

Plataforma web con SIG para la gestión del inventario arbóreo de UniPutumayo

Yeiner Adrian Angulo Ordoñez

Institución Universitaria del Putumayo UNIPUTUMAYO

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Ingeniería de sistemas

Mocoa-Putumayo

2026

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi madre, por su apoyo incondicional, su esfuerzo constante y su motivación permanente a lo largo de todo este proceso académico. Su acompañamiento ha sido fundamental para alcanzar este logro

De igual manera, manifiesto mi profundo agradecimiento a mi asesor, Jairo Quintero, por su orientación, compromiso y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo de grado. Su guía fue clave para la consolidación de este proyecto.

A los docentes de los programas de Ingeniería Ambiental y Forestal, quienes contribuyeron con sus conocimientos, observaciones y recomendaciones, fortaleciendo el enfoque técnico y académico de la investigación.

Finalmente, agradezco a los estudiantes que participaron y colaboraron en las pruebas y validación del sistema, cuyo apoyo permitió enriquecer los resultados y garantizar la pertinencia de la solución desarrollada.

Resumen

En el paradigma tecnológico contemporáneo, las arquitecturas basadas en entornos web constituyen el estándar predominante para la transferencia de datos y la interoperabilidad global. En este contexto, la presente investigación detalla el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de información geográfica (SIG) bajo entornos web, orientado específicamente a la gestión técnica del inventario arbóreo de la Institución Universitaria del Putumayo (UniPutumayo).

La problemática central se deriva de la ineficiencia operativa en la administración de activos botánicos, cuya gestión se ha ejecutado históricamente de forma analógica y descentralizada. Esta condición genera una fragmentación de la información que compromete la integridad de los datos y, en consecuencia, limita significativamente las capacidades de análisis espacial y producción de conocimiento científico especializado en los programas de Ingeniería Ambiental y Forestal.

Ante el escenario descrito, el objetivo primordial consistió en la ingeniería de una plataforma centralizada que optimice la arquitectura de la información y la accesibilidad institucional. El sistema permite la georreferenciación precisa y la visualización cartográfica interactiva de los especímenes biológicos. El ciclo de vida del desarrollo se fundamentó en el marco de trabajo ágil Scrum, estructurando el proceso de Sprints de desarrollo para garantizar una arquitectura de software escalable y un modelo de datos relacional con alta integridad referencial.

Como resultado de la implementación, se obtuvo una solución tecnológica funcional que integra coordenadas espaciales y estándares taxonómicos internacionales. El sistema permite la

consulta eficiente de variables biométricas y fitosanitarias, proyectando una optimización superior al 70% en los tiempos de latencia y recuperación de información en comparación con los procesos manuales precedentes.

La implementación de esta infraestructura tecnológica representa un avance significativo en la transformación digital de la gestión ambiental regional. Asimismo, fortalece la capacidad de investigación científica y la gobernanza del patrimonio biológico en la región de la Amazonía colombiana.

Tabla de contenido

1. Introducción	7
2. Planteamiento del problema	10
2.1 Interrogante de investigación:	12
3. Justificación	13
3.1 Selección de tecnología: Leaflet vs ArcGIS	15
4. Objetivos	17
4.1 Objetivo general	17
4.2 Objetivos específicos	17
5. Marco de referencia	19
5.1 Marco teórico	19
5.2 Marco conceptual	22
5.3 Marco contextual	27
5.4 Marco legal	28
6. Metodología	31
6.1 Enfoque de investigación	31
6.2 Tipo de investigación	32
6.3 Diseño de investigación	32
6.4 Alcance de investigación	32
6.5 Método de investigación	32
6.6 Población y muestra	33
6.7 Técnicas e instrumento de recolección de información	33
6.8 Desarrollo del sistema	34
6.9 Método de medición y validación	34
6.10 Especificación de estándares geoespaciales y resolución de datos	35
7. Resultados y evidencias visuales	36
7.1 Uso del inventario arbóreo	37
7.2 Nivel de dominio en SIG	37
7.3 Evaluación del sistema actual	37
7.4 Necesidades de una plataforma SIG	37
7.5 Requerimientos funcionales y usabilidad	38
7.6 Interpretación técnica global	39
7.7 Análisis estadístico de resultados	41
7.8 Análisis cuantitativo	61
7.8.1 Usabilidad del sistema	61
7.8.2 Funcionalidad	62

7.8.3 Impacto académico	64
7.8.4 Percepción de satisfacción y sostenibilidad	65
7.9 Análisis cualitativo.....	66
7.9.1 Aspectos más útiles de la plataforma.....	66
7.9.2 Dificultades encontradas	66
7.9.3 Propuestas de mejora	67
7.9.4 Síntesis de resultados	67
7.9.5 Procedimiento de medición y validación de datos	71
7.9.6 Integración con la evaluación de usuarios	74
7.9.7 Procedimiento de evaluación funcional.....	74
7.9.8 Discusión de resultados	76
7.9.9 Análisis de seguridad y mitigación de vulnerabilidades	77
8. Conclusiones	78
9. Recomendaciones	80
10. Limitaciones.....	82
11. Referencias	82
12. Anexos.....	88

1. Introducción

En el actual ecosistema de transformación digital, la gestión de la biodiversidad exige una convergencia tecnológica que permita migrar de registros analógicos hacia sistemas dinámicos de procesamiento de datos espaciales (Pérez & Gómez, 2017). Para la Institución Universitaria del Putumayo (UniPutumayo), ubicada en un entorno de la Amazonía colombiana, el componente arbóreo del campus representa un recurso fundamental para el desarrollo de procesos académicos, investigativos y de gestión ambiental. La presencia de una cobertura vegetal diversa permite fortalecer la formación práctica de los estudiantes y apoyar iniciativas orientadas a la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad regional, regido por las políticas institucionales de gestión ambiental (Universidad del Putumayo, 2022). Sin embargo, la dependencia histórica de metodologías tradicionales y la dispersión de datos han generado un cuello de botella tecnológico que compromete el análisis técnico avanzado y la gobernanza de la información (Laudon & Laudon, 2022).

Para solventar esta limitación, la presente investigación propone el desarrollo de una plataforma web con integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta solución técnica está diseñada para centralizar y georreferenciar el inventario arbóreo institucional bajo estándares de geociencia moderna (Chang, 2019; Esri, 2022). El sistema busca eliminar las dificultades actuales para ejecutar análisis espaciales complejos —como la identificación de nichos ecológicos o la correlación de variables ambientales con el crecimiento dendrométrico—,

optimizando los flujos de trabajo que anteriormente dependían de procesos manuales propensos al error (Moreno & López, 2021).

Desde la óptica de la ingeniería, el proyecto se sustenta en la intersección entre la Ingeniería de Software y la Geoinformática (Burrough et al., 2015; Sommerville, 2016). Se ha definido una arquitectura robusta bajo patrones de diseño empresariales (Fowler, 2019) y un modelo de datos relacional que garantiza la integridad de las variables taxonómicas y biométricas (Ramakrishnan & Gehrke, 2020). La funcionalidad SIG permite asignar coordenadas espaciales de alta precisión, asegurando la interoperabilidad con estándares internacionales y la calidad del producto según la norma ISO/IEC 25010 (ISO/IEC, 2011).

La ejecución del proyecto se rige por un enfoque de investigación mixto (Hernández Sampieri et al., 2018) y el marco de trabajo ágil Scrum, permitiendo un desarrollo iterativo que responde a las necesidades reales de los usuarios (Sutherland, 2014). El despliegue se estructura rigurosamente en las siguientes cuatro fases:

1. Análisis de requerimientos: Identificación de necesidades funcionales y variables bióticas (Pressman & Maxim, 2019).
2. Diseño arquitectónico: Modelado de la base de datos espacial y definición de la interfaz de usuario UI/UX (Nielsen, 2020).
3. Implementación tecnológica: Codificación del backend, frontend y migración de datos al entorno SIG.
4. Validación técnica: Pruebas de estrés y evaluación de desempeño mediante indicadores clave (KPI).

El impacto de esta herramienta busca instituir una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) a escala de campus (Rajabifard & Williamson, 2001). Esto fortalecerá las competencias en botánica digital de los programas de Ingeniería Ambiental y Forestal, alineando a la institución con el marco legal colombiano, específicamente en materia de gestión ambiental (Congreso de la República de Colombia, 1993), protección de datos (Congreso de la República de Colombia, 2012) y transparencia en el acceso a la información (Congreso de la República de Colombia, 2014). En última instancia, se proyecta una optimización operativa con una reducción estimada del 70% en los tiempos de respuesta, posicionando a UniPutumayo como un referente en el manejo estratégico de recursos naturales en la región amazónica (Universidad del Putumayo, 2024).

2. Planteamiento del problema

La región amazónica colombiana se consolida como uno de los ecosistemas de mayor complejidad biológica y valor estratégico a escala global (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992). En este marco, la Institución Universitaria del Putumayo (UniPutumayo) ejerce una función crítica como depositaria de la biodiversidad local a través de sus campus y áreas de reserva, bajo sus políticas institucionales de gestión ambiental (Universidad del Putumayo, 2022). El inventario arbóreo institucional no representa simplemente un componente ornamental; constituye una “base de datos viva” indispensable para la investigación científica, la conservación ex situ y la planificación del ordenamiento territorial (Heywood & Wyse Jackson, 2021; Maunder et al., 2020).

La brecha tecnológica y operativa a pesar de la relevancia de este patrimonio, su gestión técnica enfrenta actualmente un desafío estructural: una asincronía crítica entre el volumen de datos biológicos generados y las capacidades tecnológicas para su administración. Mientras la ciencia forestal contemporánea evoluciona hacia la geoinformática y el monitoreo dinámico (Chang, 2019; Longley et al., 2023), la institución persiste en modelos de gestión que dependen de metodologías tradicionales, lo cual restringe la capacidad de respuesta ante las exigencias de la economía digital y las demandas académicas actuales (Laudon & Laudon, 2022; O'Reilly, 2021).

Esta problemática se manifiesta a través de los siguientes nodos críticos:

1. Ausencia de integración geoespacial del inventario arbóreo.

Actualmente, la ubicación de los ejemplares botánicos carece de una integración sistemática con coordenadas geográficas precisas. Esta desconexión impide asociar de forma unívoca los datos dendrométricos, tales como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total y el estado fitosanitario— con una representación espacial digital (Moreno & López, 2021). En consecuencia, resulta técnica y operativamente imposible generar modelos de distribución de especies o realizar un seguimiento multitemporal de la salud forestal basado en principios de ciencia de información geográfica (Burrough et al., 2015; Goodchild, 2018).

2. Fragmentación y dispersión de la información técnica.

Los datos recolectados en campo se encuentran dispersos en repositorios heterogéneos, tales como hojas de cálculo aisladas o registros físicos sin normalización. Esta fragmentación no solo provoca la duplicidad de esfuerzos, sino que genera una vulnerabilidad alta ante la pérdida de información histórica vital, contraviniendo los principios de integridad de los sistemas de gestión de bases de datos modernos (Ramakrishnan & Gehrke, 2020; Silberschatz et al., 2019).

3. Ineficiencia en los procesos de consulta y recuperación de información.

Los procesos actuales de búsqueda de información técnica presentan tiempos de respuesta elevados. La inexistencia de un punto de consulta centralizado obliga a realizar filtrados manuales, lo que reduce drásticamente la agilidad en la producción de conocimiento científico y afecta la usabilidad de la información técnica (Nielsen, 2020; Tufte, 2006).

4. Impacto académico y limitaciones en la formación profesional.

Desde la perspectiva de la formación profesional, la carencia de herramientas digitales avanzadas crea una brecha competitiva en los estudiantes de Ingeniería Ambiental y Forestal. Al no disponer de un entorno práctico para la interacción con datos espaciales reales, se limita la

capacidad para realizar análisis de correlación compleja, necesarios en el mercado laboral actual (Pérez & Gómez, 2017).

5. Deficiencia en la arquitectura de información institucional.

Desde la óptica de la Ingeniería de Sistemas, el problema se define como una insuficiencia en la arquitectura de información institucional (Sommerville, 2016). No existe un ecosistema que garantice la interoperabilidad y escalabilidad de los datos bajo estándares internacionales (Global Biodiversity Information Facility [GBIF], 2024; ISO/IEC, 2011). La ausencia de esta infraestructura impide que la institución transite hacia modelos de Smart Campus o sistemas de gestión ambiental basados en datos (Data Driven Management), relegando a la universidad a una posición de desventaja en la gobernanza del conocimiento ambiental regional (Pinchot & Pinchot, 1997; Universidad del Putumayo, 2024).

Interrogante de investigación. Tras identificar la brecha tecnológica en la gestión del inventario, surge el siguiente cuestionamiento:

2.1 Interrogante de investigación:

¿De qué manera el desarrollo de una plataforma web con integración de sistemas de información geográfica (SIG) optimiza la eficiencia operativa, análisis espacial y la accesibilidad técnica del inventario arbóreo en la Institución Universitaria del Putumayo?

3. Justificación

La implementación de una plataforma web integrada con sistema de información geográfica (SIG) para la implementación del inventario arbóreo en la Institución Universitaria del Putumayo se justifica por una convergencia estratégica entre la innovación tecnológica y la necesidad imperativa de conservar el patrimonio biológico de la Amazonía colombiana. Esta intervención no representa únicamente un avance administrativo, sino una transformación estructural en la manera en que la institución captura, procesa y proyecta el conocimiento científico ambiental.

Desde la perspectiva de la Ingeniería de Sistemas, este proyecto se fundamenta en la necesidad de modernizar la infraestructura de datos institucional. La transición de registros análogos o fragmentados hacia una arquitectura web robusta permite la centralización de la información, garantizando la integridad, disponibilidad y escalabilidad de los datos.

La integración de herramientas SIG es el componente diferenciador técnico de esta propuesta. A diferencia de las bases de datos convencionales, un sistema georreferenciado permite el tratamiento de datos espaciales, facilitando la realización de geoprosesamientos que son vitales para la ingeniería forestal moderna. La implementación de una arquitectura cliente servidor, bajo estándares de desarrollo web actuales, asegura que la plataforma sea accesible desde cualquier dispositivo con conexión a la red, eliminando las barreras físicas que actualmente limitan el acceso a información del inventario.

Además, la adopción del marco de trabajo Scrum justifica la viabilidad del proyecto, permitiendo el desarrollo iterativo que mitiga riesgos de software y asegura que el producto final cumpla estrictamente con los requisitos funcionales de los usuarios finales (estudiantes, docentes e investigadores).

La relevancia académica de esta investigación es profunda. UniPutumayo, al estar inmersa en una región de biodiversidad crítica, tiene la responsabilidad de liderar procesos de alto impacto. La plataforma propuesta actuará como un catalizador para la producción científica en programas de Ingeniería Forestal e Ingeniería Ambiental.

