Desarrollo de un geovisor para identificar zonas compatibles entre café y cultivos estratégicos en el departamento de Quindío

Carlos Eduardo León Espinosa

Inés María Sosa León

Director: Alberto Boada Rodriguez, Ph.D.

Codirector: Danilo Alverto Vera Parra, M.Sc.

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Sistema de Información Geográfica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas U.D.F.J.C.

Facultad de Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Bogotá, 2025

Resumen

El presente proyecto se centra en el desarrollo de un geovisor web que compara las capas de aptitud agrícola publicadas por el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria, para identificar zonas óptimas para el cultivo de café (Coffea arabica L.) y cultivos estratégicos (aguacate, cacao, banano y maíz) en el departamento de Quindío. Esta iniciativa responde a la escasez de información estructurada para determinar la compatibilidad entre dos cultivos y la necesidad de herramientas de planificación que integren criterios técnicos sobre el uso del suelo rural.

Para lograrlo, se realizará un proceso de zonificación mediante el análisis conjunto de las capas de aptitud disponibles. Este procedimiento permitirá delimitar las áreas geográficas que presentan condiciones simultáneamente favorables para la implantación del café con varios cultivos. Las capas de aptitud serán tratadas y combinadas utilizando operaciones espaciales específicas, lo que permitirá generar mapas integrados que reflejen las posibles áreas de coincidencia productiva dentro del departamento.

La implementación seguirá el modelo arquitectónico 4+1, combinando la vista de casos de uso para definir requerimientos funcionales, la vista lógica para estructurar componentes, la vista de desarrollo para organizar el código, la vista de procesos para abordar concurrencia y rendimiento, y la vista física para el despliegue. Este enfoque asegura un desarrollo ordenado, escalable y adaptable a futuros cultivos y necesidades.

Palabras clave: compatibilidad, variables edafoclimáticas, arquitectura.

Abstract

This project aims development of a web-based geovisor that compares agricultural suitability layers published by the Information System for Rural Agricultural Planning (SIPRA), in order to identify optimal areas for the cultivation of coffee (Coffea arabica L.) and strategic crops (avocado, cacao, banana, and maize) in the department of Quindío. This initiative addresses the lack of structured information to determine the compatibility between two crops and the need for planning tools that integrate technical criteria related to rural land use.

To achieve this, a zoning process will be carried out through the combined analysis of the available suitability layers. This procedure will allow for the delineation of geographic areas that simultaneously present favorable conditions for the cultivation of coffee alongside various other crops. The suitability layers will be processed and combined using specific spatial operations, enabling the generation of integrated maps that reflect potential areas of productive overlap within the department.

The implementation will follow the 4+1 architectural model, combining the use case view to define functional requirements, the logical view to structure components, the development view to organize the codebase, the process view to address concurrency and performance, and the physical view for deployment. This approach ensures an organized, scalable, and adaptable development process for future crops and evolving needs.

Keywords: compatibility , edaphoclimatic variables, architecture.

Contenido

Pág.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN **8**
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA 8
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 9
1.3 JUSTIFICACIÓN 9
2. OBJETIVOS **11**
2.1 OBJETIVO GENERAL 11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11
3. ANTECEDENTES **12**
4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL **15**
5. REFERENTE TEÓRICO **17**
6. METODOLOGÍA **21**
6.1 FASES DE LA METODOLOGÍA 22
7. RESULTADOS **24**
7.1 FASE DE ESPECIFICACIÓN 24
7.2 FASE DE DISEÑO 27
7.3 FASE DE PREPARACIÓN DE LOS DATOS 33
7.4 FASE DE IMPLEMENTACIÓN 42
8. CONCLUSIONES **47**
9. RECOMENDACIONES **48**
10. REFERENCIAS **50**

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Metodología 21
Figura 2. Diagrama de casos de uso 27
Figura 3. Diagrama de paquetes de casos de uso 29
Figura 4. Diagrama de actividades 30
Figura 5. Diagrama de componentes 31
Figura 6. Diagrama de despliegue 33
Figura 7. Página del SIPRA 34
Figura 8. Capas descargadas en ArcGIS sin procesar 34
Figura 9. Depuración tabla de atributos 37
Figura 10. ArcPy ejecución dissolve 38
Figura 11. Leyenda 38
Figura 12. Espacios de trabajo - Geoserver 42
Figura 13. Almacenes de datos - Geoserver 43
Figura 14. Capas - Geoserver 43
Figura 15. Configuración de capas - Geoserver 44
Figura 16. Definición del sistema de referencia - Geoserver 44
Figura 17. Definición de estilos - Geoserver 45
Figura 18. Geovisor de compatibilidad de cultivos 46
Figura 19. Sección de descargas 46

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Relación referente normativo con el alcance del proyecto 17
Tabla 2. Requerimientos funcionales 25
Tabla 3. Requerimientos no funcionales 26
Tabla 4. Definición de actores 27
Tabla 5. Insumos adaptados al área de estudio 35
Tabla 6. Zonificación 39

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
CAR	Corporación Autónoma Regional
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
OGC	Open Geospatial Consortium
RF	Requerimiento Funcional
RNF	Requerimiento No Funcional
RNF-PRO	Requerimiento No Funcional de Producto
RFN-ORG	Requerimiento No Funcional de Organizacional
RNF-EXT	Requerimiento No Funcional Externos
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIPRA	Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria
SHP	Shapefile (formato vectorial geoespacial)
SLD	Styled Layer Descriptor (estándar del OGC para definir el estilo de visualización de capas)
UDFJC	Universidad Distrital Francisco José de Caldas
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
WMS	Web Map Service

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

1.1 Descripción del área problemática

En el departamento de Quindío, el cultivo del café ha sido históricamente parte de su eje productivo destacándose como uno de los principales cultivos permanentes con 18.051,44 hectáreas sembradas, según datos del año 2023, otros cultivos a resaltar son el aguacate con 9.525,52 hectáreas, banano con 3.779,29, maíz con 1.625,16 y cacao con 537,07. (Gobernación del Quindío, 2024). Cenicafé (2015) ha identificado que los sistemas agroforestales con café pueden ser compatibles con cultivos como plátano, maíz y frijol, siempre que se consideren criterios técnicos adecuados para evitar afectaciones en la producción y calidad del café. Aunque el aguacate no se menciona explícitamente en dicha publicación, su incorporación en sistemas productivos asociados ha sido explorada en otros contextos como California, donde estudios como el de Favor (2021) resaltan su potencial para el control microclimático, la eficiencia hídrica y la diversificación productiva.

A pesar del interés creciente por estos sistemas en Colombia, la toma de decisiones en el territorio sigue basándose en criterios empíricos, Cenicafé (2015) advierte que una mala elección de especies acompañantes puede afectar la productividad y calidad del café. Aunque el ICA (2023) ha capacitado productores en Buenas Prácticas Agrícolas, aún hay vacíos en modelos de análisis que integren cultivos mixtos y delimiten áreas aptas para asociaciones productivas sostenibles en este territorio andino.

La ausencia de planificación adecuada no solo afecta la productividad, sino también la sostenibilidad del entorno agrícola. El uso intensivo y desorganizado de los recursos reduce la fertilidad del suelo, disminuye la calidad de los cultivos y compromete la viabilidad de las tierras a futuro (FAO, 2017). Las malas prácticas agrícolas también generan un impacto ambiental significativo, agravando el deterioro de los ecosistemas y dificultando la recuperación del suelo y las fuentes de agua (FAO, 2021)

1.2 Formulación del problema

¿Cómo desarrollar un geovisor que permita identificar y visualizar las zonas geográficas donde el cultivo de café presenta condiciones de aptitud edafoclimática compatibles con cacao, aguacate, banano, maíz tradicional y maíz tecnificado en el departamento del Quindío?

1.3 Justificación

La agricultura sigue siendo una de las principales fuentes de empleo rural en Colombia según el DANE, para el trimestre móvil mayo–julio de 2024, el 45,4 % de la población campesina ocupada del país se dedicaba a actividades relacionadas con la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, reafirmando el papel estratégico del sector agropecuario en la economía rural nacional (DANE, 2024).

En este escenario, dentro del Plan Departamental de Extensión Agropecuaria 2024–2027 del Quindío podemos destacar la importancia productiva de cultivos como el café, el aguacate, el banano, maíz y cacao lo que refleja una dinámica agrícola favorable para explorar combinaciones que puedan ser productivas y sostenibles. La implementación de cultivos rotativos, en este caso el

cultivo de café como cultivo principal, plantea una oportunidad concreta para mejorar la planificación territorial, diversificar la producción y fortalecer el enfoque agroecológico.

Una solución efectiva para visualizar zonas compatibles entre cultivos es el uso de un geovisor, una herramienta de consulta intuitiva que facilita la toma de decisiones basadas en datos. En este caso, la información utilizada proviene del Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (SIRPA) de la UPRA. El geovisor, de carácter escalable, permitirá incluir progresivamente más cultivos para su comparación. Está dirigido especialmente a pequeños y medianos productores, quienes accederán a información clave para optimizar sus cultivos, mejorar la productividad y reducir pérdidas económicas al identificar las prácticas agrícolas más adecuadas para las condiciones específicas de sus tierras. Al basarse en datos confiables, se disminuyen los riesgos asociados con la siembra de cultivos incompatibles. Asimismo, las comunidades rurales se beneficiarán al fortalecer la resiliencia de sus sistemas productivos mediante prácticas sostenibles. Finalmente, entidades gubernamentales y planificadores rurales podrán utilizar esta herramienta para diseñar políticas públicas más eficaces, orientadas al desarrollo rural sostenible y a la protección de los recursos naturales.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar un geovisor que permita representar las zonas compatibles entre el cultivo de café y los cultivos estratégicos (cacao, aguacate, banano, maíz tradicional y maíz tecnificado) en el departamento del Quindío.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar las zonas de compatibilidad entre el cultivo de café y los cultivos estratégicos (cacao, aguacate, banano, maíz tradicional y maíz tecnificado) en el departamento del Quindío.
- Establecer la arquitectura del geovisor siguiendo el modelo 4+1, definiendo las vistas lógica, de desarrollo, de procesos, física y de casos de uso que sustenten su diseño e implementación.
- Diseñar una interfaz geográfica que cumpla con criterios de usabilidad y claridad visual, para facilitar la exploración y comprensión de las zonas de compatibilidad entre el cultivo de café y los cultivos estratégicos en el departamento del Quindío.

3. Antecedentes

En la actualidad, las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como un eje esencial para la agricultura, al permitir caracterizar la distribución espacial de cultivos, detectar fenómenos ambientales y sustentar decisiones con evidencia objetiva, prueba de esto Rahian en 2024 con su revisión sistemática en la cual consolidó información actual sobre la utilización de los SIG y teledetección en la agricultura, pudo determinar un incremento notable en el uso del SIG en el sector agrícola durante los últimos años, con principales aplicaciones en la estimación del rendimiento de cultivos, la evaluación de la fertilidad del suelo y el monitoreo de patrones de cultivo, concluyendo que la tecnología SIG puede aumentar la sostenibilidad de la agricultura al incorporar la dimensión espacial en las políticas del sector. Además, subraya que el potencial del SIG para facilitar la toma de decisiones basadas en evidencia, esto apoya la iniciativa de desarrollar un geovisor de compatibilidad de cultivos que sea la línea base para tomar decisiones sobre cómo rotar los cultivos en una zona geográfica.

Mustashkina en 2021 analizó cómo el uso de las tecnologías de información geográfica son una vía para mejorar la eficiencia de la gestión agrícola, con el objetivo de demostrar cómo las SIG pueden facilitar el control de siembras y la toma de decisiones en entornos de agricultura de riesgo. El estudio muestra que los SIG permiten comparar datos planificados y reales, integrar mapas vectoriales y capas históricas de campo, y combinar información satelital para cartografía de fertilidad y optimización de rutas, reduciendo así costes y pérdidas en las explotaciones. Concluye que disponer de información geográfica y capacidad analítica rápida es esencial para automatizar el ciclo productivo y planificar acciones que minimicen riesgos y maximicen la rentabilidad. Estos hallazgos respaldan el desarrollo del geovisor comparativo de aptitud agrícola en el Quindío, pues subrayan la utilidad de integrar capas multifuente, como las del SIPRA, con

análisis espacial interactivo puede permitir a productores y entidades públicas tomar decisiones basadas en datos confiables y reduzcan la incertidumbre asociada a la elección de cultivos.

