso sólido hacia la digitalización de la agricultura y la gestión sostenible de los recursos naturales. Sin embargo, para maximizar su potencial y superar las limitaciones actuales, es necesario un esfuerzo continuo en investigación, desarrollo tecnológico y extensión.

## 9 Conclusiones

El desarrollo del dashboard de observación de suelos ha culminado en una herramienta valiosa y eficaz para la gestión de recursos naturales y la toma de decisiones informadas en el sector agrícola del Departamento de Cundinamarca. A partir de este proyecto, se concluye que:

- El sistema presenta de forma eficaz y eficiente la visualización y análisis de datos geográficos relacionados con el suelo y el clima, demostrando ser una plataforma robusta para la comprensión espacial de la información agrológica.
- La dashboard proporciona una herramienta valiosa para el sector agrícola, permitiendo a los usuarios identificar áreas aptas para diferentes cultivos, evaluar el impacto de cambios climáticos y desarrollar estrategias de gestión sostenible de los recursos naturales. Su capacidad para traducir grandes volúmenes de datos geográficos en información comprensible facilita la identificación de patrones y tendencias, un aspecto crucial para la planificación territorial y agrícola.
- La integración exitosa de diversas fuentes de información, como mapas base, imágenes satelitales y bases de datos de suelos, ha permitido crear una herramienta altamente personalizada y adaptable a las necesidades específicas de los usuarios, lo que potencia su utilidad práctica.
- La precisión de la información geográfica utilizada, construida a una escala 1:100.000, subraya la necesidad de incorporar información más precisa. Asimismo, es fundamental ampliar las funcionalidades del sistema, integrar más plataformas y establecer un plan de mantenimiento y actualización regular para garantizar la calidad de los datos y la longevidad de la herramienta.

## 10 Recomendaciones

Basándose en los resultados obtenidos y las limitaciones identificadas durante el desarrollo del dashboard de observación de suelos, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones y mejoras:

**Optimización y Expansión de la Precisión de Datos:** La utilización de datos de sensores remotos de alta resolución, como los obtenidos por drones o satélites (Sentinel, Landsat), permitirá monitorear los cambios en los suelos con mayor frecuencia y detalle. Esto complementaría la información del IGAC a escala 1:100.000, proporcionando una base de datos más precisa y actualizada para el análisis a nivel local y regional.

**Integración de Datos de Mayor Escala:** Se recomienda la integración de información de suelos a escalas más detalladas (1:25.000 o superiores) donde esté disponible, para enriquecer la precisión de los análisis y permitir decisiones más focalizadas a nivel de predio o microcuena.

**Modelos Predictivos Sofisticados:** La aplicación de técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning) e inteligencia artificial (IA) permitirá desarrollar modelos predictivos más precisos para simular el comportamiento de los suelos bajo diferentes escenarios climáticos y de manejo. Esto podría incluir modelos de erosión, balance hídrico o productividad de cultivos bajo diversas condiciones.

**Herramientas de Simulación:** Se sugiere incorporar funcionalidades de análisis predictivo y simulación que permitan a los usuarios realizar proyecciones futuras y evaluar el impacto de diferentes escenarios de gestión agrícola o de cambio climático sobre los recursos edáficos.

**Integración con Otras Plataformas:** Es crucial fortalecer la integración del dashboard con otros sistemas de información relevantes en el ámbito agrícola y geoespacial, como el Geoportal "Colombia en Mapas". Esto crearía un ecosistema de herramientas interconectadas que faciliten una gestión integral para los productores y técnicos.

**Adopción de Estándares Abiertos:** Fomentar la adopción de estándares de datos abiertos (OGC, ISO) facilitaría la interoperabilidad y el intercambio de información con otras plataformas y actores.

**Programas de Capacitación Continua:** Es necesario desarrollar materiales de capacitación más interactivos y programas de formación que permitan a los agricultores y técnicos aprovechar al máximo las funcionalidades de la herramienta, asegurando su adopción y uso efectivo. Esto podría incluir tutoriales en línea, talleres presenciales y guías de usuario.

**Plan de Mantenimiento y Actualización:** Establecer un plan de mantenimiento y actualización regular del sistema es fundamental para garantizar la calidad y la vigencia de los datos, así como para incorporar nuevas funcionalidades y corregir posibles errores, asegurando la longevidad y relevancia de la herramienta.

Estas recomendaciones buscan no solo mejorar el dashboard actual, sino también trazar una hoja de ruta para el desarrollo futuro de herramientas geoespaciales aplicadas a la agricultura sostenible.