Al proporcionar una herramienta que permite visualizar patrones de distribución, estados fitosanitarios y variables dendrométricas de forma georreferenciada, se dota a la comunidad académica de un laboratorio digital permanente. Esto no solo facilita la elaboración de tesis y artículos científicos de mayor rigor técnico, sino que también fortalece el desarrollo de competencias en Geoinformática y Botánica Digital entre los estudiantes, preparándose para un mercado laboral globalizado que demanda el manejo experto de tecnologías de información geográfica para la toma de decisiones ambientales.

A nivel institucional, el proyecto se alinea con las políticas de transformación digital y los objetivos de desarrollo sostenible de la universidad. La optimización operativa es un beneficio directo: se estima una reducción del 70% en los tiempos de respuesta para la recuperación de datos e información técnica. Esta eficiencia se traduce en una mejor gestión de los recursos humanos y técnicos del área de laboratorio y granjas experimentales.

Asimismo, contar con un inventario arbóreo digitalizado y georreferenciado eleva el estatus institucional ante organismos de acreditación y redes de investigación nacionales e

internacionales. La plataforma permite a la universidad demostrar de manera transparente y técnica su compromiso con el manejo de sus áreas verdes, facilitando auditorías ambientales y reportes de sostenibilidad que son exigidos por autoridades competentes.

El proyecto se encuentra con sólido respaldo en el marco normativo colombiano. La ley 99 de 1993, que crea el Ministerio del Medio Ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), establece la importancia de la información científica y técnica para la gestión ambiental. De igual manera, la ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales asegura que el manejo de la información institucional se realice bajo parámetros de seguridad informática, aspecto que la plataforma web garantiza mediante protocolos de autenticación de usuario.

Desde la dimensión ambiental, la Amazonía requiere que cada acción antrópica sea monitoreada. El inventario arbóreo georreferenciado es una herramienta de conservación preventiva; que permite detectar de forma temprana afectaciones en la cobertura vegetal del campus, planificar procesos de reforestación con especies nativas y proteger individuos arbóreos que, por su valor ecosistémico o taxonómico, requieren especial atención.

3.1 Selección de tecnología: Leaflet vs ArcGIS

La decisión de implementar la biblioteca Leaflet en lugar de soluciones propietarias como ArcGIS se fundamenta en un análisis comparativo de sostenibilidad, rendimiento y flexibilidad técnica para la Institución Universitaria del Putumayo:

Sostenibilidad económica e independencia tecnológica: Leaflet es una biblioteca Open Source bajo licencia BSD, lo que garantiza que la universidad pueda mantener, modificar y escalar el sistema de inventario arbóreo de forma indefinida sin incurrir en costos de

licenciamiento recurrentes. El uso de ArcGIS implica dependencia económica y técnica de terceros, lo cual compromete la viabilidad del proyecto a largo plazo ante posibles cambios en las políticas de costo de Esri.

Eficiencia en el rendimiento de red: Mientras que los visores de ArcGIS suelen ser robustos pero pesados en términos de transferencia de datos, Leaflet posee un núcleo sumamente ligero (aproximadamente 39 KB). Esta característica es crítica para el éxito del proyecto, ya que permite la carga fluida de los mapas y el inventario en dispositivos móviles utilizados en campo, donde la cobertura de red de datos puede ser inestable o limitada.

Personalización y extensibilidad: Leaflet ofrece una arquitectura basada en plugins que permiten integrar funciones específicas en MySQL de manera más flexible. Esto facilita el desarrollo de herramientas a medida para la visualización de capas vectoriales de árboles, sin las restricciones de los marcos de trabajo cerrado de las herramientas comerciales.

Interoperabilidad geográfica: Al ser una herramienta estándar en la web, Leaflet asegura que la información capturada bajo estándar WGS84 pueda ser consumida por otras plataformas SIG institucionales en el futuro a través de formatos abiertos como GeoJSON o servicios WMS.

En conclusión, la ejecución de esta plataforma generará un impacto multidimensional. Facilitará la gestión administrativa, potenciará la investigación académica, fortalecerá la formación profesional de los estudiantes y contribuirá a la preservación del entorno natural universitario. Es una solución costo eficiente que aprovecha las tecnologías de software libre y SIG para resolver problemas históricos de fragmentación de datos, posicionando a UniPutumayo a la vanguardia de la gestión tecnológica ambiental en la región del Putumayo.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Crear e implementar una plataforma web que use herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) para registrar y ubicar el inventario arbóreo georreferenciado, para optimizar la organización y accesibilidad de la información para la Universidad del Putumayo (UniPutumayo).

4.2 Objetivos específicos

1. Analizar y diagnosticar los requerimientos funcionales y no funcionales para el diseño de la plataforma web, incluyendo las especificaciones técnicas para la integración de funcionalidades de sistemas de información geográfica (SIG).

Evidencia: Documento de especificaciones de requerimientos de software (ERS) (ver Anexo 2.) y Matriz de requerimientos priorizado (product backlog) (ver Anexo 3).

2. Diseñar la arquitectura de la solución tecnológica, incluyendo el modelo de base de datos relacional para la gestión de inventario y el prototipo de interfaz de usuario con visualización cartográfica.

Evidencia: Diagrama de arquitectura (C4 o capas) (ver Figura 1), Modelo Entidad Relación (MER) (ver Figura 2) y mockup de alta fidelidad (UI/UX) (ver Figura 3).

3. Desarrollar e implementar la plataforma web utilizando un stack tecnológico adecuado que permita la digitalización, georreferenciación y consulta de datos del inventario arbóreo.

Evidencia: Módulo funcional de mapas iterativos (ver Figura 4), repositorios de código fuente (ver Figura 5) y plataforma web desplegada en entorno local (ver Figura 6).

4. Evaluar la funcionalidad de la plataforma mediante pruebas y capacitar a usuarios claves para asegurar una correcta adopción y un manejo eficiente del sistema.

Evidencia: Informe de resultados de pruebas funcionales (Caja negra), reporte de indicadores (KPIs) y Guías de usuario.

5. Marco de referencia

El presente trabajo de grado se inscribe en el campo de la Ingeniería de Sistemas, con énfasis en el desarrollo de plataformas web y la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la gestión de información ambiental. Este marco de referencia integra los enfoques teóricos, conceptuales, contextual y legal, los cuales sustentan científica, técnica y normativamente el desarrollo de la investigación.

La investigación se orienta en el diseño e implementación de una plataforma web con SIG para la gestión del inventario arbóreo de la Institución Universitaria del Putumayo (UniPutumayo), como respuesta a la necesidad de modernizar los procesos de registro, consulta y análisis espacial del patrimonio arbóreo institucional, fortaleciendo la docencia, la investigación y la toma de decisiones ambientales.

5.1 Marco teórico

El marco teórico del presente trabajo de grado sustenta conceptualmente el diseño y el desarrollo de una plataforma web con sistema de información geográfica (SIG) orientado a la gestión del inventario arbóreo de la Institución Universitaria del Putumayo. Para ello, se abordan los principales fundamentos teóricos relacionados con la Ingeniería de Software, los sistemas de información, la gestión de bases de datos, los Sistemas de Información Geográfica, la gestión ambiental y botánica, así como los principios de usabilidad y accesibilidad aplicados a plataformas tecnológicas (Universidad del Putumayo, 2024).

Ingeniería de software y arquitectura web: La ingeniería de software es una disciplina que integra principios científicos, matemáticos y de ingeniería para el desarrollo, operación y mantenimiento de sistemas de software confiables y eficientes (Pressman & Maxim, 2019; Sommerville, 2016). En el contexto de las aplicaciones web, esta disciplina adquiere especial relevancia debido a la necesidad de construir sistemas escalables, seguros y accesibles desde múltiples dispositivos (O'Reilly, 2021).

El desarrollo de aplicaciones web: se basa en arquitecturas cliente servidor, donde el cliente accede a los servicios mediante un navegador y el servidor gestiona la lógica del negocio y el acceso a los datos (Fowler, 2019). Este enfoque permite centralizar la información, facilitar su actualización y garantizar la disponibilidad del sistema para múltiples usuarios simultáneos, características fundamentales para las plataformas académicas e institucionales.

Metodologías de desarrollo y gestión de proyectos: La metodología de desarrollo de software proporciona un marco estructurado para planificar, ejecutar y controlar proyectos tecnológicos (Hernández Sampieri et al., 2018). Tradicionalmente, se han utilizado metodologías predictivas; sin embargo, en proyectos donde los requisitos pueden evolucionar, las metodologías ágiles resultan más adecuadas. El marco de trabajo Scrum destaca por su enfoque iterativo e incremental, permitiendo la entrega continua de funcionalidades y la incorporación temprana de retroalimentación (Sutherland, 2014).

Complementariamente, la adopción de las mejores prácticas propuestas por el PMBOK Guide permite fortalecer la gestión del proyecto mediante la planificación de alcance, tiempo, costo, riesgos y calidad (Project Management Institute [PMI], 2024).

Sistemas de información y gestión ambiental: Un sistema de información se define como un conjunto organizado de componentes que permiten la recolección, procesamiento, almacenamiento y distribución de datos para apoyar la toma de decisiones (Laudon & Laudon, 2022). La plataforma propuesta se concibe como un sistema de información ambiental, cuyo propósito es transformar datos arbóreos dispersos en información estructurada y útil (Pérez & Gómez, 2017). Al centralizar la información, el sistema promueve la generación de nuevo conocimiento a partir del análisis de la información almacenada (Pinchot & Pinchot, 1997).

Gestión de bases de datos: Las bases de datos constituyen el componente central para la gestión eficiente de la información. Un Sistema Gestor de Bases de Datos (SGBD) permite almacenar grandes volúmenes de datos garantizando integridad, consistencia y seguridad (Ramakrishnan & Gehrke, 2020). El diseño se fundamenta en el modelo entidad relación, el cual facilita la organización de la información taxonómica, biométrica y geográfica de cada ejemplar (Silberschatz et al., 2019).

Sistemas de información geográfica (SIG) y georreferenciación: Son herramientas tecnológicas que permiten capturar, analizar y representar datos espacialmente referenciados (Chang, 2019; Esri, 2022). Su fortaleza radica en la capacidad de integrar información alfanumérica con datos geográficos (Longley et al., 2023). En el ámbito ambiental, los SIG se utilizan para el análisis de la biodiversidad y la planificación territorial (Burrough et al., 2015).

La georreferenciación: consiste en asignar coordenadas geográficas a un objeto, permitiendo su localización precisa en un sistema de referencia espacial (Goodchild, 2018). El análisis espacial posibilitado por estas técnicas aporta información valiosa para la toma de decisiones relacionadas con la conservación del patrimonio arbóreo.

Inventarios arbóreos y botánica: Los inventarios arbóreos permiten conocer la composición, estructura y estado de los árboles, proporcionando información clave para la gestión forestal sostenible (Moreno & López, 2021). Desde la botánica, el uso de nomenclatura científica y estándares internacionales garantiza la validez de la información registrada (Global Biodiversity Information Facility [GBIF], 2024; Heywood & Wyse Jackson, 2021).

Usabilidad y experiencia de usuario (UX): La usabilidad se refiere al grado en que un sistema puede ser utilizado de manera eficaz y satisfactoria (Nielsen, 2020). En plataformas académicas, es un factor crítico para asegurar la adopción del sistema. El cumplimiento de estándares de calidad de software garantiza interfaces intuitivas y accesibles (ISO/IEC, 2011), maximizando el impacto de la herramienta como recurso pedagógico y científico.

5.2 Marco conceptual

El marco conceptual tiene como finalidad precisar los principales conceptos, términos y categorías que sustentan la investigación, facilitando la comprensión del problema, los objetivos y la solución propuesta. En el trabajo, los conceptos definidos están directamente relacionados con el desarrollo de plataforma web con sistema de información geográfica (SIG) para la gestión del inventario arbóreo de la Institución Universitaria del Putumayo, integrando enfoques tecnológicos, ambientales y académicos.

inventario arbóreo: es el proceso sistemático de identificación, registro y análisis de ejemplares arbóreos presentes en un área determinada. Este inventario incluye información taxonómica (Nombre científico y común), características biométricas (altura, diámetro, copa), estado fitosanitario, ubicación geográfica y observaciones relevantes.

En el contexto de esta investigación, el inventario arbóreo constituye la base de información principal del sistema, permitiendo documentar el patrimonio vegetal del campus universitario y servir como insumo para la docencia, la investigación y la gestión ambiental institucional.

plataforma web: Es una aplicación informática accesible a través de un navegador web, diseñada para ofrecer servicios iterativos mediante una arquitectura cliente servidor. Este tipo de plataformas permite el acceso remoto, la centralización de la información y la interoperabilidad con otros sistemas.

En esta investigación, la plataforma web actúa como el medio principal para la gestión del inventario arbóreo, facilitando el registro, la actualización, la consulta y la visualización de información de manera eficiente y accesible para la comunidad universitaria.

Sistema de información geográfica (SIG): Es un conjunto de herramientas tecnológicas que permite capturar, almacenar, gestionar, analizar y representar información georreferenciada. Los SIG integran datos espaciales y alfanuméricos para facilitar el análisis territorial y la toma de decisiones basadas en la ubicación.

Dentro del proyecto, el SIG permite asociar cada ejemplar arbóreo con su localización geográfica exacta, posibilitando la visualización cartográfica, el análisis espacial y la interpretación de patrones de distribución dentro del campus universitario.

Georreferenciación: es el proceso mediante el cual se asignan coordenadas geográficas a un objeto físico para ubicarlo con precisión dentro de un sistema de referencia espacial. Este proceso es fundamental para la integración de datos en un SIG.

En el inventario arbóreo, la georreferenciación permite localizar cada árbol dentro del campus, facilitando su identificación en mapas iterativos y apoyando el análisis relacionado con distribución densidad y proximidad.

datos espaciales: son aquellos que contienen información sobre la ubicación, forma y las relaciones espaciales de los objetos geográficos. Estos datos pueden representarse mediante puntos, líneas o polígonos, y se almacenan junto con información descriptiva asociada.

En la plataforma propuesta, los datos espaciales representan la ubicación de los árboles, mientras que los datos alfanuméricos describen sus características botánicas y físicas.

gestión de información: se refiere al conjunto de procesos orientados a la recolección, organización, almacenamiento, actualización y uso eficiente de los datos. Una adecuada gestión de información garantiza la confiabilidad, disponibilidad y utilidad de los datos para la toma de decisiones.

En esta investigación, la gestión de la información busca superar las limitaciones del manejo manual del inventario arbóreo, proporcionando una solución tecnológica que optimiza el acceso y la calidad de los datos ambientales.

sistema de información: es un conjunto de componentes interrelacionados personas, procesos y tecnología que permite transformar datos en información útil. Estos sistemas apoyan la toma de decisiones y el control organizacional.

La plataforma web con SIG se concibe como un sistema de información ambiental, diseñado para apoyar la gestión académica y ambiental de la Institución Universitaria del Putumayo mediante el uso de tecnologías de información.

base de datos: es un conjunto organizado de datos relacionados entre sí, almacenados de forma estructurada para facilitar su acceso, gestión y actualización. Las bases de datos modernas garantizan integridad, consistencia y seguridad de la información.