Méndez en 2023 tuvo como objetivo determinar las áreas con aptitud agroclimática para dos variedades de frijol (Calima y Cargamanto) en asociación con plantaciones forestales comerciales en el departamento del Tolima. Mediante el geoprocesamiento en QGIS de capas vectoriales de frijol y de aptitud forestal, identificó 670 581 ha aptas para sistemas agroforestales, señalando municipios prioritarios como Ibagué, Líbano y San Antonio. Concluye que la integración de información agroclimática y forestal en un entorno SIG optimiza la planificación productiva al indicar zonas de alto potencial, reduciendo riesgos y fomentando prácticas sostenibles. También Moreira, Pires, Marcattic, Santosd, Imbuzeiroa y Fernandes en 2018 analizaron el potencial de un sistema agroforestal en el que el café se intercala con la palma macaúba (Acrocomia aculeata) con el objetivo de determinar si esta asociación puede mitigar los efectos del cambio climático sobre la caficultura. Midieron variables climáticas, humedad y temperatura del suelo, así como productividad del cafeto, los autores concluyen que la agroforestería café-macaúba constituye una estrategia viable de adaptación ante escenarios más cálidos y secos, al mejorar tanto las condiciones microambientales como la productividad del cultivo. Estos resultados son relevantes para el geovisor comparativo de cultivos en el departamento del Quindío, pues respaldan la necesidad de visualizar capas que muestran compatibilidades entre el café y cultivos alternativos, permitiendo identificar espacialmente zonas donde las sinergias agroforestales puedan maximizar la resiliencia productiva y ambiental.

Geovisores desarrollados recientemente, como por ejemplo, GeoICAR desarrollado por Vargas y Quitian en 2024, el cual es un geovisor para el seguimiento de la calidad del recurso

hídrico en la jurisdicción de la CAR Cundinamarca, estructurado mediante las fases de especificación, diseño, desarrollo y validación bajo un enfoque SCRUM, el geovisor integra datos de fuentes superficiales, automatiza el índice de calidad de agua y presenta un resultado dinámico que simplifica el analizar y garantiza el acceso a la información. Por otro lado, Ovelencio y Castillo desarrollaron Tanetsi en 2024, con un geovisor web orientado a la visualización y monitoreo de iniciativas de conservación y restauración en la Orinoquía colombiana, mediante la metodología SCRUM con un modelo de refactorización, el proyecto integró capas temáticas sobre proyectos, fauna y flora, e incorpora funciones de registro, permitiendo el acceso ágil a información espacial clave, agilizando la toma de decisiones para la restauración de ecosistemas a escala de paisaje. Los anteriores trabajos demuestran que las plataformas web interactivas pueden traducir datos complejos en insumos comprensibles para productores, autoridades y comunidades, adicionalmente demuestra la viabilidad técnica y el valor práctico de integrar y difundir información espacial para orientar la toma de decisiones basadas en datos.

4. Referente normativo y legal

Para garantizar la pertinencia técnica, legal e institucional del presente estudio, es necesario considerar el marco normativo que regula la planificación del uso del suelo, la gestión ambiental, el desarrollo rural y la producción agrícola en Colombia. Este conjunto de normas y resoluciones orienta la integración de variables edafoclimáticas en procesos de análisis territorial y define los parámetros técnicos para la caracterización de suelos, evaluación de aptitud agrícola y gestión de información climática.

En particular, la Ley 99 de 1993 establece los principios fundamentales de la gestión ambiental en el país y promueve el ordenamiento del territorio con base en criterios ecológicos y de sostenibilidad, elementos clave en la delimitación de áreas productivas (Congreso de Colombia, 1993). De igual forma, la Ley 152 de 1994 refuerza la importancia de la planificación territorial desde una perspectiva integral, proporcionando el marco institucional para la incorporación de herramientas técnicas como el análisis multicriterio en la toma de decisiones estratégicas (Congreso de Colombia, 1994). Por su parte, la Ley 160 de 1994 impulsa el desarrollo rural mediante la regulación de la distribución y uso de tierras con vocación agrícola, lo cual guarda estrecha relación con los objetivos del presente proyecto al identificar zonas aptas para cultivos estratégicos como el café y el aguacate en el municipio de Filandia, Quindío (Congreso de Colombia, 1994b).

En cuanto a la normativa técnica aplicable, la Resolución 261 de 2018 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural define la Frontera Agrícola Nacional y adopta la metodología para

su identificación, lo cual es relevante para delimitar las áreas aptas para actividades agropecuarias (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018).

Estas disposiciones conforman el sustento legal y técnico para la construcción de un modelo robusto, alineado con las políticas nacionales y las mejores prácticas en análisis territorial, asegurando así la validez institucional de los resultados en el marco del ordenamiento y planificación agrícola del municipio.

1. Tabla 1. *Relación referente normativo con el alcance del proyecto*

Norma	Entidad	Alcance en el Proyecto
Ley 99 de 1993	Ministerio de Ambiente	Define los principios de la gestión ambiental y planificación del suelo.
Ley 152 de 1994	Congreso de la República	Fundamenta la planificación territorial integral. El modelo apoya la toma de decisiones basadas en criterios técnicos.
Ley 160 de 1994	INCORA / Agencia Nacional	Promueve el desarrollo rural y la destinación de tierras con vocación agrícola.
Resolución 261 de 2018	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	Define los procedimientos técnicos para estudios de suelo a escala semidetallada.

Fuente: Varios

5. Referente teórico

La aptitud agrícola hace referencia a la capacidad que tienen los terrenos para sostener cultivos de manera productiva y sostenible, en función de distintas variables edafoclimáticas y topográficas. Factores como el pH, la textura y profundidad del suelo, junto con la pendiente, temperatura y régimen de lluvias, son determinantes a la hora de establecer qué especies pueden cultivarse en un área concreta (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2020). Analizar estos factores de forma integrada permite clasificar el territorio en diferentes niveles de idoneidad, lo cual resulta clave para la planificación agrícola, el uso racional del suelo y la sostenibilidad de los sistemas de producción.

En los últimos años, la forma de realizar estas evaluaciones ha mejorado sustancialmente gracias a la incorporación de tecnologías como los sensores remotos, las imágenes satelitales de alta resolución y los algoritmos de aprendizaje automático (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2020). Estas herramientas han facilitado obtener diagnósticos más precisos, incluso en zonas donde antes era difícil acceder a información de calidad, al procesar grandes volúmenes de datos espaciales de forma eficiente.

Entre las metodologías actuales, destaca el uso de técnicas multicriterio como el Analytic Hierarchy Process (AHP), que permite ponderar las variables de acuerdo con su importancia para cada cultivo en particular. Esta metodología, al combinar el conocimiento de expertos con datos cuantitativos, aporta mayor objetividad al análisis de aptitud (Choudhary et al., 2023). Además, cuando se integra el AHP con datos obtenidos por sensores remotos, los modelos de aptitud resultan aún más robustos, logrando mapas de aptitud ajustados a diferentes escenarios territoriales.

A partir de estos enfoques, surge el concepto de compatibilidad de cultivos, que busca identificar aquellas áreas donde distintas especies pueden coexistir bajo condiciones favorables compartidas. Definir estas zonas de coincidencia no solo permite diversificar la producción agrícola, sino también reduce riesgos productivos, estabiliza los ingresos de los productores y favorece sistemas de cultivo más sostenibles (Choudhary et al., 2023).

En el caso del departamento del Quindío, esta lógica de análisis permite orientar qué especies pueden ser promovidas en cada zona. Precisamente, el Quindío ha identificado un grupo de cultivos estratégicos en su Plan Departamental de Extensión Agropecuaria (PDEA), conformado por el café, cacao, aguacate, banano y maíz, seleccionados por su relevancia productiva y socioeconómica (Gobernación del Quindío, 2023).

El café, por tradición y volumen de producción, continúa siendo el principal cultivo de la región. Las características agroclimáticas del Quindío —con altitudes entre 1.200 y 1.800 m s.n.m., temperaturas promedio de 18 a 22°C, y suelos con buen drenaje— son particularmente favorables para obtener cafés de alta calidad (AGROSAVIA, 2024).

En paralelo, el cacao ha ganado protagonismo como opción complementaria, especialmente en zonas de menor altitud, adaptándose a rangos de 200 a 1.200 msnm, temperaturas de 24 a 28°C y alta humedad (AGROSAVIA, 2024).

El aguacate Hass también ha expandido su presencia en el departamento, especialmente en altitudes entre 1.800 y 2.400 metros, suelos bien drenados y temperaturas de 16 a 22°C, en respuesta a su alta demanda internacional (AGROSAVIA, 2024).

Por su parte, el banano se establece principalmente en áreas bajas y húmedas, bajo temperaturas de 26 a 30°C, en suelos profundos y fértiles, mientras que el maíz —en sus versiones tradicional y tecnificada— sigue siendo clave tanto para la seguridad alimentaria como para el abastecimiento de materia prima agroindustrial (AGROSAVIA, 2024).

Definir estos cultivos estratégicos permite al departamento avanzar hacia un modelo agrícola diversificado, competitivo y con un enfoque de sostenibilidad, donde se combinan prácticas agroecológicas, asistencia técnica y oportunidades de comercialización (Gobernación del Quindío, 2023).

Ahora bien, para que estas estrategias productivas puedan planificarse adecuadamente es necesario contar con herramientas tecnológicas que faciliten el análisis y visualización de toda esta información. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten precisamente integrar y analizar de forma conjunta distintas capas de datos georreferenciados, como tipo de suelo, altitud, pendientes o variables climáticas (Choudhary et al., 2023). Al superponer estas capas, es posible construir mapas temáticos que ayudan a identificar las zonas más aptas para cada cultivo, facilitando decisiones tanto técnicas como territoriales.

Para llevar a cabo esta operación, se plantea el desarrollo de un geovisor especializado. Este tipo de herramienta requiere una arquitectura tecnológica compuesta por varios módulos: un servidor web que gestione las peticiones de los usuarios, un servidor de mapas que procese y representa las capas de información, una base de datos espacial donde se almacenen los datos georreferenciados, y finalmente una interfaz de usuario intuitiva accesible vía web (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2023a).

Desde el punto de vista funcional, el geovisor debe permitir la visualización de múltiples capas, consultas espaciales, mediciones sobre el mapa y búsquedas temáticas (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2023b). Además, debe facilitar el análisis simultáneo de varias capas de cultivos con el fin de determinar las zonas en las cuales estos cultivos son propensos a crecer según la definición de sus variables edafoclimáticas.

En cuanto a los aspectos no funcionales, es importante que la plataforma tenga un rendimiento ágil, alta disponibilidad, seguridad mediante autenticación de usuarios, capacidad de crecimiento futuro y cumplimiento de estándares de interoperabilidad, accesibilidad y compatibilidad con múltiples dispositivos (Visure Solutions, s.f.).

La implementación de este geovisor aportará una herramienta valiosa tanto para la gestión institucional como para los agricultores, al permitir consultar y aplicar de forma sencilla los resultados de los análisis de aptitud agrícola desarrollados en este proyecto.

6. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se adoptó un enfoque metodológico ágil e iterativo, orientado a facilitar avances progresivos y ajustes continuos durante el proceso de construcción del sistema. Esta aproximación permitió integrar gradualmente los distintos componentes técnicos, procesar los datos edafoclimáticos y desarrollar las funcionalidades del geovisor, asegurando la validación temprana de los resultados parciales y optimizando el uso de los recursos disponibles.