## 11 Referencias

- Agudelo Onzaga, J. E. (s. f.). *Modelo de Datos Raster para la Incorporación al Geovisor de la Dirección de Sistemas de Información Geográfico, Análisis y Estadística*
- Álvarez Francoso, J. I., Ojeda Zújar, J., Díaz Cuevas, M. D. P., Prieto Campos, A., & Pérez Alcántara, F. (2017). Difusión web de tasas de erosión en las playas de Andalucía: geovisores web para la exploración de datos. *Geotemas*, 17, 147-150.
- Benadero, M. P., Morales, A. A., Guarín, A., Barón, L. V., & Jenni, L. (2017). El Geoportal para la Administración de Tierras en Colombia. *Revista Cartográfica*, (95), 151-167.
- Braidt, G., & Loidl, M. (2021). Privacy-Preserving Geospatial Data Sharing: A Review.
- Brajdnik, G., & Montanari, R. (2012). Geospatial information: A review of the state of the art. *GeoJournal*, 77(5), 639-652. <https://doi.org/10.1007/s10708-011-9439-6>
- Buzai, G. D., & Baxendale, C. A. (2010). *Sistemas de Información Geográfica y Análisis Espacial: Una Guía para la Gestión Territorial*.
- Carrera Martínez, F. F. (2019). *Prototipo de Geovisor web interactivo para la publicación de datos geoespaciales de la parroquia Uyumbicho* (Tesis de licenciatura). PUCE-Quito.
- Congreso de la República de Colombia. (1974). *Decreto 2811 de 1974. Por el cual se aprueba el Código Nacional de Recursos Naturales y el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y Protección al Ambiente*. Bogotá, Colombia.
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993. Por la cual se establece el Sistema Nacional Ambiental - SINA y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia.
- Congreso de la República de Colombia. (2014). *Ley 1687 de 2014. Por la cual se establecen normas para la actividad cartográfica en Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Delgado, I., & Mora, J. (2019). La importancia de los SIG en la gestión catastral y predial.
- Devaux, A., Papparoditis, N., Precioso, F., & Cannelle, B. (2009, mayo). Face Blurring for Privacy in Street-level Geoviewers Combining Face, Body and Skin Detectors. En *MVA* (pp. 86-89).
- ESRI. (2022). *ArcGIS Pro: The Professional GIS Application*.
- ESRI. (2023). *ArcGIS Dashboards: Visualize your data on a single screen*.

- FAO. (2020). *Global Soil Partnership - Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management*.
- Gaytán-Lugo, M. S., Farías-Mendoza, N., Chávez-Valdez, R. E., & Cervantes-Zambrano, F. (2020). Diseño e Implementación de un Geoportal Catastral para Visualización de Cartografía e Integración de Servicios Geoespaciales. *RIIT. Revista internacional de investigación e innovación tecnológica*, 8(45), 20-39.
- He, X., Persson, H., & Östman, A. (2012). Geoportal usability evaluation. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 7, 88-106.
- Hochsztain, E., Vázquez, C. L., & Bernabé, M. A. (2012). Análisis de navegación de geoportales. En *X Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística*. Córdoba, Argentina.
- IGAC. (2015). Resolución 471 de 2015: Por la cual se adopta el Modelo de Datos Geográficos para Colombia.
- Jung, C. T., Tsou, M. H., & Issa, E. (2015, marzo). Developing a real-time situation awareness viewer for monitoring disaster impacts using location-based social media messages in Twitter. En *International Conference on Location-Based Social Media Data*. Athens, GA, USA.
- Li, S., Dragicevic, S., & Li, T. (2020). Geospatial Big Data Analytics for Real-time Disaster Management: A Review.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*.
- Lombana Martínez, W. A. (2014). *Propuesta de un tablero de control para la implantación del programa de control de efluentes industriales de la EAB-ESP mediante la aplicación Operations Dashboard For Acgis*.
- Longley, P. A. et al. (2015). *Geographic Information Science and Systems*.
- Lurie, G., Sydelko, P., & Taxon, T. (2002). An Object-Oriented GIS Toolkit for Web-Based and Dynamic Decision Analysis Applications. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 6(2), 108-116.
- Menegon, S., Fadini, A., Perini, L., Sarretta, A., Depellegrin, D., De Maio, E., ... & Barbanti, A. (2023). A geoportal of data and tools for supporting Maritime Spatial Planning in the Adriatic-Ionian Region. *Environmental Modelling & Software*, 160, 105585.

- Mijic, N. D., & Sestic, M. (2018). Future development of NSDI based on the European INSPIRE Directive—A case study of a Bosnian and Herzegovinian geoportal. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 13, 315-338.
- Newman, G., Malecha, M., & Atoba, K. (2023). Integrating ToxPi outputs with ArcGIS Dashboards to identify neighborhood threat levels of contaminant transferal during flood events. *Journal of Spatial Science*, 68(1), 57-69.
- Ojeda Zújar, J., Díaz Cuevas, M. D. P., Álvarez Francoso, J. I., Pérez Alcántara, J. P., & Prieto Campos, A. (2015). Geoportales y geovisores web: Un nuevo entorno colaborativo para la producción, acceso y difusión de la información geográfica. En *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación. XXIV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles (2015)*, pp. 777-786. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio Universidad de Zaragoza; Asociación de Geógrafos Españoles.
- Presidencia de la República de Colombia. (2002). *Decreto 1279 de 2002. Por el cual se reglamenta la Ley 1687 de 2014 en lo relacionado con la actividad cartográfica*. Bogotá, Colombia.
- Prášek, J., Valta, J., & Hřebíček, J. (2013). National INSPIRE geoportal of the Czech Republic. En *Environmental Software Systems. Fostering Information Sharing: 10th IFIP WG 5.11 International Symposium, ISESS 2013, Neusiedl am See, Austria, October 9-11, 2013*. Proceedings 10 (pp. 425-438). Springer Berlin Heidelberg.
- Rodolfo, F. (2019). *Geoportales y visores geográficos en Colombia*. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Velazco-Flórez, S. Y., & Joyanes-Aguilar, L. (2013). Herramienta GIS y servicios web en la geolocalización como instrumento en la adecuada gestión del territorio: Geoportal IDE Chinácota. *Respuestas*, 18(1), 50-67.
- Visner, M., Shirowzhan, S., & Pettit, C. (2021). Spatial analysis, interactive visualisation and GIS-based dashboard for monitoring spatio-temporal changes of hotspots of bushfires over 100 years in New South Wales, Australia. *Buildings*, 11(2), 37.
- Yamashkin, S. A., Radovanović, M. M., Yamashkin, A. A., Barmin, A. N., Zanozin, V. V., & Petrović, M. D. (2019). Problems of designing geoportal interfaces. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 24(1), 88-101.