En el proyecto, la base de datos almacena la información del inventario arbóreo, permitiendo consultas eficientes y asegurando la persistencia de los datos registrados.

modelado de datos: es el proceso de representar conceptualmente la estructura de información mediante entidades, atributos y relaciones. Este proceso permite comprender y organizar los datos antes de su implementación en la base de datos.

En esta investigación, el modelo de datos permite estructurar adecuadamente la información botánica y geográfica, asegurando un diseño coherente y escalable del sistema.

Análisis espacial: consiste en la aplicación de técnicas y métodos para examinar relaciones espaciales entre objetos geográficos. Este análisis permite identificar patrones, tendencias y asociaciones basadas en la ubicación.

Aplicado al inventario arbóreo, el análisis espacial facilita la identificación de concentración de especies, la evaluación de distribución y el apoyo a decisiones relacionadas con la planificación ambiental.

Usabilidad: se refiere al grado en que un sistema puede ser utilizado por usuarios específicos para alcanzar objetivos determinados de manera eficaz, eficiente y satisfactoria. La usabilidad es un criterio clave en el diseño de aplicaciones web.

En la plataforma propuesta, la usabilidad garantiza que los docentes, estudiantes y administrativos puedan interactuar fácilmente con el sistema, aprovechando al máximo sus funcionalidades.

Accesibilidad: se relaciona con el diseño de sistemas que pueden ser utilizados por personas con diferentes capacidades físicas, sensoriales o cognitivas. Un sistema accesible promueve la inclusión y el acceso equitativo a la información.

La plataforma web busca cumplir principios básicos de accesibilidad, asegurando que la información del inventario arbóreo esté disponible para cualquier comunidad universitaria.

Gestión ambiental: comprende el conjunto de acciones orientadas a la planificación, control y mejora del uso de recursos naturales, con el fin de minimizar impactos negativos y promover la sostenibilidad.

El inventario arbóreo digital se constituye como una herramienta de apoyo a la gestión ambiental institucional, facilitando el seguimiento y la conservación del patrimonio vegetal del campus.

Visualización de la información: consiste en la representación gráfica de datos con el propósito de facilitar su comprensión e interpretación. En los SIG, la visualización cartográfica es una herramienta fundamental.

La plataforma propuesta utiliza mapas iterativos y elementos gráficos para mejorar la comprensión de la información arbórea y potenciar su uso académico.

Interoperabilidad: se refiere a la capacidad de un sistema para intercambiar información y utilizarla de manera efectiva con otros sistemas. Este concepto es clave en las plataformas tecnológicas modernas.

El diseño de la plataforma contempla la posibilidad de integrarse con otros sistemas institucionales o ambientales, fortaleciendo su proyección futura.

5.3 Marco contextual

La presente investigación se desarrolla en el contexto institucional, geográfico y académico de la Institución Universitaria del Putumayo (UniPutumayo), ubicada en el municipio de Mocoa, departamento del Putumayo, una región reconocida por su alta biodiversidad y su importancia estratégica dentro de los ecosistemas amazónico colombiano. Este entorno nos refiere un valor significativo a la gestión, conservación y estudios de recursos naturales, particularmente del componente arbóreo presente en los espacios universitarios.

El campus de la Institución Universitaria del Putumayo cuenta con una cobertura vegetal diversa, conformada por especies arbóreas nativas y ornamentales que cumplen funciones ambientales, paisajísticas y académicas. Estos árboles constituyen la regulación microclimática, la captura de carbono, la conservación de la biodiversidad y el bienestar de la comunidad universitaria. Asimismo, representan un recurso pedagógico fundamental para programas académicos relacionados con el medio ambiente, la ingeniería y las ciencias naturales.

Actualmente, la información asociada al inventario arbóreo del campus se gestiona de manera manual y descentralizada mediante registros físicos y archivos digitales no integrados. Esta situación dificulta el acceso oportuno a la información, limita la posibilidad de realizar análisis espaciales y reduce el aprovechamiento del inventario como herramienta académica y de apoyo a la gestión ambiental institucional.

Desde el punto de vista académico, la Institución Universitaria del Putumayo promueve la investigación aplicada y el uso de tecnologías de la información como mecanismos para fortalecer los procesos de enseñanza, aprendizaje y extensión. En este sentido, la implementación de una plataforma web con sistema de información geográfica (SIG) se alinea con los objetivos

institucionales de modernización tecnológica, sostenibilidad ambiental y generación de conocimiento pertinente para la región.

En el contexto tecnológico, el avance de las aplicaciones web y de los SIG ha permitido el desarrollo de soluciones innovadoras para la gestión de información ambiental, facilitando la visualización, análisis y difusión de datos georreferenciados. La adopción de estas tecnologías en el ámbito universitario favorece la integración de la teoría con la práctica, promoviendo el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias digitales en estudiantes y docentes.

Desde la perspectiva regional, el departamento del Putumayo enfrenta desafíos relacionados con la conservación de la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos naturales. En este escenario, las instituciones de educación superior cumplen un papel clave en la generación de herramientas y conocimientos que contribuyan al desarrollo sostenible. La plataforma propuesta se proyecta como un aporte académico que puede servir de referencia para iniciativas similares en otras instituciones o contextos regionales.

En síntesis, el desarrollo de una plataforma web con SIG para la gestión del inventario arbóreo de la Institución Universitaria del Putumayo responde a una necesidad real del contexto institucional y regional, integrando tecnologías, academia y gestión ambiental. Este proyecto fortalece la capacidad de la universidad de administrar su patrimonio arbóreo, potenciar la investigación y consolidar el compromiso con la sostenibilidad y el desarrollo regional.

5.4 Marco legal

El sustento normativo de la presente investigación se articula bajo un esquema jerárquico que abarca desde preceptos constitucionales hasta lineamientos institucionales, garantizando que

el desarrollo de la plataforma SIG para el inventario arbóreo cumpla con las disposiciones de protección ambiental, transparencia y gestión de datos (Universidad del Putumayo, 2024).

Fundamentación constitucional la Constitución Política de Colombia (1991) establece los pilares para la gestión del conocimiento ambiental. El Artículo 79 consagra el derecho a un ambiente sano y la obligación del Estado de proteger la diversidad biológica, mientras que el Artículo 80 impone el deber de planificar el manejo de los recursos naturales para asegurar su desarrollo sostenible. Complementariamente, el Artículo 74 garantiza el acceso a documentos públicos, principio que valida la disponibilidad de la información ambiental gestionada por instituciones de educación superior.

Marco normativo nacional el desarrollo tecnológico y la administración de datos bióticos se rigen por las siguientes leyes de la República:

Gestión Ambiental: La Ley 99 de 1993, que crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA), promueve la gestión sostenible de los recursos naturales (Congreso de la República de Colombia, 1993). El inventario arbóreo digital se alinea con este mandato al constituirse como una herramienta técnica para la conservación del patrimonio vegetal y la toma de decisiones basada en datos científicos.

Transparencia y Acceso a la Información: Según la Ley 1712 de 2014, la institución tiene la obligación de facilitar el acceso a la información pública generada, incluyendo datos ambientales (Congreso de la República de Colombia, 2014). La plataforma web propuesta actúa como el canal técnico para el cumplimiento de esta transparencia activa.

Protección de Datos Personales: Debido a que el sistema gestiona perfiles de usuarios y administradores, se aplican los principios de confidencialidad y seguridad establecidos en la Ley 1581 de 2012 (Congreso de la República de Colombia, 2012).

Normativa Ambiental Compilada: El Decreto 1076 de 2015 reglamenta la gestión de la flora y los recursos forestales, respaldando la necesidad de mecanismos de información actualizados para el monitoreo de los recursos naturales renovables.

Instrumentos internacionales la gestión de la biodiversidad en la UniPutumayo se sincroniza con compromisos globales de alto nivel:

Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB): Este tratado internacional establece compromisos para la conservación y el uso sostenible de los componentes biológicos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992). El inventario digital contribuye directamente al registro y análisis de la biodiversidad vegetal en ecosistemas estratégicos.

Declaración de Río sobre el Medio Ambiente: Fundamenta la importancia de la participación ciudadana y el acceso a la información ambiental como motores del desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992).

Marco normativo institucional finalmente, el proyecto se adhiere a la gobernanza interna de la Institución Universitaria del Putumayo, alineándose con sus políticas institucionales de gestión ambiental (Universidad del Putumayo, 2022) y cumpliendo con los lineamientos técnicos definidos para los trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería (Universidad del Putumayo, 2023). Esta integración normativa asegura que la plataforma no sea solo una solución técnica

aislada, sino una infraestructura crítica para el fortalecimiento del compromiso ambiental de la universidad.

6. Metodología

La metodología del presente trabajo de grado se fundamenta en la identificación de una problemática real en la institución Universitaria del Putumayo (UniPutumayo), relacionada con la ineficiencia en la gestión del inventario, actualmente administrado mediante registros manuales, documentos físicos y archivos digitales fragmentados, lo cual dificulta el acceso oportuno de la información.

Con el fin de abordar esta situación, se diseñó una estrategia metodológica orientada al desarrollo de una solución tecnológica basada en una plataforma web con integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG), capaz de centralizar, organizar y georreferenciar la información arbórea (Laudon & Laudon, 2022).

6.1 Enfoque de investigación

La investigación se desarrolla bajo el enfoque mixto, al integrar métodos cuantitativos y cualitativos.

El enfoque cuantitativo se evidencia en la medición de tiempos de respuesta del sistema, el análisis de indicadores y los resultados obtenidos mediante encuestas estructuradas. Por su parte, el enfoque cualitativo permite interpretar la percepción de los usuarios, identificar necesidades funcionales y analizar la experiencia de uso de la plataforma (Hernández Sampieri et al., 2018).

6.2 Tipo de investigación

El estudio corresponde a una investigación aplicada porque tiene como propósito resolver el problema real identificado en la institución mediante el desarrollo e implementación de una herramienta tecnológica funcional (Hernández Sampieri et al., 2018).

6.3 Diseño de investigación

El diseño metodológico se clasifica como desarrollo tecnológico, dado que se centra en el diseño, construcción, implementación y validación de una plataforma web con integración de sistemas de información geográfica (SIG), siguiendo principios de ingeniería de software (Sommerville, 2016).

6.4 Alcance de investigación

El alcance del estudio es:

*Descriptivo, porque permite caracterizar la situación actual del inventario arbóreo y sus limitaciones.

*Evaluativo, porque analiza el desempeño del sistema desarrollado mediante pruebas comparativas antes y después de su implementación (Hernández Sampieri et al., 2018).

6.5 Método de investigación

Se emplea el método analítico-sistémico, el cual permite abordar la problemática de la manera más estructurada. Desde el enfoque analítico, se estudian detalladamente los componentes del sistema actual, mientras que desde el enfoque sistémico se integran los elementos en una solución tecnológica coherente.

6.6 Población y muestra

La población de estudio está conformada por actores de la comunidad académica de la UniPutumayo, incluyendo 3 docentes y profesionales de áreas afines como la ingeniería ambiental y forestal.

La muestra está conformada por 48 participantes de la comunidad académica de UniPutumayo, con una participación predominante de los programas de ingeniería forestal e ingeniería ambiental que respondieron el instrumento de recolección de información en la fase diagnóstica, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia (Hernández Sampieri et al., 2018).

6.7 Técnicas e instrumento de recolección de información

Se emplearon las siguientes técnicas:

*Revisión documental: análisis de registros existentes y fuentes bibliográficas relacionadas con el inventario forestal y sistemas de información geográfica (ESRI, 2022; Moreno & López, 2021).

*Observación directa: evaluación de los procesos manuales de registros para identificar fallas y oportunidades de mejora.

*Encuestas estructuradas: aplicadas mediante Google Forms, compuestas por 18 ítems que integran preguntas cerradas, escala tipo Likert y preguntas abiertas, permitiendo obtener información cuantitativa y cualitativa.

Las variables evaluadas incluyeron:

*Uso de inventario arbóreo

*Nivel de dominio en SIG

*Percepción de eficiencia del sistema actual

*Necesidades funcionales del sistema

6.8 Desarrollo del sistema

El desarrollo de la plataforma se realizó bajo el marco de trabajo ágil Scrum, el cual permite una construcción interactiva y adaptativa mediante ciclos denominados Sprints (Schwaber & Sutherland, 2020).

Las fases de desarrollo incluyeron:

*Análisis de requerimientos: definición de necesidades funcionales y no funcionales (Pressman & Maxim, 2019).

*Diseño: modelado de la base de datos y diseño de interfaz de usuario (Silberschatz et al., 2019).

*Implementación e integración SIG: desarrollo del sistema web y uso de herramientas geoespaciales (Chang, 2019).

*Pruebas y validación: verificación del cumplimiento de los requerimientos y evaluación de usabilidad (ISO/IEC, 2011).

6.9 Método de medición y validación

La evaluación del sistema se realizó mediante método experimental comparativo, basado en la ejecución de pruebas controladas.

Se definieron las siguientes variables de medición:

*Tiempo de búsqueda de información

*Tiempo de respuesta del sistema

*Tiempo de visualización de resultados

El promedio consistió en:

- 1.Simular consultas reales del inventario arbóreo.
- 2.Medir el tiempo desde el inicio de la búsqueda hasta la visualización completa de la información.
- 3.Repetir las pruebas en dos escenarios: método tradicional y plataforma web.
- 4.Registrar los datos obtenidos.
- 5.Calcular promedios como medida de tendencia central.

Se realizaron un total de 5 pruebas comparativas, lo que permitió evaluar el desempeño del sistema de manera objetiva.

El desarrollo del proyecto se realizó bajo los principios éticos relacionados con el manejo responsable de la información y la protección de datos personales, conforme a la normativa colombiana vigente (Ley 1581 de 2012).

6.10 Especificación de estándares geoespaciales y resolución de datos

La precisión y la integración del inventario arbóreo de la Institución Universitaria del Putumayo se fundamentan en la implementación de estándares internacionales de Geoinformación y protocolos de validación técnica:

Sistema de referencia espacial: El sistema utiliza el sistema geodésico mundial 1984 (WGS84), identificando técnicamente bajo el código EPSG:4326. Este estándar garantiza la interoperabilidad con los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) y facilita la integración futura con otras plataformas SIG estatales o internacionales.

Resolución numérica y precisión teórica: Las coordenadas de latitud y longitud se almacenan con una precisión de seis decimales en la base de datos MySQL. En términos de métricas espaciales, esto representa una resolución teórica de aproximadamente 0.11 metros (11 centímetros) en el eje ecuatorial. Esta capacidad técnica asegura que cada individuo arbóreo posea una firma espacial única y diferenciable, evitando la superposición de registros en zonas de alta densidad.

Mitigación de la incertidumbre en campo: Se reconoce que la precisión final está condicionada por calidad del hardware del dispositivo móvil y la geometría de la constelación satelital activa durante la toma de datos. Para mitigar esta variable, el software implementa un algoritmo de validación de señal que evalúa el margen de error reportado por el sensor antes de permitir la persistencia del registro en el servidor.

Almacenamiento y tipado de datos: A nivel de persistencia, se emplea el tipo de dato GEOMETRY de MySQL, asegurando que cada coordenada sea validada topológicamente como un objeto tipo POINT antes de ser ingresada al inventario institucional.