En este marco, se aplicó una adaptación de la metodología ágil, para garantizar entregas funcionales sucesivas, revisiones diarias y ajustes oportunos, lo que permitió cumplir con los objetivos establecidos dentro del tiempo disponible.

a. Figura 1. *Metodología*



Fuente: Elaboración propia

6.1 Fases de la metodología

Durante la fase de especificación se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema, contemplando las necesidades técnicas y operativas del geovisor. Además, se identificaron los componentes tecnológicos necesarios para su desarrollo e implementación.

En la fase de diseño se adoptó el modelo arquitectónico 4+1, estructurando el sistema a partir de cinco vistas complementarias: la vista de casos de uso, que permitió definir los escenarios de interacción entre el usuario y el sistema; la vista lógica, que organizó los componentes funcionales del geovisor; la vista de desarrollo, donde se estructuró el código y la organización modular del software; la vista de procesos, que abordó la ejecución concurrente y la respuesta del sistema; y la vista física, que definió la infraestructura de despliegue. Este enfoque garantiza una arquitectura robusta, escalable y alineada con los requerimientos de los usuarios.

Para el procesamiento de datos, se recopiló la información proveniente del Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA), el cual proporciona las capas de aptitud agrícola a nivel nacional correspondientes a los cultivos objeto de estudio. A partir de esta información, se realizaron los procesos de tratamiento, filtrado y delimitación, extrayendo exclusivamente los datos del departamento del Quindío como área de análisis. Posteriormente, se seleccionaron y prepararon las zonas aptas para cada cultivo dentro de dicho territorio.

Finalmente, la fase de implementación se enfocó en la integración de las capas de información previamente tratadas. Se reutilizaron componentes de software previamente desarrollados, y se incorporaron nuevos módulos requeridos para el cumplimiento de los casos de uso establecidos. De manera progresiva, se fueron incorporando las funcionalidades necesarias para completar las

herramientas de visualización, consulta y análisis del geovisor, logrando así un sistema funcional alineado con los objetivos definidos para el proyecto.

7. Resultados

7.1 Fase de Especificación

Los requerimientos funcionales que guiarán el desarrollo del geovisor, describiendo de forma clara las acciones que la plataforma deberá ejecutar para responder a las necesidades de sus usuarios y garantizar la consulta, análisis y aprovechamiento efectivo de la información geoespacial agrícola.

2. Tabla 2. *Requerimientos funcionales*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
RF-01	El sistema debe permitir la consulta y visualización de información geoespacial sobre aptitud del suelo para cada cultivo, y para la compatibilidad entre el cultivo café y los cultivos estratégicos
RF-02	El sistema debe permitir la comparación entre el cultivo de café y el cultivo estratégico seleccionado por el usuario.
RF-03	El usuario podrá explorar la información espacial acercando o alejando la vista a la zona geográfica de su interés dentro del límite territorial del departamento de Quindío.
RF-04	El sistema debe permitir la descarga de información en formato shp.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los requerimientos no funcionales, se establecen lineamientos que aseguran la calidad global del geovisor más allá de las funciones que ejecuta. Estos criterios abarcan atributos del producto, como flexibilidad, usabilidad, disponibilidad, escalabilidad y rendimiento concurrente, consideraciones organizacionales que garantizan buenas prácticas de desarrollo, documentación y accesibilidad, y requisitos externos orientados a la interoperabilidad, la seguridad de los datos y el cumplimiento de estándares abiertos. En conjunto, estos parámetros proporcionan la base para que

la plataforma sea robusta, mantenible y adaptable a futuro, ofreciendo una experiencia consistente para todos los usuarios y facilitando la integración con otros sistemas geoespaciales.

3. Tabla 3. *Requerimientos no funcionales*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
1	PRODUCTO
RNF-PRO-01	El sistema debe ser flexible para ajustarse a diferentes entornos operativos, permitiendo futuras mejoras sin afectar la funcionalidad existente.
RNF-PRO-02	La experiencia de usuario debe ser clara y amigable, facilitando la navegación y el acceso a información sin necesidad de capacitación especializada.
RNF-PRO-03	Toda la interfaz y los mensajes del sistema deben estar en español para garantizar la comprensión del usuario final.
RNF-PRO-04	Los errores del sistema deben proporcionar información clara sobre el problema y posibles soluciones para el usuario.
RNF-PRO-05	El sistema debe adaptarse a distintos dispositivos (computadoras, tabletas y móviles) asegurando una experiencia óptima en cada uno.
RNF-PRO-06	El sistema debe estar operativo al menos el 99% del tiempo, asegurando un servicio estable para los usuarios.
RNF-PRO-07	Debe ser fácilmente escalable y adaptable a nuevos requerimientos sin afectar su desempeño.
RNF-PRO-08	El sistema debe permitir el acceso simultáneo de múltiples usuarios sin degradar el rendimiento.
2	ORGANIZACIONAL
RNF-ORG-01	El desarrollo debe seguir buenas prácticas y convenciones establecidas para garantizar la mantenibilidad y calidad del código.
RNF-ORG-02	Se debe mantener documentación completa para futuras modificaciones.
RNF-ORG-03	La interfaz debe contar con opciones para ajustar el tamaño del texto y mejorar la visibilidad para personas con discapacidad visual
RNF-ORG-04	El sistema debe cumplir con las normas de accesibilidad web para garantizar el cumplimiento de estándares del W3C
3	EXTERNOS
RNF-EXT-01	Los datos generados deben poder exportarse en formatos compatibles como SHP.
RNF-EXT-02	Se deben implementar medidas para prevenir ataques de inyección de código en formularios o consultas a bases de datos.

RNF-EXT-03	El sistema debe ajustarse a los estándares del Open Geospatial Consortium (OGC) para asegurar la interoperabilidad con otras plataformas geoespaciales como Google Maps, OpenStreetMaps en caso de usarse

Fuente: Elaboración propia

En la definición de actores se identifica el perfil de usuario que interactúa con el geovisor (agricultores, técnicos agropecuarios y planificadores rurales) describiendo sus responsabilidades y las capacidades clave que requiere la plataforma para satisfacer sus necesidades de consulta, análisis y descarga de información geoespacial sobre compatibilidad de cultivos.

4. Tabla 4. *Definición de actores*

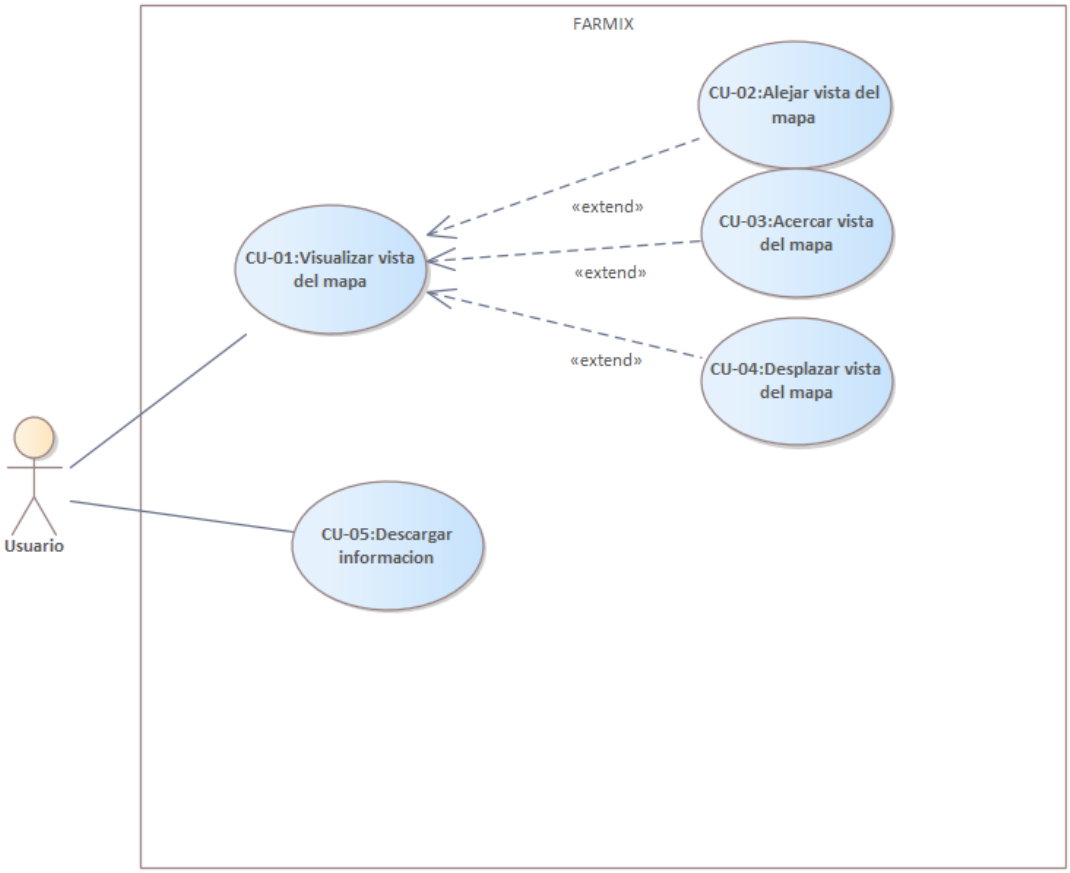
NOMBRE	Usuario
DESCRIPCIÓN	Representa a los agricultores, técnicos agropecuarios, planificadores rurales o cualquier persona que interactúa con el sistema para consultar información geoespacial sobre compatibilidad de cultivos.
CAPACIDADES	Visualizar la vista del mapa con funciones de acercar, alejar y desplazar. Descargar información atributiva

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de casos de uso sintetiza cómo el usuario interactúa con el geovisor. El actor principal inicia la visualización del mapa y, a partir de esta función base, puede acercar, alejar y desplazar la vista para explorar la cartografía con libertad. También cuenta con la opción de comparar capas geoespaciales para evaluar la compatibilidad de cultivos, consultar la información atributiva resultante y, finalmente, descargar los datos de interés. Las relaciones «extend» indican que las acciones de zoom y desplazamiento dependen de la visualización del mapa, mientras que la

consulta de atributos amplía la funcionalidad de comparación; de este modo, el diagrama refleja un flujo lógico y jerárquico de las tareas clave que soporta la plataforma.

b. Figura 2. *Diagrama de casos de uso*



ii.