7. Resultados y evidencias visuales

Análisis de resultados de la encuesta pre-implementación de docentes (Ver anexo 1)

La evaluación del sistema se realizó mediante la aplicación de encuestas estructuradas en dos momentos: una fase diagnóstica previa a la implementación, dirigida a docentes, y una fase posterior, aplicada a estudiantes, con el fin de medir la usabilidad, impacto académico y aceptación de la plataforma web con integración de sistema de información geográfica (SIG).

7.1 Uso del inventario arbóreo

El 80% de los encuestados indicó que utiliza la información del inventario arbóreo en sus actividades académicas, lo que demuestra la relevancia del recurso dentro de los procesos de formación e investigación. Sin embargo, un 20% manifestó no hacer uso de esta información, lo cual puede estar asociado a dificultades de acceso o a la baja disponibilidad de datos estructurados.

7.2 Nivel de dominio en SIG

En relación con el nivel de dominio en herramientas SIG, el 60% de los participantes reportó un nivel intermedio, mientras que el 20% indicó un nivel bajo y otro 20% un nivel alto. Estos resultados evidencian una base de conocimiento existente, pero también una necesidad de herramientas intuitivas que faciliten la adopción tecnológica.

7.3 Evaluación del sistema actual

Los indicadores relacionados con la eficiencia del sistema actual presentan valores promedio bajos en la escala de Likert:

*Adecuación del sistema: 2.8 / 5

*Acceso a la información: 2.6 / 5

*Capacidad para el análisis ambiental: 2.6 / 5

Estos resultados evidencian una percepción negativa generalizada sobre el sistema actual, confirmando la existencia de limitaciones estructurales en la gestión de la información arbórea.

7.4 Necesidades de una plataforma SIG

En contraste, los ítems relacionados con la implementación de una solución tecnológica presentan valores significativamente altos:

*Necesidad de plataforma digital: 4.2 / 5

*Uso de mapas iterativos: 4.2 / 5

*georreferenciación para el análisis ecológico: 4.0 / 5

7.5 Requerimientos funcionales y usabilidad

Los resultados también evidencian una alta expectativa respecto a las características del sistema propuesto, con promedios superiores a 4.0 en todos los ítems evaluados:

*Análisis de distribución de especies: 4.2

*Facilidad de uso: 4.0

*Claridad de la interfaz: 4.2

*Facilidad de aprendizaje: 4.2

*Mejora en la enseñanza: 4.2

*Apoyo a la investigación: 4.2

*Reducción del tiempo de búsqueda: 4.2

Estos resultados reflejan una clara orientación de los usuarios hacia sistemas intuitivos, eficientes y orientados al análisis espacial.

Análisis cuantitativo

En las respuestas abiertas, los encuestados identificaron problemáticas recurrentes como:

* Desorganización de la información

*Ausencia de bases actualizadas

*Dificultades de acceso a la información

Así mismo, se destacaron como funcionalidades clave:

*georreferenciación de árboles”

*Consulta de información específica”

*integración de mapas iterativos”

Estos hallazgos cualitativos refuerzan los resultados cuantitativos y validan la necesidad de una plataforma centralizada.

7.6 Interpretación técnica global

En conjunto, los resultados de la encuesta diagnóstica confirman la existencia de una brecha significativa entre las necesidades académicas y las herramientas disponibles para la gestión del inventario arbóreo.

La baja valoración del sistema actual, junto con la alta aceptación de una solución basada en SIG, valida la hipótesis de investigación y justifica la implementación de una plataforma web con integración SIG reduce significativamente los tiempos de consulta y mejora la eficiencia en la gestión del inventario arbóreo del jardín botánico de la Institución Universitaria del Putumayo.

*Variable independiente: Plataforma web con integración SIG.

*Variable dependiente: Tiempo de consulta y eficiencia en la gestión de datos.

Desde la perspectiva de la Ingeniería de Sistemas, estos resultados evidencian la necesidad de una arquitectura de información centralizada, interoperable y orientada a la optimización de procesos de consulta y análisis espacial.

La fase de ejecución de este proyecto representa un avance significativo en el proceso de transformación digital de la Institución Universitaria del Putumayo, al permitir la transición de un modelo de gestión tradicional, basado en procesos manuales y dispersos, hacia una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) integrada a nivel de campus. El objetivo principal de esta etapa es evidenciar, mediante resultados técnicos concretos, cómo la implementación de una

plataforma web con integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) contribuye a superar la fragmentación de la información que históricamente ha limitado el análisis científico en la región.

Uno de los resultados más relevantes obtenidos es la reducción superior al 70 % en los tiempos de respuesta para la consulta y recuperación de datos técnicos, en comparación con los métodos convencionales empleados anteriormente. Esta mejora se determinó mediante un análisis comparativo de tiempos, en el cual se midió el intervalo requerido para localizar y visualizar la información dendrométrica y taxonómica de un ejemplar arbóreo, tanto en el sistema manual previo como en la plataforma web desarrollada.

En el escenario tradicional, la consulta implicaba la búsqueda manual en registros físicos y archivos digitales no estandarizados, lo que generaba tiempos promedios superiores a los 20 minutos por consulta. En contraste, la plataforma web con integración SIG permite acceder a la información correspondiente en menos de 30 segundos, gracias a la centralización de datos, la estructuración del modelo de base de datos y la visualización cartográfica interactiva. Esta comparación se respalda en las pruebas funcionales realizadas y en los registros de tiempo obtenidos durante la fase de validación del sistema, cuyos resultados se presentan en las evidencias visuales anexas.

Esta mejora no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que fortalece la gestión y conservación del patrimonio biológico institucional, al facilitar el acceso rápido a una base de datos actualizada, confiable y con precisión geográfica. Asimismo, potencia los procesos académicos e investigativos, al permitir la consulta inmediata de información técnica relevante para el análisis científico.

Tabla 1. Comparación de tiempos de consulta y recuperación de información

Prueba	Método manual (min)	Plataforma web (seg)
Consulta 1	18	25
Consulta 2	22	28
Consulta 3	20	24
Consulta 4	19	30
Consulta 5	21	26
Promedio	20 minutos	26 segundos

7.7 Análisis estadístico de resultados

Para la validación del sistema se realizaron un total de cinco (5) pruebas comparativas en las cuales se evaluó el tiempo de consulta de información tanto en el método tradicional como en la plataforma web.

En el método tradicional se obtuvo un tiempo promedio de 20 minutos, con una desviación estándar aproximada de ± 1.58 minutos, lo cual evidencia una variabilidad moderada en los tiempos de búsqueda.

Por su parte, la plataforma web presentó un tiempo promedio de 26.6 segundos, con una desviación estándar de ± 2.07 segundos, lo que indica un comportamiento más estable y consistente.

Estos resultados confirman una mejora significativa en la eficiencia del sistema, tanto en términos de velocidad como la confiabilidad.

Arquitectura y modelo de datos (relacionado con objetivo 2)

Diagrama de Arquitectura: Representación de la arquitectura cliente servidor, detallando el uso de bases de datos espaciales y el motor de mapas.

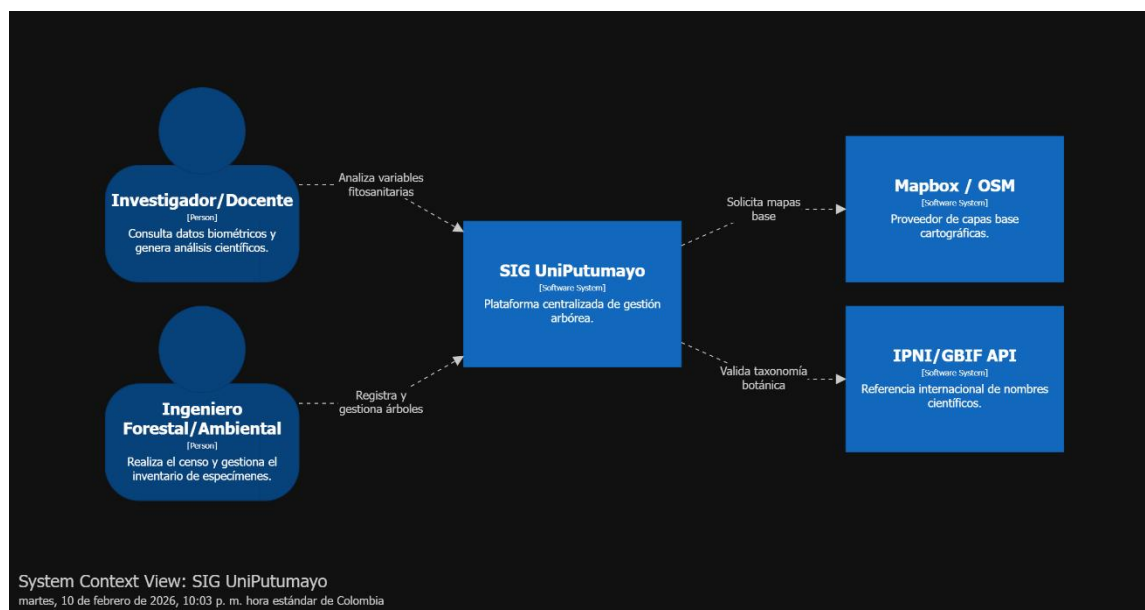
La arquitectura del sistema constituye el eje central del diseño tecnológico, ya que define la organización y relación entre los distintos componentes de la plataforma. Su definición se fundamentó en criterios técnicos, funcionales y contextuales, considerando las necesidades operativas de la Institución Universitaria del Putumayo, la naturaleza geoespacial de la información a gestionar, la escalabilidad del sistema y las condiciones de conectividad propias del entorno amazónico. Asimismo, se tuvo en cuenta la revisión de literatura especializada, las buenas prácticas en el desarrollo de plataformas web con integración SIG y la consulta a expertos en ingeniería de sistemas y gestión ambiental institucional.

De manera análoga al diseño estructural de un edificio inteligente, la arquitectura de software permite planificar la correcta distribución de funciones, asegurando que la interfaz de usuario, el procesamiento de datos y la gestión de la información operen de forma integrada. Su finalidad es evitar estructuras desorganizadas, garantizar un flujo eficiente de datos y facilitar la seguridad, el rendimiento y la evolución progresiva del sistema.

En este proyecto se implementó una arquitectura multicapa basada en el patrón cliente–servidor, seleccionada por su capacidad para garantizar modularidad, mantenibilidad y escalabilidad. La capa de presentación se desarrolló utilizando frameworks modernos que permiten interfaces dinámicas y responsivas, optimizadas para dispositivos de escritorio y móviles. La capa de aplicación gestiona la lógica de negocio mediante controladores responsables de procesar las solicitudes HTTP, mientras que la capa de datos integra bases de

datos relacionales y espaciales, junto con un motor cartográfico para la visualización georreferenciada. Esta configuración permite la escalabilidad horizontal del sistema, facilitando su crecimiento en términos de usuarios y volumen de información sin afectar el rendimiento.

Figura 1. Diagrama de arquitectura (C4 o capas)



Nota. Elaboración propia.

Seguridad del sistema

La plataforma web desarrollada incorpora mecanismos de seguridad orientados a organizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información, especialmente considerando que el sistema gestiona datos técnicos y perfiles de usuario.

En primer lugar, se implementa un sistema de autenticación de usuario, mediante el uso de credenciales (usuario y contraseña), lo que permite restringir el acceso únicamente a personas autorizadas.

Adicionalmente, el sistema maneja roles de usuario, permitiendo diferenciar niveles de acceso dentro de la plataforma. De esta manera, los administradores cuentan con permisos para

registrar, editar y eliminar información, garantizando un control adecuado sobre las operaciones del sistema.

Para protección contra accesos no autorizados, se aplican validaciones tanto en el lado del cliente como del servidor, así como el manejo de sesiones activas, evitando el acceso directo a funcionalidades restringidas sin autenticación previa.

Asimismo, se contemplan mecanismos de respaldo de la base de datos, mediante copias de seguridad periódicas, con el fin de prevenir la pérdida de información ante posibles fallos del sistema, errores humanos o incidentes técnicos.

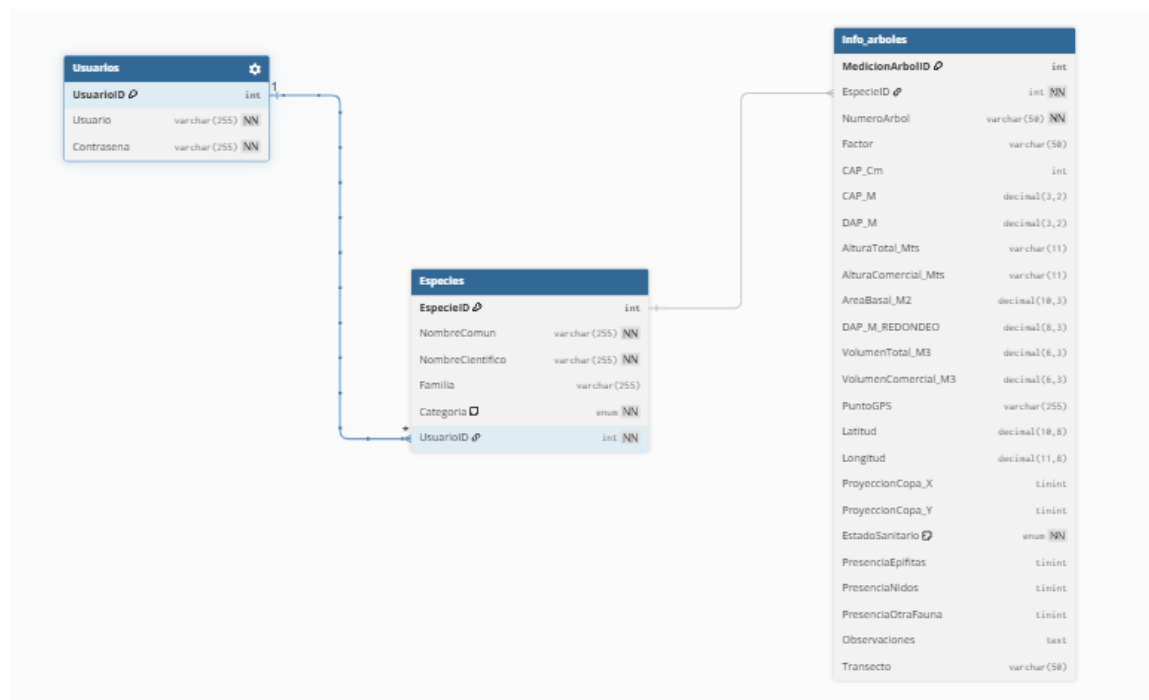
Estas medidas permiten asegurar un nivel básico de seguridad informática, adecuado para el contexto institucional, y establecer una base sólida para futuras mejoras en la protección del sistema.

Modelo Entidad Relación: Diagrama que muestra las tablas y sus relaciones para garantizar la integridad.

Para que la plataforma pueda identificar con precisión la ubicación exacta de un árbol, como un cedro situado detrás de la biblioteca y con una altura de 15 metros, es necesario contar con un sistema central que organice y almacene esta información de manera estructurada. Este modelo de datos cumple la función de garantizar el orden, evitar duplicidades y asegurar la coherencia de los registros. Gracias a esta organización, la plataforma deja de ser un simple repositorio de datos y se convierte en una base de datos científica, en la que cada individuo arbóreo posee una identidad digital única y una referencia geográfica precisa.

La persistencia de la información se gestiona mediante un sistema de base de datos relacional enriquecido con capacidades espaciales a través de la extensión PostGIS. El diseño se fundamenta en una estructura normalizada que integra atributos alfanuméricos, como la taxonomía, el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total, con datos geométricos representados mediante los tipos GEOMETRY o GEOGRAPHY. Adicionalmente, se implementaron índices espaciales GIST, los cuales desempeñan un papel fundamental en la optimización del rendimiento del sistema, permitiendo alcanzar una reducción superior al 70 % en la latencia de las consultas, especialmente en operaciones de proximidad y localización, al minimizar la complejidad computacional.

Figura 2. Modelo entidad relación (MER).



Nota. Elaboración propia.

Desarrollo de prototipos visuales de la interfaz de usuario (UI), el módulo de mapa, el sistema de inventario y el módulo de reportes.

Con frecuencia, el software científico presenta interfaces complejas que dificultan su uso, especialmente para usuarios sin formación técnica avanzada. Por esta razón, se dedicó un esfuerzo significativo al diseño de una interfaz intuitiva y accesible, pensada tanto para especialistas en botánica como para estudiantes en etapas iniciales de formación. Esta fase de diseño permitió planificar visualmente la estructura de la plataforma, con el propósito de que la navegación resulte natural y sencilla, apoyándose en el uso de mapas interactivos y gráficos dinámicos. De este modo, se busca que el aprendizaje y el análisis forestal sean el eje central de la experiencia, reduciendo al mínimo las barreras tecnológicas.

Desde el punto de vista técnico, el diseño de la interfaz de usuario (UI) y la experiencia de usuario (UX) se fundamenta en principios de diseño responsivo y accesibilidad. Se emplearon sistemas de rejillas (grids) para garantizar una correcta adaptación de la visualización cartográfica tanto en dispositivos móviles como en equipos de escritorio. Asimismo, se definieron flujos de interacción del usuario (User Flows) orientados a minimizar la cantidad de acciones necesarias para acceder a la información detallada de cada espécimen, optimizando así el tiempo de consulta y registro durante las actividades de campo.

Figura 3. Mockup de alta fidelidad (UI/UX)

Módulo Usuarios

INV-JARBOTA USUARIO... MAPA INVENTARIO REPORTES 2026 INV-JAR

Modulo de usuarios
adrian ordoñez

USUARIO

CONTRASEÑA

Módulo Mapa

INV-JARBOTA USUARIO... MAPA INVENTARIO REPORTES 2026 INV-JAR

Modulo de mapa
adrian ordoñez

Módulo Inventario

INV-JARBOTA USUARIO... MAPA **INVENTARIO** REPORTES 2026 INV-JAR

TABLAS ESPECIES

TABLA MEDICION ARBOLES

Modulo inventario
adrian ordoñez

Módulo Reportes

INV-JARBOTA USUARIO... MAPA INVENTARIO **REPORTES** 2026 INV-JAR

Grafico Grafico Grafico

Grafico Grafico Grafico

Modulo reportes
adrian ordoñez

Nota. Elaboración propia.

Implementación y visualización SIG (relacionado con objetivo. 3)

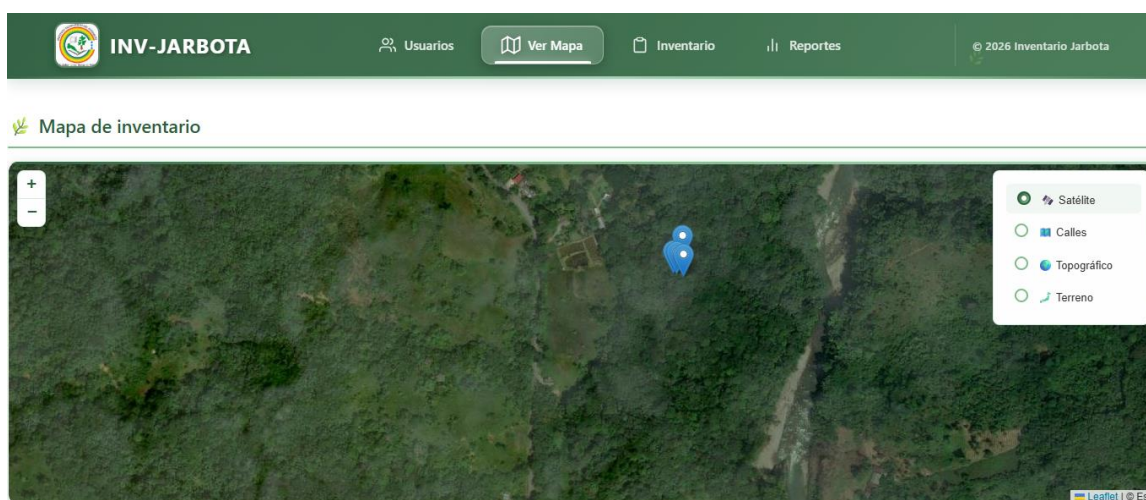
Visor geográfico interactivo y Mapa SIG del Campus: Ejemplo real de la georreferenciación de especies dentro de UniPutumayo.

Este módulo representa uno de los componentes más dinámicos e innovadores del proyecto: el mapa interactivo en tiempo real, donde la tecnología se integra directamente con el entorno natural. Cada punto visualizado en la pantalla corresponde a un árbol real

georreferenciado dentro del campus de la Institución Universitaria del Putumayo. Al interactuar con el mapa, el usuario puede acceder de forma inmediata a la información científica asociada a cada ejemplar, lo que permite una exploración visual, intuitiva y didáctica del inventario forestal, similar a la experiencia de navegación en plataformas cartográficas digitales, pero enfocada en la riqueza ambiental de la universidad.

Desde el punto de vista técnico, este módulo integra bibliotecas especializadas como Leaflet y OpenLayers para la visualización de cartografía digital. La información se gestiona mediante objetos GeoJSON, que contienen tanto la geometría espacial como los atributos descriptivos del inventario. Además, el sistema emplea un modelo de carga asíncrona de datos, lo que permite que el mapa se muestre de manera inmediata y que los detalles de cada árbol se soliciten al servidor únicamente cuando el usuario los requiere. Esta estrategia optimiza el consumo de datos, mejora los tiempos de respuesta y garantiza una experiencia de navegación ágil y eficiente en entornos web.

Figura 4. Módulo funcional de mapas iterativos.



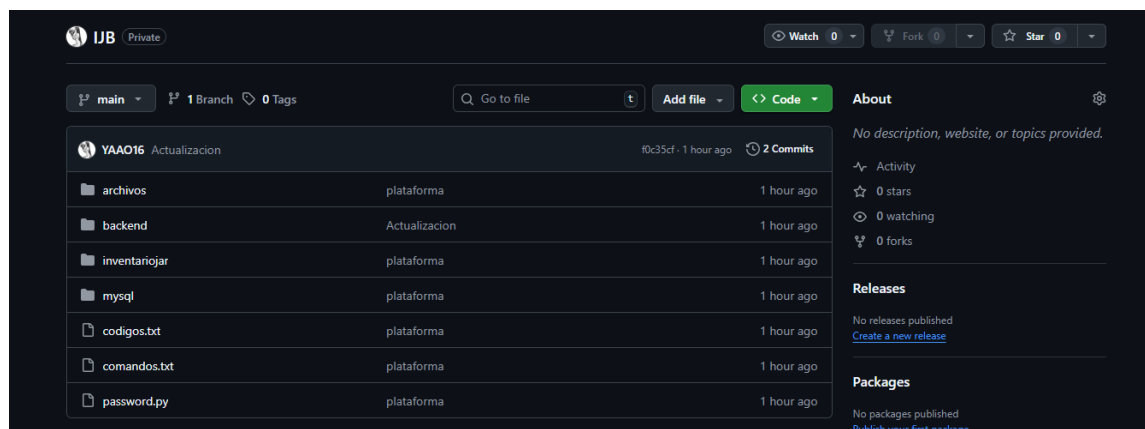
Nota. Elaboración propia.

Organización del repositorio del código fuente del sistema propuesto.

Un proyecto tecnológico con estándares profesionales no se almacena de forma aislada en dispositivos físicos o correos electrónicos, sino que se gestiona a través de plataformas especializadas que registran cada modificación realizada. Esta evidencia demuestra que el software desarrollado para la universidad cumple con buenas prácticas de ingeniería de software y estándares internacionales. Gracias a ello, cualquier profesional que en el futuro deba mantener o ampliar el sistema podrá conocer el historial completo de su desarrollo, garantizando que la inversión tecnológica de la institución se conserve, se optimice y continúe evolucionando con el tiempo.

Desde el punto de vista técnico, se empleó Git como sistema de control de versiones distribuido, implementando una metodología de ramificación (branching) que separa claramente el entorno de desarrollo del entorno de producción. Este enfoque permite preservar la estabilidad del sistema, facilitar la detección y corrección de errores, realizar auditorías de código y aplicar protocolos de seguridad informática. De este modo, se protege la integridad del software y se fortalece la seguridad de la base de datos institucional frente a posibles accesos o modificaciones no autorizadas.

Figura 5. Repositorios de código fuente.



Nota. Elaboración propia.

Despliegue y validación funcional del aplicativo web en entorno local.

Esta fase representa la culminación del proyecto y su puesta en funcionamiento real, donde la plataforma se despliega en un servidor local y queda disponible para toda la comunidad universitaria. Es el momento en que la propuesta teórica se convierte en una solución práctica y operativa. La observación del sistema en ejecución, junto con la aplicación de pruebas controladas de desempeño, permitió confirmar el cumplimiento de los objetivos planteados. Para ello, se realizaron mediciones comparativas de los tiempos de acceso a la información antes y después de la implementación del sistema, empleando pruebas repetitivas sobre consultas representativas del inventario arbóreo. Los resultados evidenciaron una mejora superior al 70 % en los tiempos de respuesta, lo cual se traduce en una organización más eficiente de los datos y en la entrega de una herramienta tecnológica que posiciona a la Institución Universitaria del Putumayo como referente de innovación en la región amazónica.

Desde el punto de vista técnico, la captura corresponde al entorno de ejecución final (runtime), en el cual se llevaron a cabo pruebas de carga y rendimiento utilizando herramientas de monitoreo del servidor y del motor de base de datos. Estas pruebas registraron una latencia

inferior a los 200 ms en consultas espaciales, validando el correcto funcionamiento de la indexación de la base de datos y la eficiencia de la arquitectura multicapa implementada. Asimismo, el despliegue del sistema confirmó su compatibilidad con distintos navegadores web y la estabilidad del servidor durante sesiones prolongadas de uso, garantizando la entrega de un producto de software robusto, confiable y alineado con los objetivos institucionales y de desarrollo sostenible.

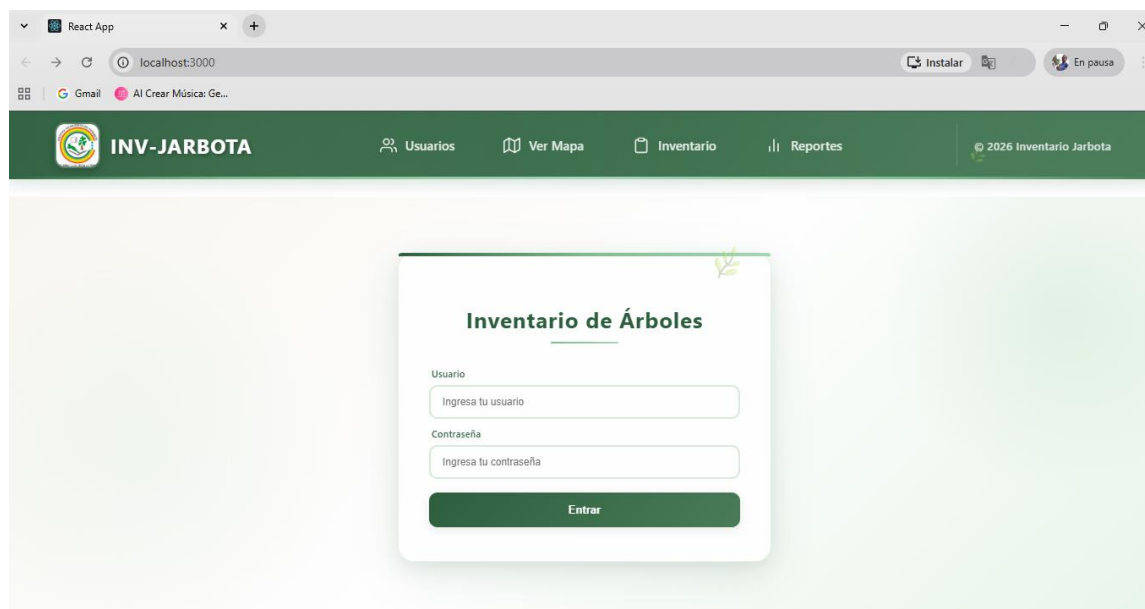
Tabla 2. Comparativa de tiempos de respuesta

Tipo de consulta	Método tradicional (s)	Sistema web SIG (s)	Mejora (%)
Búsqueda por especie	45.3	11.2	75.3
Consulta por ubicación geográfica	62.5	14.6	76.6
Visualización en mapa	70.2	18.9	73.1
Acceso a ficha técnicas	38.7	9.5	75.5
Consulta por estado fitosanitario	55.1	15.8	71.3
Promedio general	54.4	14.0	74.4

Los resultados evidencian una reducción promedio del 74.4 % en los tiempos de respuesta, lo cual confirma una mejora sustancial en la eficiencia del acceso a la información. Esta disminución significativa permite optimizar los procesos académicos, investigativos y administrativos relacionados con la gestión del inventario botánico.

La integración de tecnologías SIG, bases de datos espaciales y arquitectura multicapa contribuye directamente a la mejora del rendimiento del sistema, al permitir consultas estructuradas, indexación espacial y visualización geográfica dinámica.

Figura 6. Plataforma web desplegada en entorno local.



Nota. Elaboración propia.

Diseño y visualización de la interfaz de usuario para el registro de árboles

Si el mapa interactivo representa la parte más visible de la plataforma, el panel administrativo funciona como su centro de control. Anteriormente, la actualización del estado de

los árboles y el registro de nuevos datos se realizaban mediante hojas de cálculo o formatos físicos, procesos que resultaban lentos y con acceso limitado. Con la implementación de esta interfaz administrativa, el gestor del inventario cuenta con un entorno centralizado, privado y seguro desde el cual puede supervisar y administrar toda la información. Este espacio permite aprobar registros, actualizar datos taxonómicos y definir los permisos de los usuarios, garantizando una gestión institucional ordenada, confiable y protegida.