Fuente: Elaboración propia

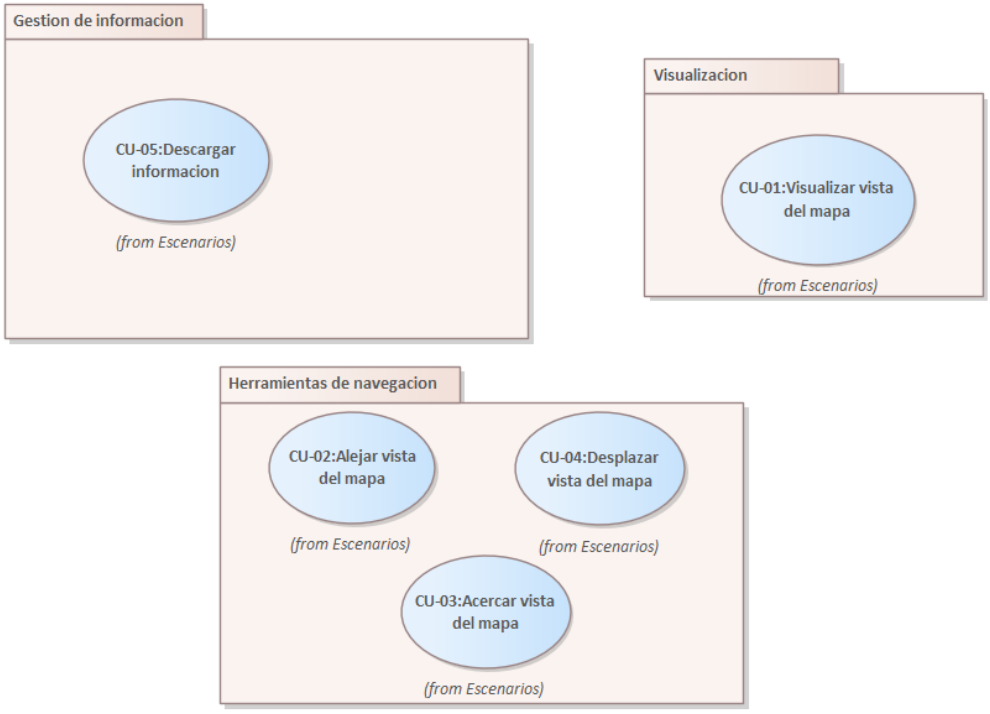
7.2 Fase de Diseño

Dentro de la fase de diseño, se elaboró el diagrama de paquetes, el cual permite organizar y estructurar los diferentes casos de uso definidos para el geovisor. Este diagrama, que hace parte de la vista lógica del modelo arquitectónico, facilita la agrupación de las funcionalidades en

módulos lógicos, lo que contribuye a una mejor comprensión, desarrollo y mantenimiento del sistema. Los paquetes definidos para el geovisor FARMIX son los siguientes:

- **Herramientas de Navegación:** Este paquete agrupa las funcionalidades que permiten al usuario desplazarse dentro del entorno geográfico. Incluye operaciones como el desplazamiento (pan), el ajuste de zoom y la recarga de vista, garantizando que el usuario pueda explorar fácilmente el área de análisis, visualizar las distintas capas de información y focalizarse en las zonas de interés definidas.
- **Visualización:** Este paquete controla la carga, representación y actualización de las capas geográficas disponibles en el sistema. A partir de los datos procesados y publicados a través de GeoServer, el sistema gestiona la correcta visualización de la información espacial, asegurando que los datos de aptitud agrícola se presenten de forma clara, accesible y eficiente para los usuarios finales.
- **Gestión de Información:** Comprende las funcionalidades orientadas a la consulta y manejo de los datos asociados a las capas visualizadas. Dentro de este paquete se encuentran la operación de descarga de información relevante. Estas herramientas permiten a los usuarios obtener información detallada y específica para apoyar la toma de decisiones técnicas y estratégicas en el ámbito agrícola del departamento del Quindío.

a. Figura 3. *Diagrama de paquetes de casos de uso*



Fuente: Elaboración propia

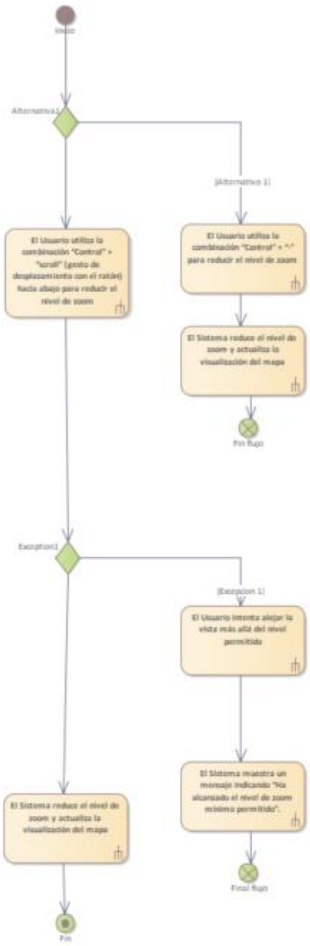
Para la vista de proceso, se elaboraron los diagramas de actividad que permiten representar el flujo de operaciones que sigue el sistema en la ejecución de cada uno de los casos de uso definidos para el geovisor. Estos diagramas facilitan la visualización secuencial de las acciones, decisiones y transiciones que se realizan desde el inicio hasta la finalización de cada funcionalidad, lo que permite dimensionar el nivel de complejidad y la cantidad de etapas involucradas en cada proceso.

A partir de este análisis, se definieron los diagramas de actividad para cada uno de los paquetes funcionales establecidos en el sistema. Por ejemplo, en el caso de las herramientas de navegación, el diagrama refleja el flujo que sigue el usuario desde el ingreso a la plataforma, la selección del área de interés, el ajuste del nivel de zoom y el desplazamiento por el mapa. De forma similar, los diagramas correspondientes a la gestión de información detallan los pasos necesarios para ejecutar

consultas atributivas, seleccionar capas de interés, comparar resultados o generar reportes de salida.

Este modelado de actividades permitió identificar posibles puntos de optimización en el diseño, validar los procesos definidos y establecer una estructura lógica para el desarrollo e implementación de cada funcionalidad dentro del geovisor FARMIX.

b. Figura 4. *Diagrama de actividades*



Fuente: Elaboración propia

A partir de los pasos de diseño anteriormente realizados se definió la arquitectura tecnológica del geovisor, identificando los componentes necesarios para su correcto funcionamiento. Las capas geográficas requeridas fueron previamente procesadas en ArcGIS Pro mediante herramientas automatizadas con ArcPy, asegurando su adecuada estructuración y formato para su posterior publicación.

Una vez procesadas, las capas fueron cargadas manualmente en GeoServer, configurado como servidor de mapas encargado de publicar la información geográfica y generar los servicios web (WMS, WFS) que serán consumidos por la interfaz del sistema.

Dentro de la vista de desarrollo, se elaboró el diagrama de componentes, que organiza lógicamente los elementos del sistema y sus interacciones. En este diagrama se identifican tres componentes principales: el Navegador Web, desde donde el usuario accede al sistema; FARMIX, como componente intermedio que gestiona la lógica de negocio y la interacción con los servicios geoespaciales; y GeoServer, responsable de servir las capas geográficas al cliente. Esta estructura modular facilita el mantenimiento, la comprensión del flujo de información y el desarrollo escalable del sistema.

c. Figura 5. *Diagrama de componentes*



Fuente: Elaboración propia

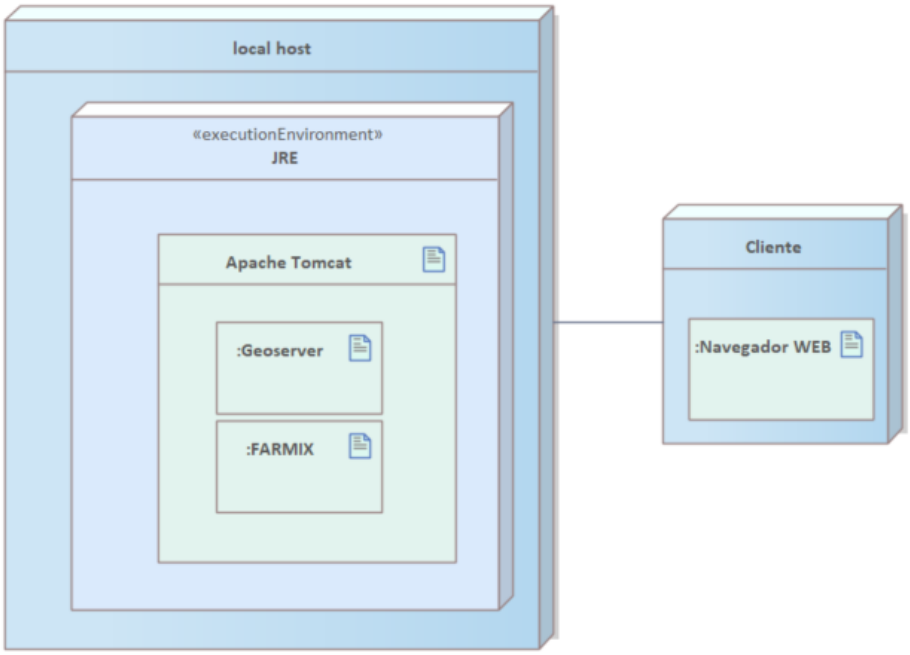
Como parte de la vista física del sistema, se elaboró el diagrama de despliegue, el cual representa la configuración actual del geovisor en su entorno de desarrollo local. Esta vista permite visualizar cómo se distribuyen los componentes sobre la infraestructura tecnológica durante la etapa de pruebas, definiendo los nodos, entornos de ejecución y sus relaciones.

En el diagrama se identifican dos nodos principales:

- Local host, que actúa como servidor de desarrollo. En este nodo se encuentra el entorno de ejecución JRE, el cual aloja el contenedor de aplicaciones Apache Tomcat. Dentro de este contenedor se despliegan los componentes de GeoServer, encargado de publicar las capas geográficas como servicios web (WMS, WFS), y FARMIX, que implementa la lógica de interacción con el usuario.
- Cliente, que representa al usuario accediendo al sistema desde un navegador web, el cual consume los servicios proporcionados por los componentes alojados en el servidor local.

Este esquema refleja el despliegue actual del sistema en un entorno local de pruebas. Una vez finalizado el desarrollo, esta configuración será adaptada para su publicación en un servidor web accesible, manteniendo la misma estructura lógica definida en esta vista.

d. Figura 6. *Diagrama de despliegue*



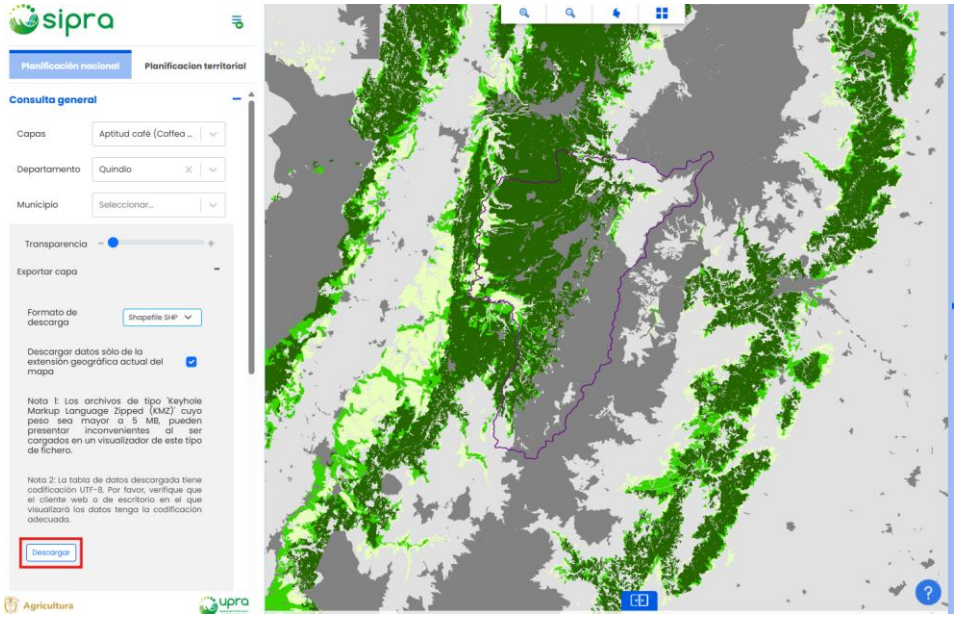
Fuente: Elaboración propia

7.3 Fase de Preparación de los Datos

Para garantizar la trazabilidad metodológica del geovisor, se documentó cada etapa del procesamiento de las capas de aptitud agrícola tomadas desde el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria - SIPRA, desde su descarga, su importación y recorte al departamento del Quindío, hasta la depuración de atributos, generación de zonas de compatibilidad en Arcgis Pro.

2. Se accedió al SIPRA y se seleccionaron las capas departamentales de aptitud para los cultivos de interés; a partir del menú de descarga se obtuvo cada archivo en formato shapefile con su proyección oficial.