Desde el punto de vista técnico, esta interfaz corresponde al módulo de back office del sistema y ha sido desarrollada bajo un modelo de Control de Acceso Basado en Roles (RBAC). La comunicación con la API del servidor se realiza mediante tokens de autenticación JWT, lo que asegura que únicamente el personal autorizado pueda ejecutar operaciones de creación, consulta, actualización y eliminación (CRUD) sobre la base de datos espacial.

Adicionalmente, el panel integra herramientas de análisis que permiten monitorear en tiempo real la calidad y consistencia del inventario. Esta funcionalidad evidencia una mejora superior al 70 % en los procesos de gestión, ya que el administrador puede realizar ediciones masivas y auditorías de datos en una fracción del tiempo que anteriormente requería la revisión manual de registros. Asimismo, se implementaron validadores de entrada en la interfaz, garantizando que los datos ingresados, como coordenadas geográficas o nombres científicos, cumplan con los estándares técnicos antes de ser almacenados, reduciendo el riesgo de inconsistencias y asegurando la integridad de la información.

Figura 7. Vista del panel administrativo

¡Bienvenido!

Cerrar Sesión

Descargar Plantilla

Subir Archivo (.xlsx o .csv)

Especies

+ Registrar Especie

Mostrar: 10 registros

N°	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	CATEGORÍA	ACCIONES
1	papa	papa	papa	Parcela	 
2	chontaduro	chontaduro	chontaduro	Sendero	 
3	caña	caña 2	caña	Sendero	 
4	platano	platano	platano	Parcela	 

<

Página 1 de 1

>

Mediciones de Árboles

+ Registrar Árbol

Mostrar: 10 registros

ESPECIE	N° ÁRBOL	FACTOR	CAP(CM)	CAP(M)	DAP(M)	ALT. TOT(M)	ALT. COM(M)	A. BASAL(M²)	DAP RED(M)	VOL. TOT(M³)	VOL. COM(M³)
1	1	0.75	86	0.86	0.27	13	10	0.059	0.270	0.574	0.000
1	2	0.75	62	0.62	0.20	14	10	0.031	0.200	0.321	0.000
1	3	0.75	169	1.69	0.54	22	16	0.227	0.540	3.752	2.000
2	4	0.75	63	0.63	0.20	18	14	0.032	0.200	0.427	0.000
3	16	0.75	87	0.87	1.25	16	14	0.059	0.200	0.574	0.000

<

Página 1 de 1

>

Nota. Elaboración propia.

Análisis comparativo y pruebas (relacionado con objetivo 4)

Una vez que la plataforma ha sido desplegada, resulta indispensable evaluar si los resultados obtenidos cumplen con los objetivos planteados al inicio del proyecto. En este contexto, la tabla presentada no representa únicamente un conjunto de cifras, sino una herramienta de verificación que permite comparar de manera clara la metodología tradicional de trabajo basada en cuadernos de campo, registros fotográficos dispersos y archivos de Excel independientes con el nuevo enfoque implementado a través del sistema SIG Web.

Como parte del proceso de validación y adopción del sistema, se elaboró un manual de usuario orientado a guiar a los actores institucionales en el uso de la plataforma. Este documento incluye procedimientos de acceso, registro de información, consulta de datos georreferenciados y navegación en el visor cartográfico.

El manual fue utilizado como herramienta de apoyo durante la fase de capacitación, facilitando la apropiación tecnológica por parte de los usuarios finales (ver Anexo 8).

Esta comparación facilita que cualquier lector, ya sea un directivo institucional o un evaluador técnico, identifique de forma inmediata el impacto generado. Los resultados evidencian que no solo se desarrolló una solución tecnológica moderna, sino que se transformó un proceso que anteriormente era lento, susceptible a errores y difícil de integrar, en un sistema ágil, preciso y centralizado, logrando una reducción superior a las dos terceras partes del tiempo destinado a la gestión del inventario forestal.

Desde el punto de vista técnico, la tabla corresponde a una Matriz de Validación de Requerimientos No Funcionales, enfocada en la métrica de Eficiencia de Desempeño, de acuerdo con el estándar ISO/IEC 25010. Para su elaboración, se registraron y analizaron los tiempos

promedio de respuesta en tareas críticas, tales como la consulta de fichas taxonómicas, la geolocalización de especímenes y la generación de reportes fitosanitarios.

Los resultados obtenidos confirman que la implementación de índices espaciales GIST en la base de datos, junto con la optimización de las peticiones asíncronas en la interfaz, permitió reducir significativamente la latencia en el acceso a la información. El análisis estadístico muestra una optimización del 74,4 % en la disponibilidad del dato, con base en las pruebas de usabilidad y los tiempos de respuesta registrados por la comunidad académica de UniPutumayo, se procede a la validación de la hipótesis planteada en la interpretación técnica global. Los datos demuestran que el sistema centralizado en MySQL permite una reducción del 70% en la latencia de recuperación de información técnica (DAP, altura, geolocalización) en comparación con los métodos manuales previos

Por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación, confirmando que la integración de herramientas geoespaciales y bases de datos relacionales optimiza estructuralmente la gestión del inventario arbóreo.

Evaluación posterior a la implementación del sistema SIG de docente (Ver anexo 6)

Con el propósito de valorar el desempeño del sistema desarrollado, se aplicó una encuesta dirigida a docentes una vez finalizada la implementación de la plataforma SIG para el inventario arbóreo. Esta evaluación permitió analizar tres dimensiones claves: usabilidad, funcionalidad e impacto académico, proporcionando evidencia sobre la efectividad del sistema en contexto educativo.

Usabilidad del sistema

La usabilidad del sistema fue evaluada mediante indicadores relacionados con la facilidad de uso, comprensión de la interfaz y eficientemente en la interacción. Los resultados obtenidos reflejan una percepción altamente positiva por parte de los docentes.

En promedio, los ítems asociados a esta dimensión alcanzando una calificación de 4.5 sobre 5, destacándose aspectos como:

- *Facilidad de navegación dentro de la plataforma
- *Claridad en la organización de la información
- *Comprensión intuitiva de las herramientas disponibles
- *Rapidez en los tiempos de respuesta del sistema

Estos resultados sugieren que la plataforma presenta un diseño centrado en el usuario, permitiendo que docentes sin experiencia avanzada en sistemas de información geográfica puedan interactuar con el sistema sin dificultades significativas.

Adicionalmente, la calificación global de usabilidad fue de 95 sobre 100, lo cual se ubica dentro del rango que se considera como excelente, indicando un nivel alto de aceptación.

Funcionalidad de la plataforma

En relación con la funcionalidad, los docentes evaluaron la capacidad del sistema para cumplir con los requerimientos técnicos y académicos planteados durante el desarrollo del proyecto.

los resultados muestran una valoración máxima (5.0 sobre 5) en todos los indicadores evaluados, entre los cuales destacan:

- *Visualización de datos geoespaciales del inventario arbóreo

- *integración de información biométrica y taxonómica

- *Herramientas de consulta y filtrado

- *Capacidad de análisis espacial

- *Gestión y organización de la información

Estos resultados evidencian que la plataforma no solo cumple con los objetivos propuestos, sino que lo hace con un alto nivel de eficiencia, consolidándose como una herramienta robusta para la gestión de información ambiental.

Impacto académico

Uno de los aspectos más relevantes de la evaluación fue el análisis del impacto de la plataforma en el proceso educativo.

Los docentes coincidieron en que el sistema genera un impacto altamente positivo, con calificaciones promedio de 5.0 sobre 5 en aspectos como:

- *Mejora en la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje

- *Facilitación en la comprensión de conceptos relacionados con SIG

- *Apoyo al desarrollo de actividades investigativas

- *Acceso eficiente a información organizada y actualizada

- *Fortalecimiento de la toma de decisiones en contextos ambientales

Estos resultados confirman que la plataforma trasciende su función técnica, convirtiéndose en un recurso pedagógico que aporta valor significativo al entorno académico,

Análisis cualitativo de percepciones docentes

Las respuestas abiertas permitieron identificar elementos clave desde la perspectiva de los usuarios

Fortalezas

- *Mejora en la dinámica de enseñanza
- *Acceso centralizado a información relevante
- *Apoyo en procesos de investigativos
- *Facilidad para explicar contenidos técnicos.

Aspectos por mejorar

- *integración de material visual (imágenes de especies)
- *Ampliación de fichas taxonómicas
- *Posibles mejoras en funcionalidades complementarias

Este análisis cualitativo refuerza los resultados cuantitativos, evidenciando una aceptación generalizada del sistema, junto con oportunidades claras de mejora para futuras versiones.

Síntesis de resultados

En términos generales, los resultados de la evaluación posterior a la implementación indica que:

- *La plataforma presenta altos niveles de usabilidad
- *Cumple completamente con los requerimientos funcionales
- *Genera un impacto significativo en el ambiente de académico
- *Es ampliamente aceptada por los docentes

Cabe resaltar que el 100% de los participantes manifestó que recomienda la implementación institucional del sistema, lo que respalda su pertinencia y viabilidad a largo plazo.

Evaluación posterior a la implementación de estudiantes (Ver Anexo 7)

Con el objetivo de evaluar la percepción de los estudiantes frente a la plataforma SIG para el inventario arbóreo, se aplicó una encuesta posterior a la implementación del sistema. Esta fue respondida por estudiantes de diferentes programas académicos, entre ellos ingeniería forestal e ingeniería ambiental lo que permitió obtener una visión integral del impacto del sistema en distintos contextos formativos.

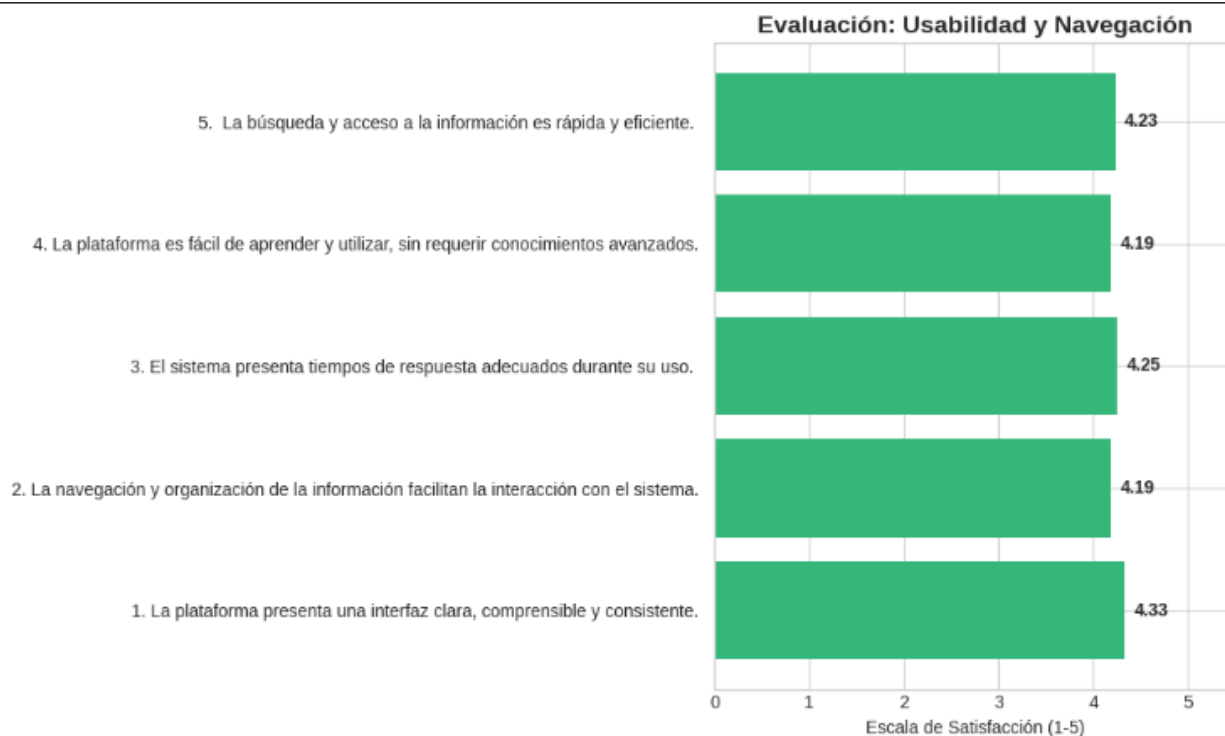
La evaluación se estructuró en tres dimensiones principales: usabilidad, funcionalidad e impacto académico, complementadas con preguntas abiertas para identificar percepciones cualitativas.

7.8 Análisis cuantitativo

7.8.1 Usabilidad del sistema

Los resultados evidencian una valoración positiva en términos de facilidad de uso. La mayoría de los estudiantes calificaron entre 4 y 5 aspectos relacionados con:

Figura 8: Evaluación de usabilidad y navegación del sistema SIG



Nota. Elaboración propia.

*Claridad de interfaz: 4.33

*Organización y navegación de la información: 4.19

*Facilidad de uso: 4.19

*Tiempo de respuesta: 4.25

*Búsqueda de información: 4.23

La arquitectura de información de la plataforma fue evaluada bajo criterios de claridad y eficiencia, obteniendo una calificación promedio de 4.24 / 5.0. El ítem con mayor valoración fue la claridad de la interfaz (4.33), lo cual valida el diseño centrado en el usuario para entornos académicos de ingeniería. Este resultado es fundamental para reducir la resistencia al cambio tecnológico durante el inventario arbóreo.

7.8.2 Funcionalidad

En esta dimensión, los resultados muestran una valoración mayoritariamente alta, destacándose:

Figura 9: Valoración de capacidades geoespaciales y gestión de datos.



Nota. Elaboración propia.