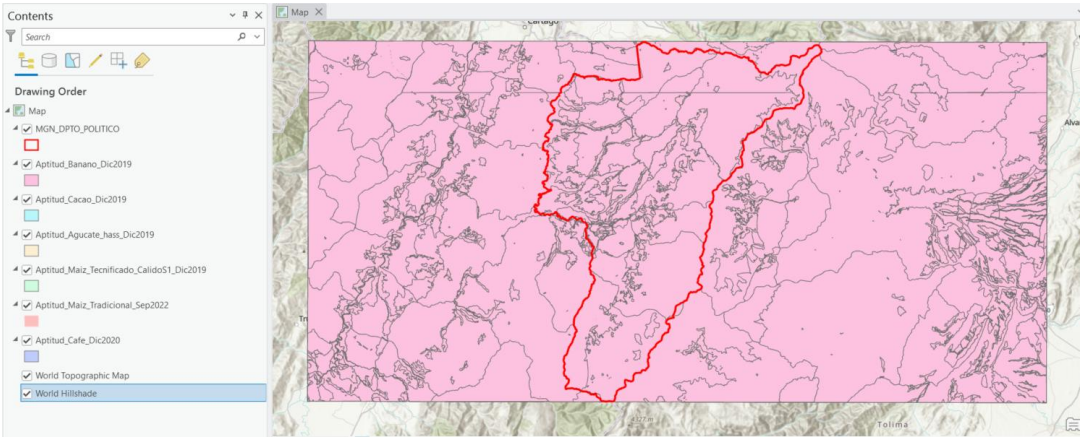
a. Figura 7. *Página del SIPRA*



Fuente: SIPRA

3. Las capas descargadas se incorporaron a un proyecto nuevo en Arcgis Pro, configurado con el sistema de referencia del SIPRA. En la vista de capas se verificó la correcta proyección y nomenclatura de cada insumo.

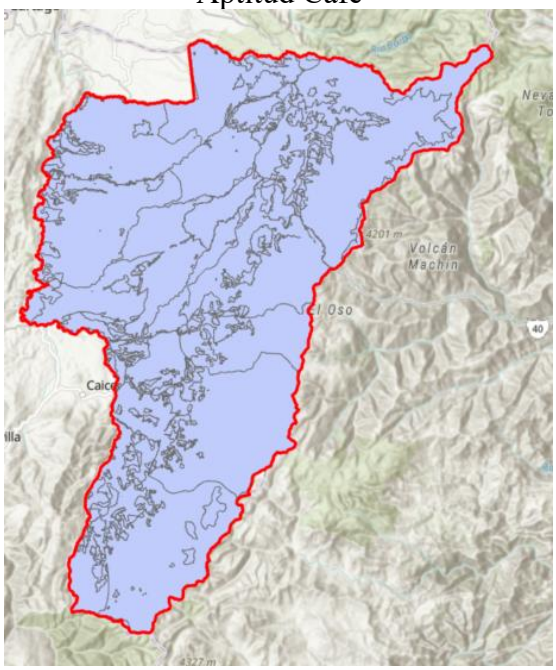
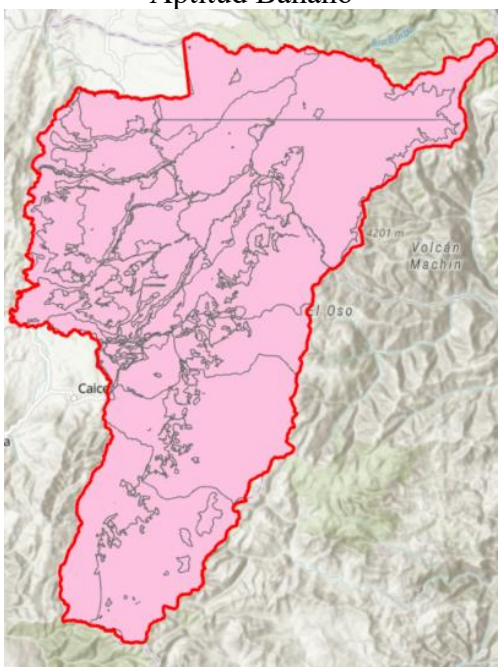
a. Figura 8. *Capas descargadas en ArcGIS sin procesar*



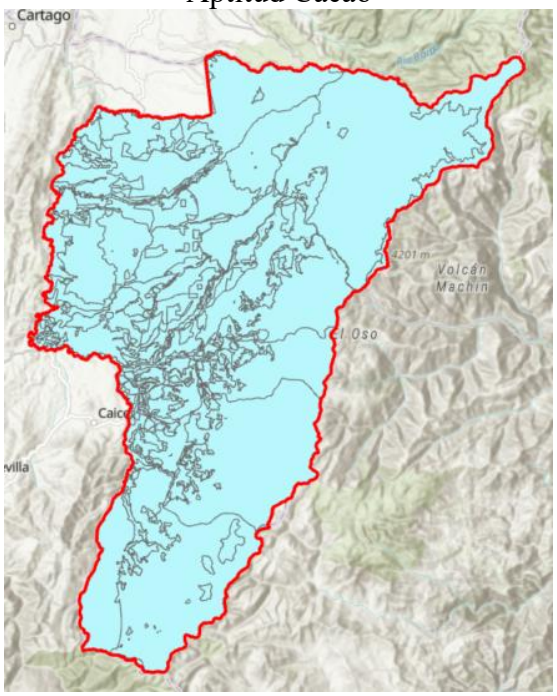
Fuente: SIPRA

4. Con la capa oficial de límites administrativos del DANE se extrajo el polígono del departamento del Quindío y se recortó cada capa de aptitud exclusivamente a este territorio.

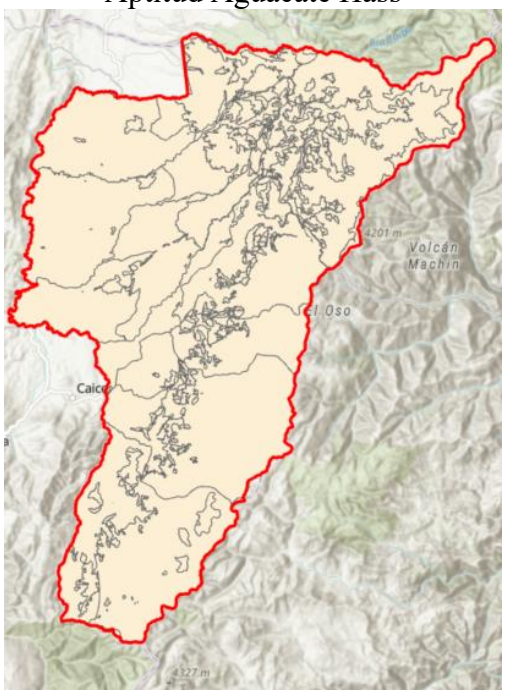
5. Tabla 5. *Insumos adaptados al área de estudio*

Aptitud Café	Aptitud Banano
	

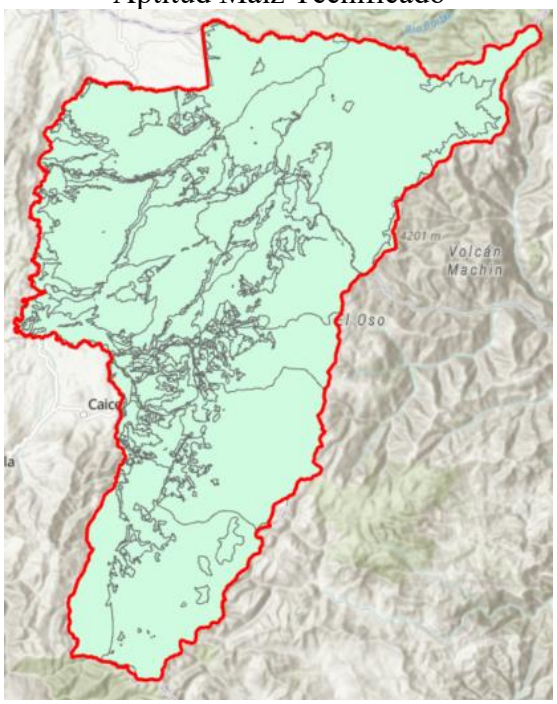
Aptitud Cacao



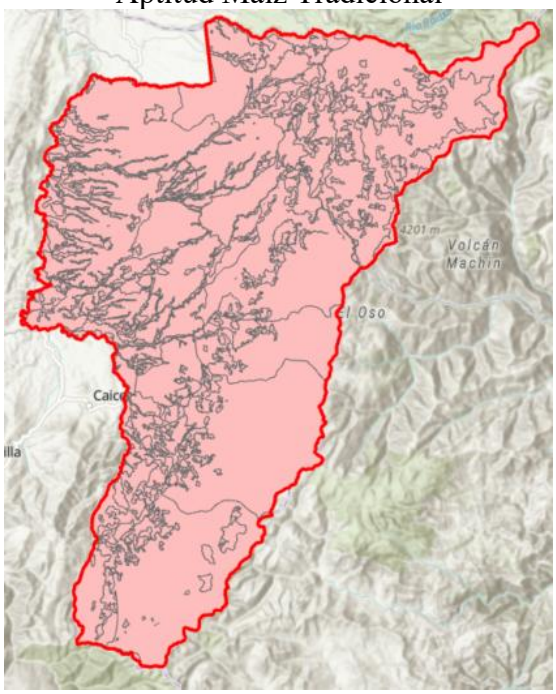
Aptitud Aguacate Hass



Aptitud Maíz Tecnificado



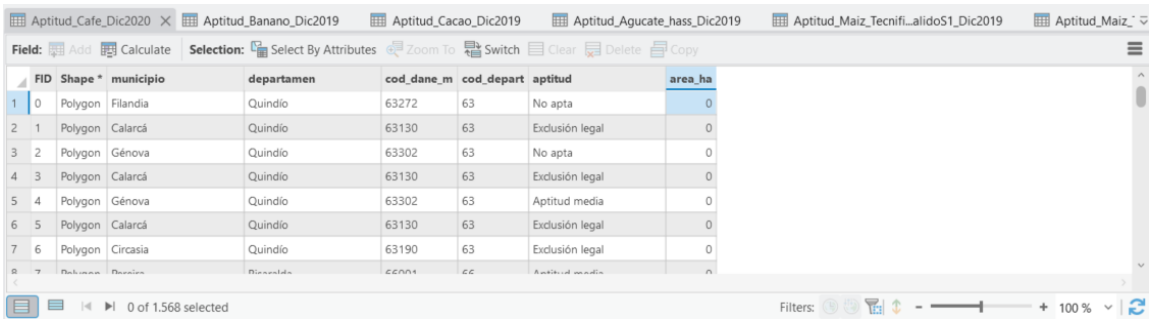
Aptitud Maíz Tradicional



Fuente: Insumos tomados del SIPRA (UPRA). Adecuación, elaboración propia

5. En la tabla de atributos se eliminaron campos irrelevantes, quedando únicamente los identificadores y la categoría de aptitud necesaria para el análisis.

a. Figura 9. *Depuración tabla de atributos*



	FID	Shape *	municipio	departamen	cod_dane_m	cod_depart	aptitud	area_ha
1	0	Polygon	Filandia	Quindío	63272	63	No apta	0
2	1	Polygon	Calarcá	Quindío	63130	63	Exclusión legal	0
3	2	Polygon	Génova	Quindío	63302	63	No apta	0
4	3	Polygon	Calarcá	Quindío	63130	63	Exclusión legal	0
5	4	Polygon	Génova	Quindío	63302	63	Aptitud media	0
6	5	Polygon	Calarcá	Quindío	63130	63	Exclusión legal	0
7	6	Polygon	Circasia	Quindío	63190	63	Exclusión legal	0

Fuente: Elaboración propia

6. Se generó una capa que muestra las áreas donde coinciden las zonas aptas de café y el cultivo alternativo, se generaron las zonas de compatibilidad teniendo en cuenta la clasificación definida por la UPRA: Aptitud alta, Aptitud media, Aptitud baja y No apta, también se tuvo en cuenta la clasificación de Exclusión legal. Adicionalmente, se calculó el área para cada categoría.

   En el flujo de preparación de las capas de aptitud para el geovisor, el geoproceso de intersección generó numerosos polígonos diminutos que complican la interpretación y recargaban el renderizado web. El siguiente script de ArcPy ejecuta Dissolve sobre esos resultados, fusionando en un solo polígono single part todas las geometrías que comparten el mismo código de municipio y la misma categoría de aptitud.

a. Figura 10. *ArcPy ejecución dissolve*

```
Python
import arcpy

# Entradas
input_fc = r"D:\ESPE\PG\Capas\AguacateHass_Cafe.shp"
output_fc = r"D:\ESPE\PG\Capas\AguacateHass_CafeDiss.shp"
campos_dissolve = ["departamen", "cod_depart", "municipio", "cod_dane_m", "aptitud", "area_ha" ]

# Ejecutar Dissolve
arcpy.Dissolve_management(
    in_features=input_fc,
    out_feature_class=output_fc,
    dissolve_field=campos_dissolve,
    multi_part="SINGLE_PART",
    unsplit_lines="DISSOLVE_LINES"
)
```

Fuente: Elaboración propia

Con ello se eliminan fronteras internas redundantes, se reduce drásticamente el número de entidades y se optimiza el peso de la capa, lo que acelera la carga en el visor y ofrece al usuario una lectura más limpia y comprensible de las zonas donde el café es compatible con los cultivos alternativos.

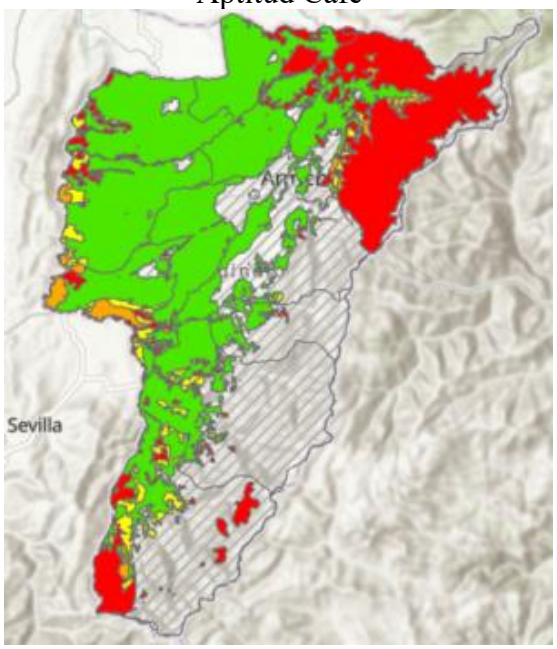
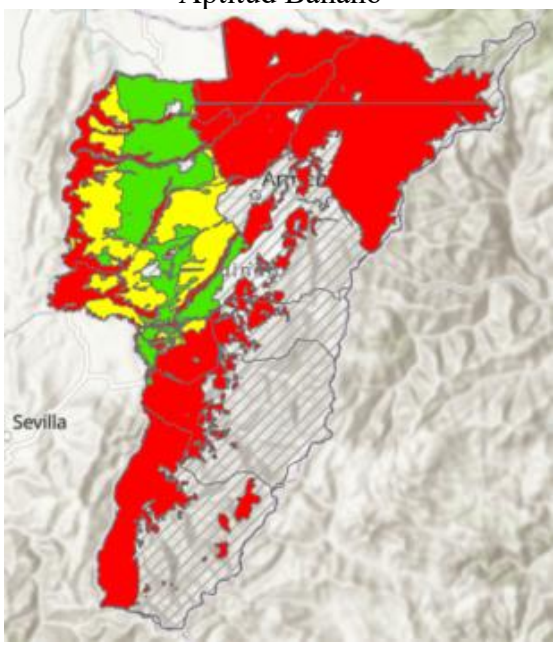
7. Se aplicó una rampa de colores coherente y se guardó el mismo estilo para todos los cultivos, de modo que la comparación visual sea inmediata en el geovisor.