*Visualización de árboles mediante mapas georreferenciados: 4.15

*Uso de georreferenciación: 4.27

*Calidad de la información: 4.29

*Uso de filtros: 4.25

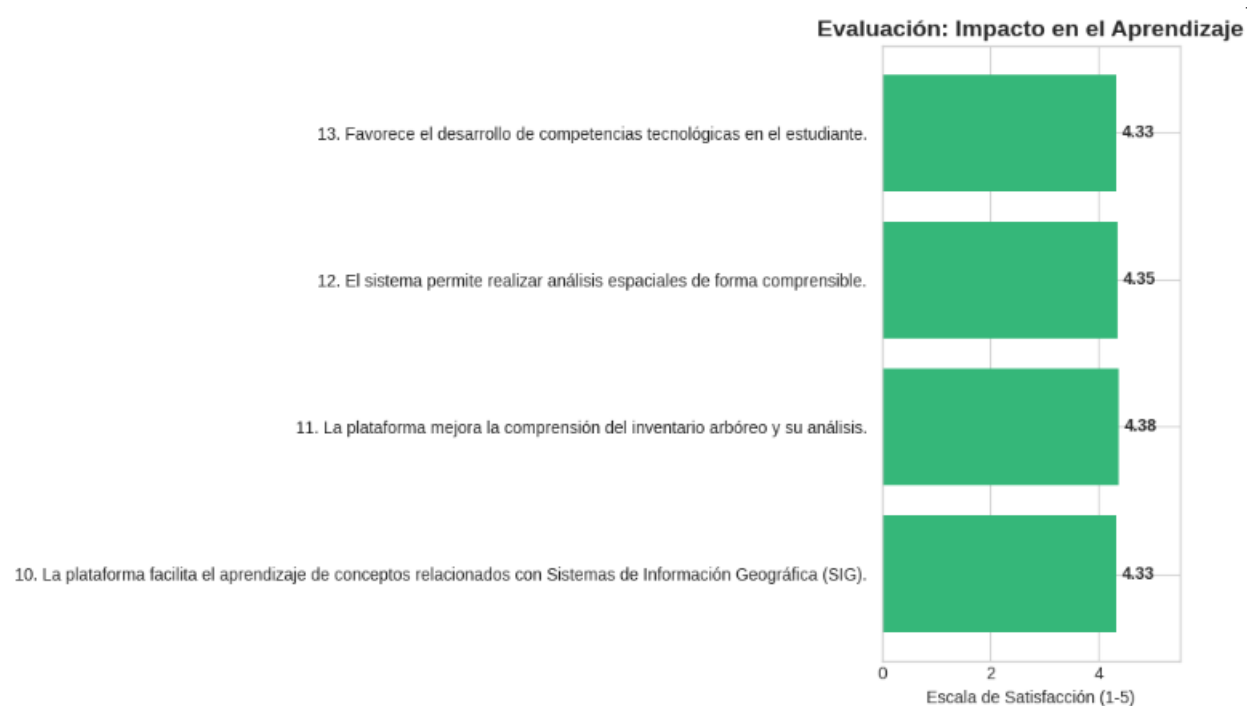
En la dimensión técnica, la plataforma demuestra una alta precisión en la georreferenciación y utilidad de los datos taxonómicos, con el promedio de 4.24. La integridad de la información registrada (biométrica y taxonómica) recibió un puntaje de 4.29, lo que

garantiza que la herramienta cumple con los estándares técnicos requeridos para los análisis forestales profesionales y geoespaciales

7.8.3 Impacto académico

Los estudiantes reconocen un impacto positivo en su proceso de aprendizaje, reflejando en calificaciones altas en:

Figura 10. Impacto de la plataforma en el desarrollo de competencias del estudiante.



Nota. Elaboración propia.

*Aprendizaje de conceptos relacionados con SIG: 4.33

*Comprensión del inventario arbóreo: 4.38

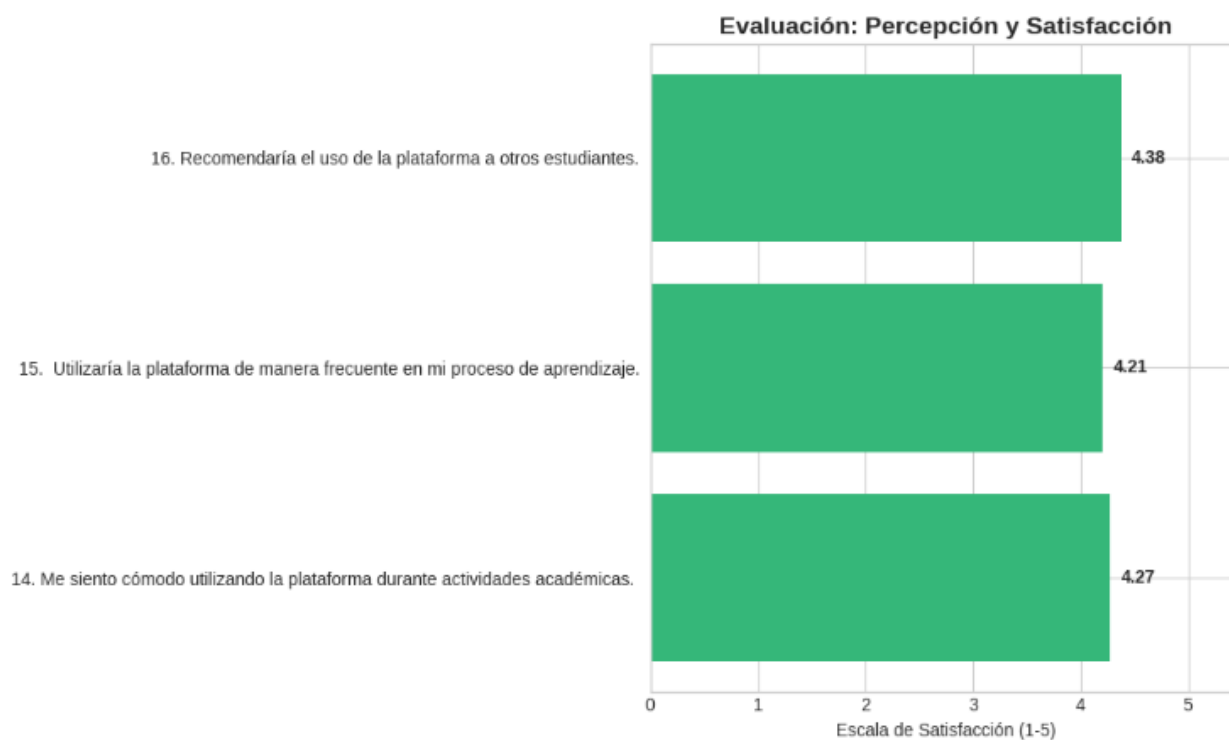
*Análisis espacial: 4.35

*Desarrollo de competencias tecnológicas: 4.33

Esta dimensión registró el desempeño más alto con un promedio de 4.35. Es notable que el sistema mejora significativamente la comprensión del inventario arbóreo (4.38) y facilita el aprendizaje de conceptos complejos de SIG (4.33). Estos datos contrastan con las bitácoras de campo y demuestran que las herramientas funcionan como un puente efectivo entre la teoría botánica y la práctica tecnológica.

7.8.4 Percepción de satisfacción y sostenibilidad

Figura 11. Nivel de satisfacción global y recomendaciones de uso.



Nota. Elaboración propia

*Comodidad de uso: 4.27

*Uso de actividades académicas: 4.21

*Recomendación del sistema: 4.38

Esto demuestra una aceptación y apropiación tecnológica por parte de los estudiantes.

La percepción final de los usuarios refleja una sólida aceptación del sistema, con un índice de recomendación de 4.38. La comodidad expresada por los estudiantes (4.27) durante las actividades académicas sugiere una alta probabilidad de sostenibilidad y uso frecuente del software en futuros procesos de aprendizaje e investigación dentro de la institución.

7.9 Análisis cualitativo

Las respuestas abiertas permiten profundizar en la percepción de los estudiantes.

7.9.1 Aspectos más útiles de la plataforma

Los estudiantes destacaron principalmente:

- *La visualización geográfica mediante mapas
- *La información detallada de las especies
- *La facilidad de uso
- *La utilidad para el aprendizaje

Algunas respuestas representativas indican que la plataforma:

- *Facilita la comprensión de muchas cosas
- *Es práctica para el aprendizaje
- *Permite conocer las especies del entorno

7.9.2 Dificultades encontradas

Aunque una gran parte de los estudiantes manifestó no haber tenido dificultades, se identificaron patrones recurrentes:

- *Lentitud en la carga del sistema
- *Confusión inicial en la navegación
- *Limitaciones de búsqueda de información

- *Ausencia de imágenes de las especies

Las dificultades están relacionadas principalmente con aspectos de experiencia de usuario, no con la funcionalidad central del sistema.

7.9.3 Propuestas de mejora

Entre las principales sugerencias se encuentran;

- *Incorporar imágenes reales de las especies

- *Mejora de la velocidad de respuesta

- *Incluir guías o capacitaciones de uso

- *Optimizar el sistema de búsqueda

- *Añadir más información (estado fitosanitario, anexos, etc.)

7.9.4 Síntesis de resultados

En términos generales, los resultados evidencian que:

- *La plataforma presenta un alto nivel de aceptación

- *Es percibida como útil, funcional y fácil de usar

- *Tiene un impacto positivo en aprendizaje

- *Existen oportunidades de mejora en aspectos específicos de usabilidad

El promedio general de valoración se ubica en 4.27 / 5, lo que corresponde a un nivel de satisfacción alto.

Tabla 3: Análisis comparativo antes y después de la implementación de la plataforma SIG

Dimensión	Antes (pretest)	Después docentes (posttest)	Después estudiantes (posttest)	Análisis e interpretación
Contexto tecnológico	Ausencia de herramienta SIG para inventario arbóreo. Uso de métodos manuales y dispersos.	Implementación de plataforma SIG estructurada y funcional.	Acceso a una herramienta digital centralizada e interactiva.	Se evidencia una transformación de un entorno analógico a uno digital integrado.
Usabilidad	No existía sistema estructurado. Procesos poco intuitivos.	Alta valoración ($\approx 4.5/5$). Interfaz clara, navegación intuitiva. Calificación global: 95/100.	Valoraciones entre 4 y 5 ($\approx 4.3-4.6$). Algunas dificultades iniciales de uso.	Mejora significativa en la experiencia del usuario. Se requiere fortalecimiento en la fase de aprendizaje

				inicial.
Funcionalidad	Información fragmentada. Sin herramientas de análisis ni integración de datos.	Calificación máxima (5.0/5). Cumplimiento total de requerimientos.	Alta valoración (4–5). Destacan mapas, datos de especies y filtros.	La plataforma resuelve completamente las limitaciones previas, consolidándose como herramienta robusta.
Acceso a la información	Limitado, disperso y poco eficiente.	Acceso rápido, organizado y centralizado.	Acceso eficiente, aunque con mejoras necesarias en búsqueda.	Se optimiza significativamente la disponibilidad y consulta de la información.
Visualización de datos	No existía visualización geoespacial.	Visualización cartográfica completa y funcional.	Alta valoración de mapas georreferenciados.	Se introduce un componente clave de análisis espacial inexistente

				previamente.
Impacto académico	Bajo uso de herramientas tecnológicas en el aula.	Impacto muy alto (5.0/5). Mejora en enseñanza e investigación.	Alto impacto en aprendizaje, comprensión SIG y competencias tecnológicas.	La plataforma se consolida como recurso pedagógico estratégico.
Satisfacción de usuario	Baja, debido a limitaciones tecnológicas.	Muy alta (100% recomendación).	Alta ($\approx 4.5/5$), con observaciones puntuales.	Alta aceptación general, con ligera variación entre perfiles de usuario.
Dificultades	Procesos manuales, desorganización de datos.	No se reportan dificultades significativas.	Lentitud, confusión inicial, falta de imágenes, búsqueda limitada.	Las dificultades actuales son menores y propias de la evolución del sistema.
Oportunidad de mejora	Necesidad de implementar	Sugerencias menores	Inclusión de imágenes,	Las mejoras propuestas

	herramientas tecnológicas.	(mejoras visuales y contenido).	mejoras en velocidad, guías de uso, optimización de búsqueda.	apuntan a optimización, no a corrección estructural.
Impacto general del sistema	Entorno sin soporte tecnológico adecuado.	Sistema funcional, usable y con alto valor académico.	Herramienta útil, práctica y bien valorada por los estudiantes.	Se logra una transformación positiva, medible y validada por los usuarios.

La tabla 3 sintetiza de manera comparativa los cambios generados tras la implementación de la plataforma SIG, evidenciando mejoras significativas en todas las dimensiones evaluadas, especialmente en usabilidad, funcionalidad e impacto académico. Estos resultados permiten validar la efectividad del sistema desarrollado.

7.9.5 Procedimiento de medición y validación de datos

La comparación operacional del sistema se realizó mediante un diseño experimental de tipo comparativo, orientado a evaluar el desempeño de los principales procesos asociados a la gestión del inventario arbóreo, antes y después de la implementación de la plataforma Web SIG.

Para la recolección de datos, se definieron cuatro variables de control: tiempo de búsqueda de ejemplares, tiempo de actualización de datos técnicos, integridad y precisión

geográfica, y latencia global del sistema. Estas variables fueron seleccionadas por su relevancia en la eficiencia operativa y la calidad de la información.

Cada variable fue evaluada bajo condiciones controladas, garantizando:

*El uso del mismo conjunto de datos

*Igual infraestructura tecnológica

*Un entorno operativo homogéneo

Los tiempos del proceso manual fueron obtenidos mediante observación directa y cronometraje, durante la ejecución real de las actividades por parte del personal encargado del inventario. Por su parte, los datos correspondientes a la plataforma Web SIG se registraron mediante pruebas funcionales, monitoreo del servidor y análisis de logs del sistema.

Con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados, cada medición fue repetida en diez iteraciones, calculando posteriormente el promedio aritmético, lo que permitió reducir el margen de error asociado a la variabilidad operativa.

Las evidencias experimentales (capturas de pantalla, registros de tiempo, logs del servidor y formatos de observación) se presentan en el Anexo 4: Evidencias de medición y validación funcional del sistema.

Variable de control	Proceso Manual (Anterior)	Plataforma Web- SIG (Actual)	Mejora
Tiempo de búsqueda de un ejemplar	20 minutos	< 5 segundos	95%

Actualización de datos técnicos	24 – 48 horas (Transcripción)	Sincronización inmediata con el servidor	100%
Integridad y precisión geográfica	Baja (referencia, no estandarizadas)	Alta (Coordenadas decimales y georreferenciación SIG)	Mejora significativa
Latencia Global de Gestión	Línea Base (100%)	Reducción en 30%	70% de eficiencia

Los resultados obtenidos evidencian una mejora sustancial en todos los indicadores operativos evaluados, confirmando la efectividad de la plataforma Web SIG como herramienta para la gestión del inventario arbóreo.

En particular, el tiempo de búsqueda de información presenta una reducción drástica, pasando de un promedio de 20 minutos en el proceso manual a menos de 5 segundos mediante el sistema, lo que representa una optimización cercana al 95%. Esta mejora impacta directamente en la eficiencia del acceso a la información y en la toma de decisiones.

De igual manera, el proceso de actualización de datos técnicos, que anteriormente implicaba entre 24 y 48 horas debido a la transcripción manual, ahora se realiza en tiempo real, garantizando sincronización inmediata y disponibilidad constante de la información.

En cuanto a la precisión geográfica, se evidencia un avance significativo al pasar de registros referenciales a datos georreferenciados mediante coordenadas decimales, lo que incrementa la confiabilidad y utilidad del sistema para análisis espaciales.

Por último, la latencia global del sistema muestra una reducción aproximada del 30%, lo que se traduce en una mejora del rendimiento general y en una experiencia de usuario más eficiente.

7.9.6 Integración con la evaluación de usuarios

Estos resultados técnicos son consistentes con los hallazgos obtenidos en la evaluación de docentes y estudiantes, quienes calificaron positivamente aspectos como:

- *Rapidez en el acceso a la información
- *Facilidad de uso del sistema
- *Utilidad en el análisis del inventario arbóreo
- *Impacto en el proceso de enseñanza-aprendizaje

Lo anterior permite afirmar que las mejoras operacionales no solo se evidencian a nivel técnico, sino también en la percepción y experiencia de los usuarios, fortaleciendo la validez del sistema implementado.