a. Figura 11. *Leyenda*

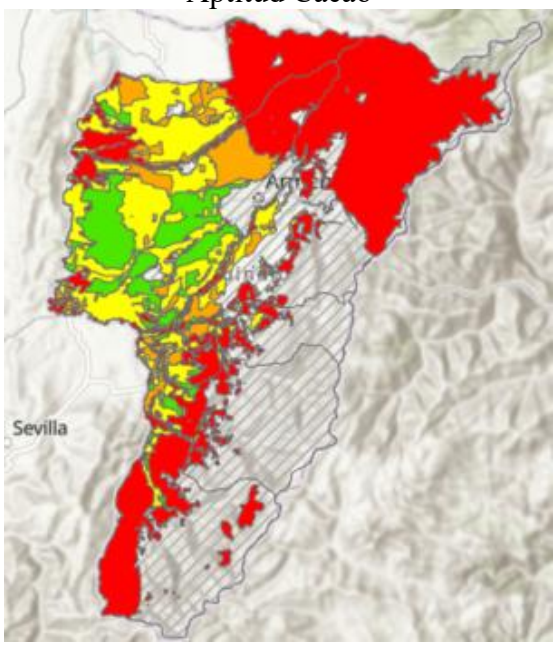


Fuente: Elaboración propia

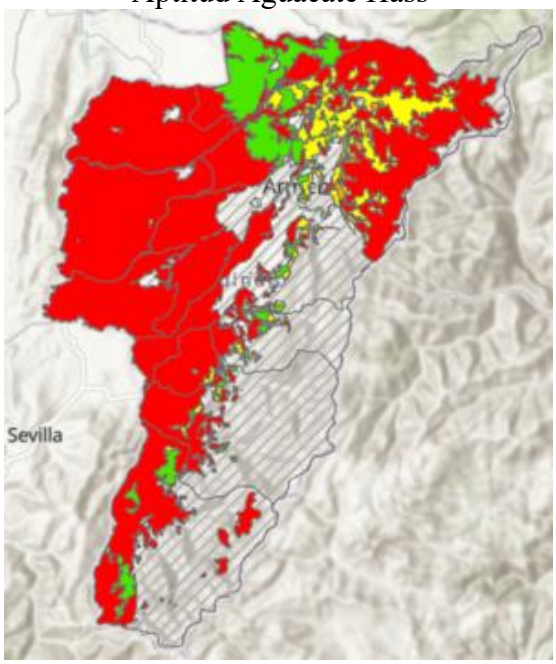
6. Tabla 6. *Zonificación*

Capas de aptitud clasificadas tomadas del SIPRA	
Aptitud Café	Aptitud Banano
	

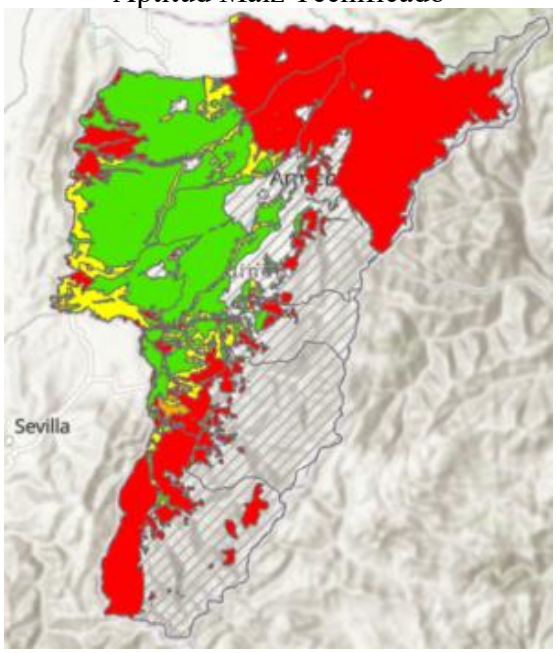
Aptitud Cacao



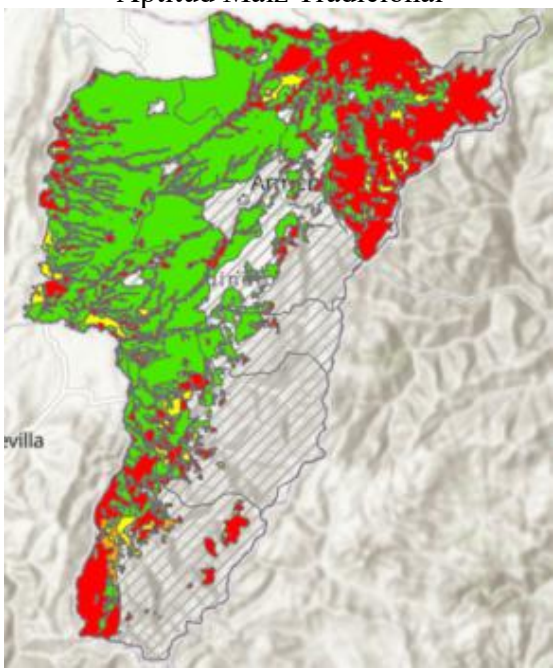
Aptitud Aguacate Hass



Aptitud Maíz Tecnificado

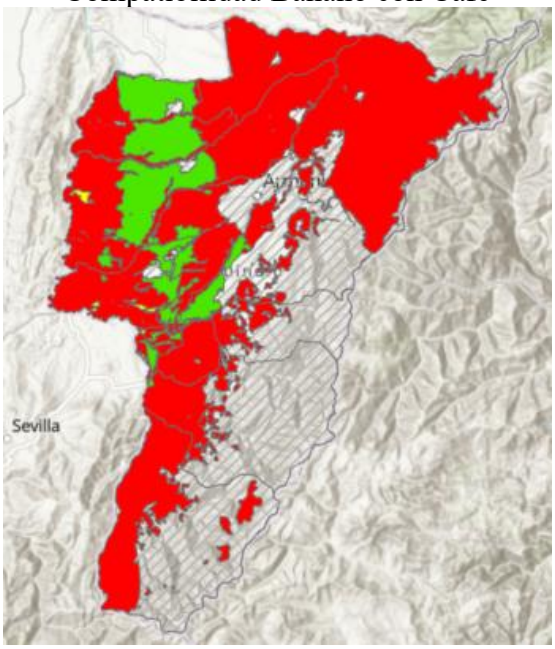


Aptitud Maíz Tradicional

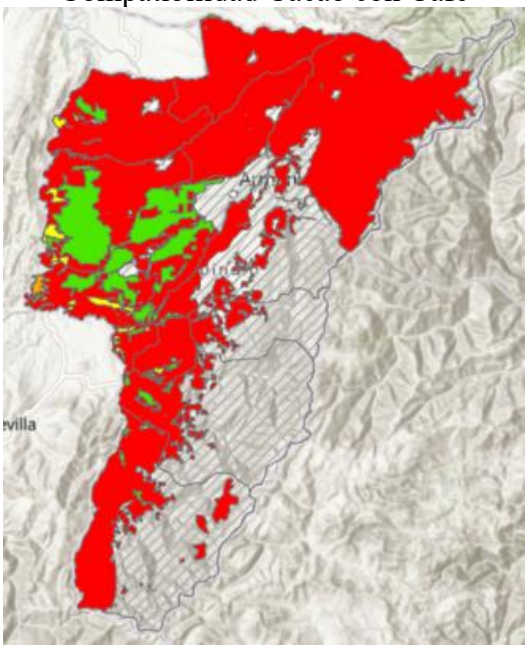


Capas resultantes de comparar aptitud de café con otro cultivo

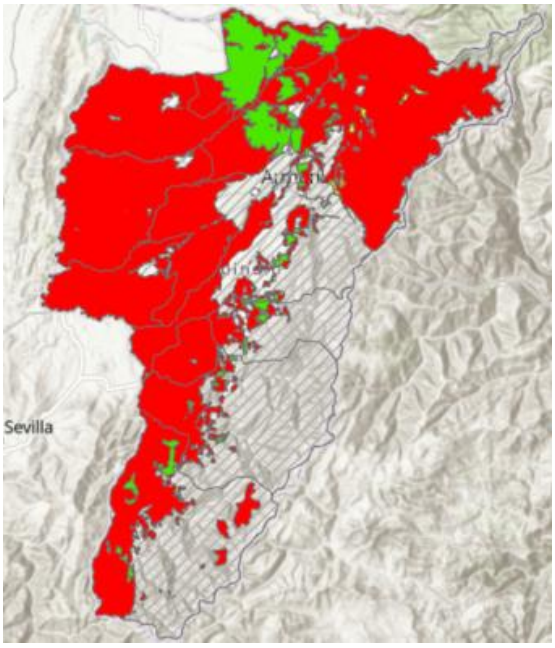
Compatibilidad Banano con Cafe



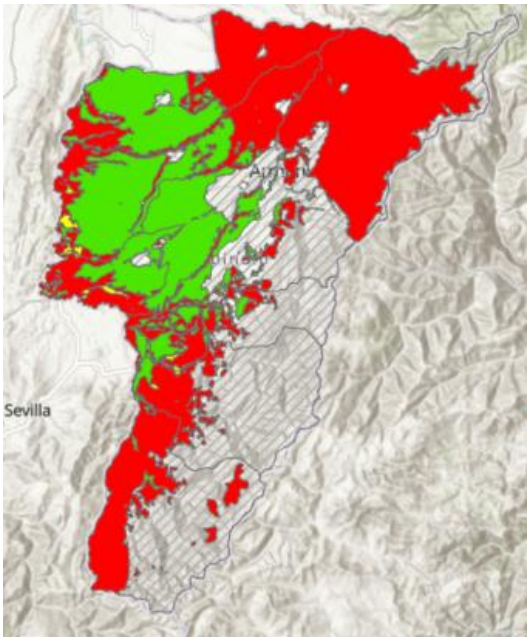
Compatibilidad Cacao con Cafe

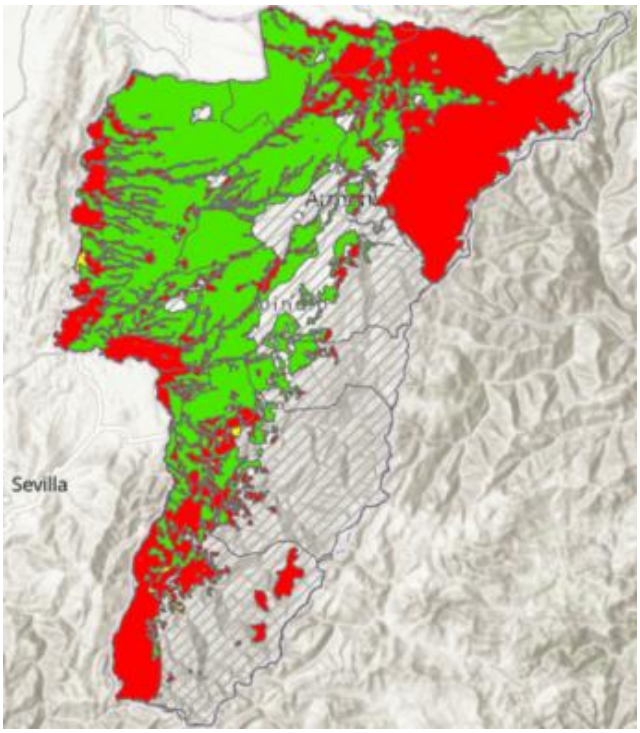


Compatibilidad Aguacate Hass con Cafe



Compatibilidad Aptitud Maíz Tecnificado con Cafe



Compatibilidad Maíz Tradicional con Cafe


Fuente: Elaboración propia

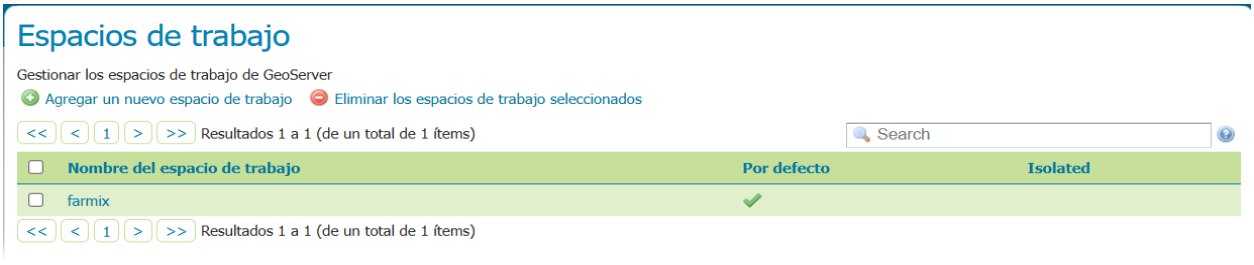
7.4 Fase de Implementación

Durante esta fase se integraron las capas procesadas al entorno web, configurando los servicios de publicación y conectando el visor a los datos geoespaciales resultantes. La implementación técnica se centró en estructurar el backend de servicios mediante GeoServer, vincularlo al framework Heron Mapping Client y garantizar que la visualización en el geovisor respondiera a los casos de uso definidos

Se realizó la instalación y configuración inicial de GeoServer como servidor de mapas para la publicación de los servicios geoespaciales. Esta herramienta permite gestionar la visualización y consulta de las capas procesadas durante la fase anterior, habilitando protocolos estándar de interoperabilidad.

Dentro de GeoServer se crearon espacios de trabajo dedicados al proyecto, lo que permitió organizar lógicamente las capas temáticas según los cultivos y facilitar su administración. Esta segmentación garantiza una mejor trazabilidad y mantenimiento de los recursos publicados.

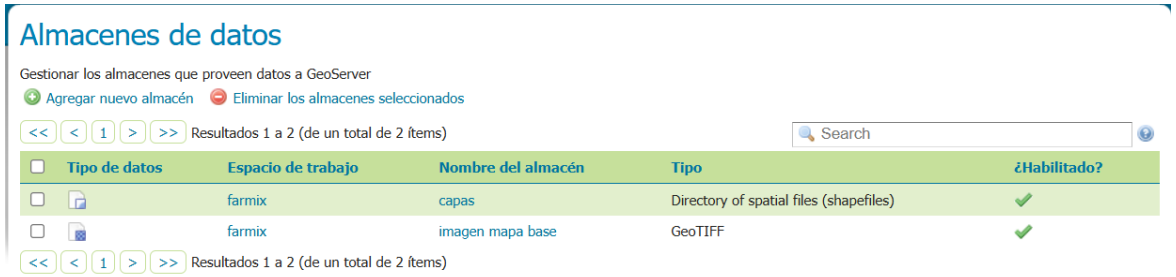
b. Figura 12. *Espacios de trabajo - Geoserver*



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se generaron los almacenes de datos necesarios para conectar GeoServer con las fuentes geográficas, tanto vectoriales como ráster. En este proceso se enlazaron capas shapefile locales, así como aquellas almacenadas en la base de datos PostgreSQL con extensión PostGIS, asegurando una conexión eficiente y permanente.

c. Figura 13. *Almacenes de datos - Geoserver*



Fuente: Elaboración propia

A partir de los almacenes definidos, se procedió a registrar las capas individuales en GeoServer. Cada capa fue vinculada al espacio de trabajo correspondiente y configurada con su sistema de referencia oficial, incluyendo los parámetros de visualización y extensión territorial.

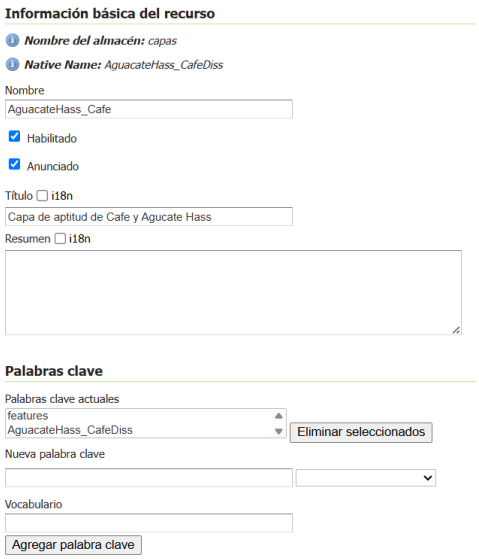
d. Figura 14. *Capas - Geoserver*



Fuente: Elaboración propia

Para cada capa publicada se activaron los servicios WMS, permitiendo su consumo a través del visor web. Se establecieron atributos como transparencia, escalas mínimas y máximas, y se habilitó la consulta de atributos mediante la herramienta GetFeatureInfo, garantizando su uso interactivo.

e. Figura 15. *Configuración de capas - Geoserver*



Fuente: Elaboración propia

Se aseguró que todas las capas compartieran el mismo sistema de referencia espacial, compatible con el visor y con la proyección original de los datos provenientes del SIPRA. Esta configuración evitó errores de sobreposición y garantizó la correcta alineación geográfica entre cultivos.

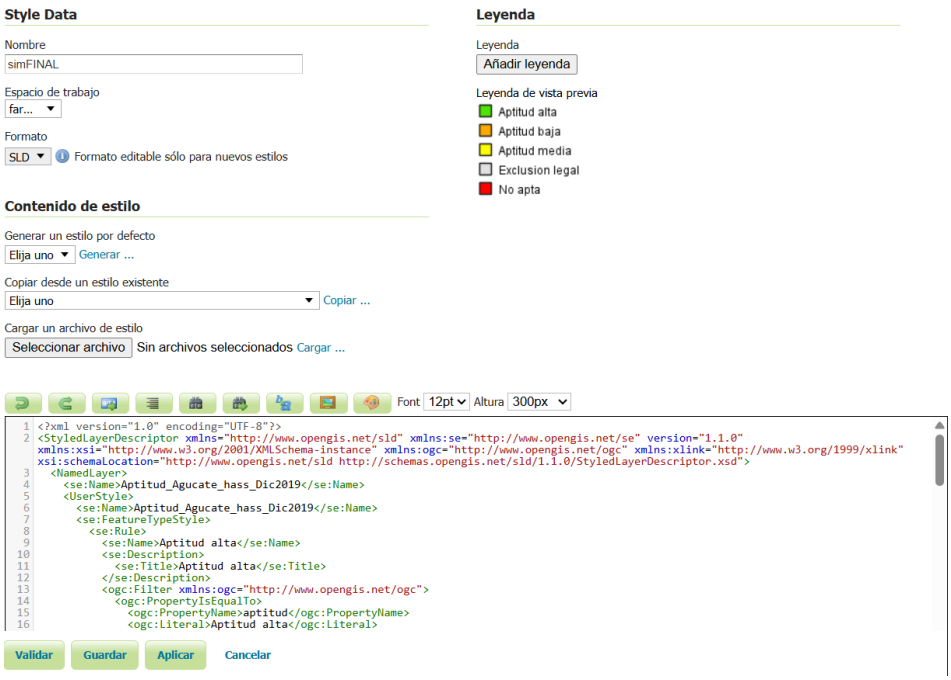
f. Figura 16. *Definición del sistema de referencia - Geoserver*



Fuente: Elaboración propia

Cada capa fue estilizada mediante archivos SLD, utilizando una simbología uniforme para las categorías de aptitud. Se aplicó una rampa de colores consistente que permite identificar fácilmente las clases “Aptitud Alta”, “Aptitud Media”, “Aptitud Baja”, “No apta” y “Exclusión legal”, facilitando la comparación entre cultivos en el geovisor.

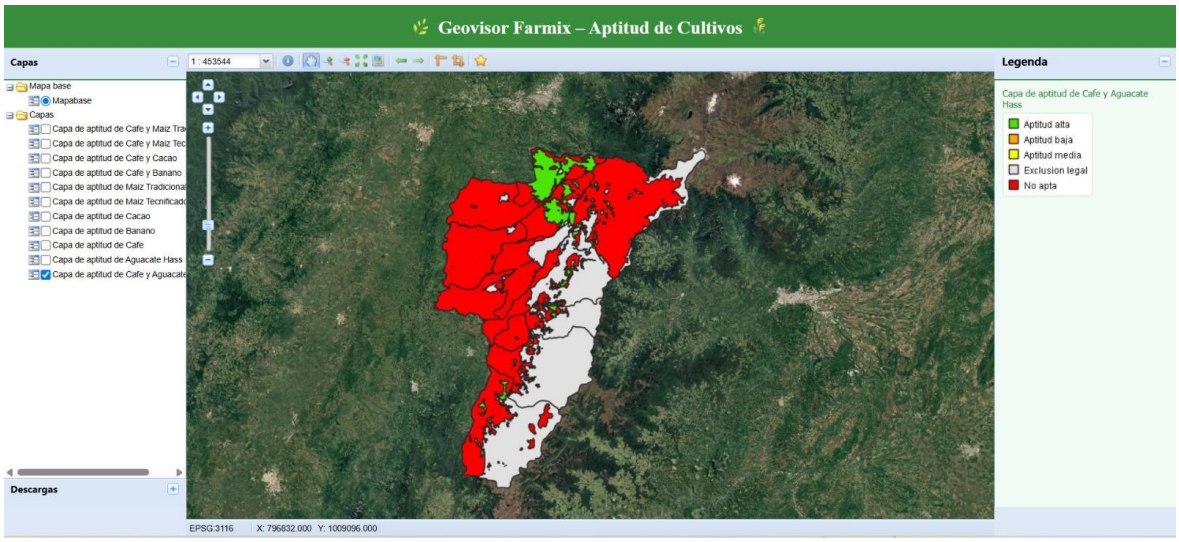
g. Figura 17. *Definición de estilos - Geoserver*



Fuente: Elaboración propia

El visor fue desarrollado utilizando la herramienta Heron Mapping Client, mediante la cual se conectaron los servicios publicados en GeoServer. Se configuraron los archivos del cliente para mostrar correctamente las capas, permitir la navegación interactiva, activar las consultas espaciales y aplicar los estilos definidos. El resultado de la implementación es un visor funcional que permite explorar zonas de compatibilidad agrícola entre el cultivo de café y otros cultivos estratégicos. La interfaz incluye herramientas para acercar, alejar, consultar atributos, alternar capas, y realizar análisis visuales comparativos de forma ágil y accesible.

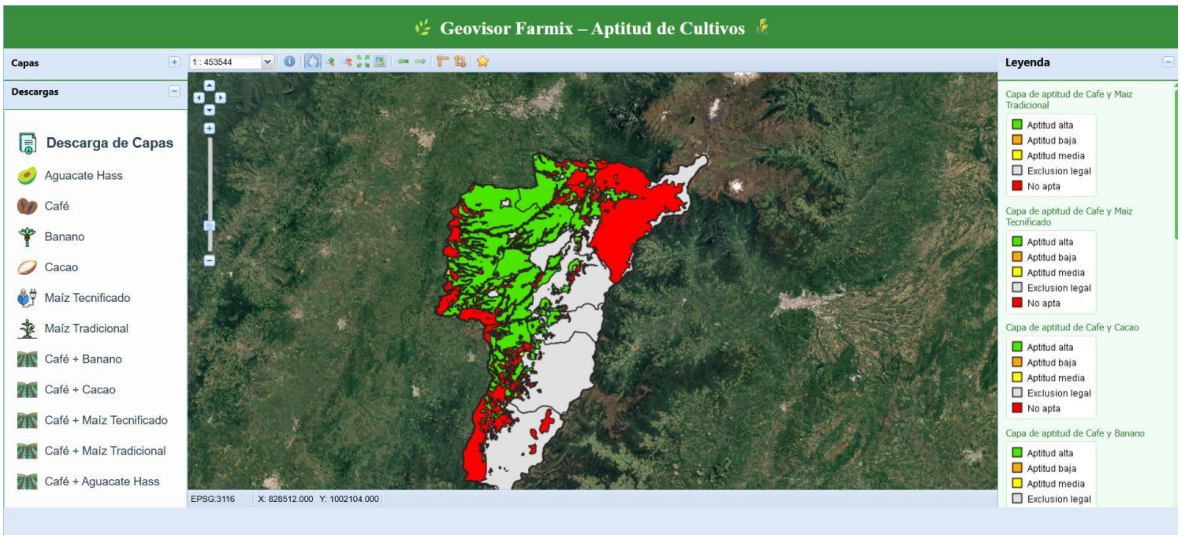
h. Figura 18. *Geovisor de compatibilidad de cultivos*



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se habilitó un módulo para descarga de datos desde el visor, permitiendo a los usuarios exportar las capas de compatibilidad en formato vectorial (shp). Esta funcionalidad complementa el análisis visual, al permitir trabajar con la información en software SIG externos para usos técnicos o institucionales.

i. Figura 19. *Sección de descargas*



Fuente: Elaboración propia

8. Conclusiones

- A partir del procesamiento y análisis conjunto de las capas de aptitud tomadas del SIPRA, fue posible delimitar zonas del departamento del Quindío donde el cultivo de café presenta condiciones edafoclimáticas compatibles con cacao, aguacate, banano, maíz tradicional y maíz tecnificado. Esta información busca ser una base técnica sólida para orientar decisiones productivas más eficientes y sostenibles.
- El desarrollo del geovisor exigió una caracterización detallada de los requerimientos funcionales y no funcionales necesarios para garantizar una herramienta intuitiva, accesible y adaptable a requerimientos futuros. Esta etapa permitió establecer criterios claros que guiaron la arquitectura del sistema y aseguraron la calidad del producto final.
- La interfaz web implementada permite visualizar de manera simultánea y comparativa las zonas compatibles entre cultivos, facilitando la interpretación por parte de agricultores, técnicos y tomadores de decisión. La simbología uniforme y las herramientas de consulta contribuyen a una experiencia intuitiva, respaldada por datos confiables y estandarizados.

9. Recomendaciones

- Se recomienda ampliar la cobertura del geovisor a otros departamentos del país y a nuevos cultivos estratégicos definidos por las entidades territoriales. Esta expansión permitiría replicar la metodología en diferentes contextos agroecológicos y fortalecer su utilidad a escala nacional.
- Con el fin de garantizar la vigencia y confiabilidad de los resultados, se recomienda mantener actualizada la base de datos del geovisor conforme se publiquen nuevas capas de aptitud agrícola por parte del SIPRA
- En próximas versiones, se sugiere incluir un indicador cuantitativo que exprese el porcentaje de compatibilidad entre un cultivo y otro, de tal forma que la herramienta pueda sugerir cuál cultivo es más recomendado según las condiciones del área consultada. Esto facilitará la interpretación de los resultados por parte de usuarios no especializados y fortalecerá la toma de decisiones técnicas con mayor precisión.
- Este geovisor puede ser utilizado como base para futuras investigaciones. El acceso a los insumos fuente, relacionados a variables edafoclimáticas como clima, toxicidad, oxígeno, humedad y disponibilidad de nutrientes, permitiría determinar la aptitud de uno o más cultivos según las condiciones específicas de esas combinaciones. La necesidad de generar herramientas que consoliden decisiones del agro basadas en datos responde a la urgencia de facilitar el acceso a tecnologías de planificación para pequeños y medianos agricultores, permitiéndoles identificar cultivos alternativos más productivos y sostenibles en función de las características de su territorio.

- Se sugiere evaluar otros frameworks más actuales y flexibles para el desarrollo del geovisor, que permitan mejorar la experiencia visual, la responsividad y la interacción con el usuario.
- Se recomienda evaluar la posibilidad de desplegar el geovisor en un servidor público o institucional, con el fin de garantizar su disponibilidad continua y evitar que su funcionamiento dependa exclusivamente de un entorno local controlado por el equipo desarrollador. Esta medida permitirá ampliar su alcance, facilitar el acceso por parte de terceros interesados y asegurar la sostenibilidad técnica del sistema en el mediano y largo plazo.

10. Referencias

Agencia de Desarrollo Rural. (2024). *Plan Departamental de Extensión Agropecuaria - Quindío 2024 a 2027*. https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2024/11/PDEA_Quindio_2024.pdf

Arhipova, I., Novikova, I., & Bitarov, A. (2021). *Development of agriculture based on geographic information technologies. E3S Web of Conferences, 282, 07019*. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/58/e3sconf_efsc2021_07019.pdf

Cabiativa, C. F., & Chaves, D. F. (2023). *GeoECA: geovisor para la optimización del servicio de recolección*. https://repository.udistrital.edu.co/bitstreams/44adc5ca-173e-4852-8767-ad3b454270f7/download

Camelo, H. D., & Tavera, L. D. (2023). *EcoOil: geovisor web para la identificación de plataformas inactivas de la industria de hidrocarburos*. https://repository.udistrital.edu.co/bitstreams/4489784f-f4d9-4c23-b3c6-ac0beed3dd18/download

Castillo, G. P. , & Ovelencio, L. F. (2024). *Tanetsi: Geovisor para la restauración en la Orinoquía Colombiana*. https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/ff2e55ce-58cc-4e12-af5b-16a6d5a0ece7/content

Cenicafé. (2015). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf

Choudhary, K., Boori, M. S., Shi, W., Valiev, A., & Kupriyanov, A. (2023). Agricultural land suitability assessment for sustainable development using remote sensing techniques with analytic hierarchy process. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 32*, 101051. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101051

Corporación colombiana de investigación agropecuaria AGROSAVIA. (2024). *Fichas de contexto: Café, Cacao, Aguacate, Banano, Maíz*. Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia. https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36470

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 41.146. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=276

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 152 de 1994, por la cual se establece la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo*. Diario Oficial No. 41.450. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=351

Congreso de Colombia. (1994). *Ley 160 de 1994, por la cual se crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 41.479. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=364

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2024). *Boletín técnico: Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH), mayo-julio 2024*. https://www.dane.gov.co/files/operaciones/GEIH/bol-GEIHMLPC-may-jul2024.pdf

Favor, K, & National Center for Appropriate Technology. (2022.). *Coffee and avocado agroforestry: The perfect pair for your plate and the planet*. https://attra.ncat.org/coffee-and-avocado-agroforestry-the-perfect-pair-for-your-plate-and-the-planet/

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2e90c833-8e84-46f2-a675-ea2d7afa4e24/content

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2021). *State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point*. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ecb51a59-ac4d-407a-80de-c7d6c3e15fcc/content

Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (2024). *Capacitación en buenas prácticas para el cultivo de aguacate en Quindío*. https://www.ica.gov.co/noticias/capacitacion-aguacate-quindio

Méndez, J. E. (2023). *Zonificación de áreas con potencial agroforestal para la producción de frijol (Phaseolus vulgaris) en asociación con plantaciones forestales comerciales en el departamento del Tolima* https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/56230/jemendezv.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *Resolución 261 de 2018, por la cual se define la Frontera Agrícola Nacional y se adopta la metodología para su identificación*.

https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Resoluciones/Resoluci%C3%B3n%20No%20000261%20de%202018.pdf

Quitian, V., & Vargas, M.A. (2024). *GeoICAR: Geovisor para realizar seguimiento a la calidad del recurso hídrico en la jurisdicción de la CAR Cundinamarca*. https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/176b103c-a184-4cfa-ab40-2f8e446647fb/content

Raihan, A., Rahman, M., & Islam, R. (2023). *A systematic review of geographic information systems (GIS) in agriculture for evidence-based decision making and sustainability.* https://www.researchgate.net/profile/Asif-Raihan-2/publication/377209095

Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Rasoli, L., Kerry, R., & Scholten, T. (2020). Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine learning models. *Agronomy, 10*(4), 573. https://doi.org/10.3390/agronomy10040573

Visure Solutions. (s.f.). *Requisitos funcionales y no funcionales: guía de trazabilidad de gestión de requisitos*. https://visuresolutions.com/es/gu%C3%ADa-de-trazabilidad-de-gesti%C3%B3n-de-requisitos/requisitos-funcionales-vs-no-funcionales/