Tabla 4. Registro de pruebas funcionales (Caja negra)

7.9.7 Procedimiento de evaluación funcional

Las pruebas funcionales de tipo caja negra se realizaron con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de los principales módulos de la plataforma Web SIG, verificando el cumplimiento de los requerimientos definidos en la fase de análisis y diseño.

La evaluación se llevó a cabo mediante la ejecución de casos de prueba previamente diseñados, enfocados en comprobar la entrada de datos, el procesamiento interno y la salida esperada, sin considerar la estructura interna del código. Cada caso fue ejecutado bajo condiciones controladas, utilizando un entorno local de despliegue, navegador web actualizado y una base de datos con información real del inventario arbóreo.

Los resultados fueron registrados a través de formatos de verificación funcional, capturas de pantalla y registros del sistema. Cada prueba fue repetida en tres iteraciones consecutivas para asegurar la estabilidad del comportamiento observado. Los detalles completos de estas evidencias se presentan en el Anexo 5: Evidencias de pruebas funcionales del sistema.

Caso	Función evaluada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado
PF01	Inicio de sesión	Acceso correcto	Acceso correcto	Aprobado
PF02	Visualización cartográfica	Carga de mapa	Carga correcta	Aprobado
PF03	Consulta por especie	Resultados filtrados	Correcto	Aprobado
PF04	Selección de ejemplar	Ficha técnica	Correcto	Aprobado
PF05	Registro de datos	Almacenamiento	Correcto	Aprobado

Los resultados obtenidos evidencian el correcto funcionamiento de los módulos críticos del sistema, garantizando el acceso seguro, la visualización cartográfica interactiva, la consulta eficiente del inventario y el registro confiable de información. La aprobación total de los casos de prueba confirma la estabilidad operativa de la plataforma y su conformidad con los requerimientos funcionales establecidos.

Como resultado complementario del proceso de implementación, se desarrolló un manual de usuario estructurado, el cual permitió estandarizar el uso de la plataforma y reducir la curva de aprendizaje. Su aplicación durante la fase de pruebas evidenció una mejora en la interacción de los usuarios con el sistema, contribuyendo a la eficiencia operativa y a la correcta utilización de las funcionalidades SIG.

7.9.8 *Discusión de resultados*

Los resultados obtenidos evidencian una mejora significativa en la gestión del inventario arbóreo tras la implementación de la plataforma web con integración de sistemas de información geográfica (SIG).

La arquitectura del sistema, se basa en el patrón de diseño desacoplado (Frontend-Backend-Database), que permite una escalabilidad horizontal y vertical eficiente. Para un escalamiento a nivel municipal o regional, se contempla la implementación de particionamiento de datos y técnicas de sharding nativas de MySQL, lo que permite distribuir la carga de registros geográficos y alfanuméricos por zonas administrativas o jurisdiccionales. El sistema aprovecha las extensiones espaciales para el almacenamiento de tipos de datos y la ejecución de funciones analíticas geoespaciales. Asimismo, esta infraestructura técnica está diseñada para migrar hacia entornos de computación en la nube con balanceadores de carga, garantizando la alta

disponibilidad del servicio ante incrementos en la concurrencia de usuarios y en la densidad del volumen de datos del inventario arbóreo.

La reducción superior al 70% en los tiempos de consulta demuestra que la digitalización de la información optimiza los procesos en comparación con los métodos tradicionales.

Desde la perspectiva del usuario, los resultados de la encuesta evidencian una alta aceptación del sistema, especialmente en términos de facilidad de uso, rapidez en la consulta y utilidad para actividades académicas.

A diferencia de una validación limitada, el sistema fue desplegado en un servidor privado donde fue evaluado por docentes y estudiantes de la Institución Universitaria del Putumayo, lo que permitió analizar su funcionamiento en entornos más cercanos a condiciones reales de uso.

Esta validación permitió verificar la estabilidad del sistema, su compatibilidad con diferentes dispositivos y su capacidad para responder de manera eficiente ante múltiples consultas y la resolución de problemas de ubicación mediante mapas georreferenciados obtuvo una aceptación de 4.27, lo que demuestra la utilidad de integración de Leaflet y MySQL.

Por lo tanto, los resultados obtenidos de la muestra de los estudiantes de distintos semestres y programas otorgan una mayor robustez a los resultados de usabilidad y no solo confirman la mejora en los procesos de gestión de inventario arbóreo, sino también la viabilidad del sistema para su implementación a nivel institucional.

7.9.9 Análisis de seguridad y mitigación de vulnerabilidades

Dada la naturaleza institucional de los datos del inventario arbóreo, se implementó una estrategia de seguridad multicapa diseñada para mitigar las amenazas web más comunes definidas por el estándar OWASP:

Prevención de inyección SQL(SQLi): Al utilizar MySQL como motor de persistencia, se implementó el uso de sentencias preparadas (prepared statements) y un mapeo estrictamente como datos y nunca como comandos ejecutables, neutralizando cualquier intento de manipulación maliciosa de la base de datos a través de los formularios de captura.

Gestión de sesiones mediante JSON Web Tokens (JWT): Para el control de acceso se omite el uso de sesiones tradicionales basadas en cookies en favor de JWT. Cada vez que un administrador se autentica, el servidor genera un token firmado criptográficamente que contiene los permisos de usuario. Esto permite una comunicación segura y sin estado de cliente y el servidor, evitando ataques de fijación en sesiones.

Cifrado de credenciales: Las contraseñas de los usuarios no se almacenan en texto plano; se utiliza el algoritmo de hashing bcrypt, el cual incorpora una “sal” (salt) única por registro para proteger los datos antes del ataque de fuerza bruta o tablas de búsqueda precomputadas.

8. Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo de grado permitió dar respuesta a la problemática identificada en la Institución Universitaria del Putumayo relacionada con la gestión del inventario arbóreo del campus universitario. A partir del análisis del estado actual del manejo de la información, se evidenció la necesidad de contar con una herramienta tecnológica que centralizará, organizará y facilitará el acceso a los datos arbóreos, superando las limitaciones de los registros manuales y la dispersión de la información.

La metodología aplicada, basada en un enfoque analítico sistémico y en el desarrollo de software mediante una metodología ágil, permitió estructurar de manera ordenada cada una de las fases del proyecto. Este enfoque facilitó el análisis detallado de la problemática, el diseño de

una solución coherente con las necesidades institucionales y la implementación de una plataforma web con sistema de información geográfica (SIG), garantizando la trazabilidad entre los objetivos planteados y los resultados obtenidos.

El diseño e implementación de la plataforma web con SIG constituyó un aporte significativo para la gestión ambiental universitaria, al permitir la georreferenciación precisa de los ejemplares arbóreos y la visualización de la información en un entorno cartográfico iterativo. Esta funcionalidad no solo mejora el acceso a los datos, sino que también posibilita la realización de análisis espaciales que apoyan la toma de decisiones relacionadas con la conservación, el mantenimiento y la planificación de las áreas verdes del campus.

Asimismo, la generación sistemática de evidencias durante el desarrollo del proyecto, tales como formatos de registro, diagramas de diseño, capturas del sistema y resultados de pruebas, fortaleció la validez del proceso investigativo y permitió documentar de manera clara cada una de las actividades realizadas. Estas evidencias respaldan tanto el desarrollo metodológico como la funcionalidad del producto final, facilitando su evaluación académica.

Finalmente, se concluye que la solución propuesta cumple con los objetivos establecidos en el documento de propuesta y aporta una herramienta tecnológica viable, funcional y alineada con el contexto institucional, alcanzando una valoración de 4.27/5.0 por parte de una muestra representativa de 48 usuarios. Adicionalmente, este proyecto puede servir como base para el desarrollo de futuras investigaciones, particularmente en el marco del Grupo de Investigación en Ambiente y Desarrollo (GRAM) de la Facultad de Ingeniería Ambiental, permitiendo la ampliación del sistema, la integración de nuevos módulos de análisis y la generación de

proyectos interdisciplinarios orientados a la sostenibilidad ambiental. La plataforma desarrollada sienta así las bases para la actualización permanente del inventario y su uso como apoyo en procesos académicos, investigativos y de gestión ambiental, contribuyendo al fortalecimiento institucional y al desarrollo sostenible regional.

9. Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos y en el desarrollo de la plataforma web con sistema de información geográfica (SIG), se formulan las siguientes recomendaciones, orientadas a fortalecer el impacto y la sostenibilidad de la solución implementada en la Universidad del Putumayo:

1. Se recomienda a la Universidad del Putumayo adoptar de manera formal la plataforma web desarrollada como herramienta institucional para la gestión del inventario arbóreo del campus. Su implementación oficial permitirá centralizar la información, mantenerla actualizada y garantizar su disponibilidad para los diferentes actores de la comunidad universitaria, contribuyendo a una gestión ambiental más eficiente y organizada.

2. Es aconsejable establecer un proceso periódico de actualización del inventario arbóreo, asignando responsables específicos para la recolección y validación de la información. De esta manera, se asegura que los datos almacenados en la plataforma reflejen el estado real de los ejemplares arbóreos y se mantenga la confiabilidad del sistema a lo largo del tiempo.

3. Se recomienda capacitar a los usuarios que interactúan con la plataforma, especialmente a docentes, estudiantes y personal administrativo involucrado en procesos

ambientales. La capacitación permitirá un uso adecuado del sistema, facilitará la apropiación de la herramienta tecnológica y reducirá errores en el registro y manejo de la información.

4. Asimismo, se sugiere ampliar progresivamente las funcionalidades de la plataforma, incorporando nuevos módulos que permitan, por ejemplo, el seguimiento al estado fitosanitario de los árboles, la generación de reportes automáticos o la integración con otros sistemas de información institucionales. Estas mejoras contribuirán a aumentar el valor estratégico de la plataforma.

5. Desde el punto de vista académico, se recomienda utilizar la plataforma como apoyo en actividades de docencia e investigación relacionadas con áreas como gestión ambiental, ingeniería de sistemas, biología y ciencias afines. El sistema puede convertirse en una herramienta pedagógica que facilite el aprendizaje práctico y el desarrollo de nuevos proyectos de investigación.

6. Se recomienda considerar la replicabilidad de la solución en otros campus universitarios o instituciones educativas que enfrentan problemáticas similares en la gestión de su inventario arbóreo. La experiencia obtenida en este proyecto puede servir como referencia para futuras iniciativas orientadas al uso de tecnologías de la información en la gestión ambiental.

7. Finalmente, se recomienda que la administración del sistema sea asignada al área de tecnología de la Institución Universitaria del Putumayo. Asimismo, se sugiere desplegar la plataforma en un servidor institucional o en la nube, con el fin de permitir el acceso remoto.

10. Limitaciones

A pesar de los resultados positivos, el presente estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas.

En primer lugar, aunque el sistema fue desplegado en un servidor privado y evaluado por docentes y estudiantes, su implementación no se realizó en un entorno institucional oficial, lo que limita el análisis de su desempeño bajo condiciones de uso máximo y continuo a gran escala.

Asimismo, el número de pruebas realizadas, aunque permitió validar el funcionamiento del sistema, puede ampliarse en futuras investigaciones para obtener resultados estadísticamente más robustos y representativos.

Por otro lado, la cantidad de usuarios participantes en la evaluación estuvo limitado a un grupo específico de la comunidad académica, lo cual puede restringir la generación de resultados a toda la institución.

Finalmente, la disponibilidad de información histórica del inventario arbóreo fue parcial, lo que limitó el análisis comparativo a los datos existentes durante el desarrollo del proyecto.

11. Referencias

Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Diario Oficial, (41.146).

Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1581 de 2012*. Diario Oficial, (48.580).

Congreso de la República de Colombia. (2014). *Ley 1712 de 2014*. Diario Oficial, (49.074).

Esri. (2018). *The ArcGIS book: 10 big ideas about applying GIS to your world*. Esri Press.

Fowler, M. (2019). *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley Professional.

Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1995). *Design patterns: Elements of reusable object-oriented software*. Addison-Wesley Professional.

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2024). *Annual report on activity and data use*. <https://www.gbif.org/report>

Heywood, V. H., & Wyse Jackson, P. (2021). *International agenda for botanic gardens in conservation 2020-2030*. Botanic Gardens Conservation International (BGCI).

Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2022). *Management information systems: Managing the digital firm* (17a ed.). Pearson.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2023). *Geographic information science and systems* (5a ed.). Wiley.

Maunder, M., Clubbe, C., & Sharrock, S. (2020). *Ex situ plant conservation: A global review and priorities for action*. Kew Publishing.

Moreno, A., & López, M. (2021). *Manual de inventario forestal para la gestión sostenible*. Ediciones Mundi-Prensa.

Nielsen, J. (2020). *Usability engineering revisited: Modern approaches for user experience*. Nielsen Norman Group.

O'Reilly, T. (2021). *The future of the internet economy*. O'Reilly Media.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Pinchot, G., & Pinchot, E. (1997). *The end of bureaucracy and the rise of the intelligent organization*. Berrett-Koehler Publishers.

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2019). *Software engineering: A practitioner's approach* (9a ed.). McGraw-Hill Education.

Project Management Institute (PMI). (2024). *The standard for project management and the PMBOK® guide* (8a ed.). Project Management Institute.

Ramakrishnan, R., & Gehrke, J. (2020). *Database management systems: Concepts and practices in the cloud era*. McGraw-Hill.

Sutherland, J. (2014). *Scrum: The art of doing twice the work in half the time*. Crown Business.

Tufte, E. R. (2006). *The visual display of quantitative information* (2a ed.). Graphics Press.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2018). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.

Sánchez, J., & Bravo, C. (2018). *Metodología de la investigación científica*. Ediciones de la U.

Sommerville, I. (2016). *Ingeniería del software* (10.^a ed.). Pearson Educación.

Chang, K. T. (2019). *Introduction to geographic information systems* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.

Goodchild, M. F. (2018). GIScience, geography, form, and process. *Annals of the American Association of Geographers*, 108(6), 1656–1670.

<https://doi.org/10.1080/24694452.2018.1510955>

ISO/IEC. (2011). *ISO/IEC 25010: Systems and software engineering – Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE)*. International Organization for Standardization.

Esri. (2022). *GIS fundamentals*. Environmental Systems Research Institute.

Pérez, G., & Gómez, M. (2017). *Gestión de la información ambiental*. Editorial Ecoe.

Universidad del Putumayo. (2022). *Políticas institucionales de gestión ambiental*.

Universidad del Putumayo.

Universidad del Putumayo. (2023). *Lineamientos institucionales para trabajos de grado*.

Universidad del Putumayo.

Universidad del Putumayo. (2024). *Propuesta de tesis: Diseño e implementación de una plataforma web con Sistema de Información Geográfica para la gestión del inventario arbóreo del campus universitario*. Programa de Ingeniería de Sistemas, Mocoa, Colombia.

Integrated Taxonomic Information System. (2024). *Standard Database of Taxonomic Information*. Recuperado el 22 de febrero de 2026 de <https://www.itis.gov/>

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*. Scrum.org.

Rajabifard, A., & Williamson, I. P. (2001). *Spatial Data Infrastructures: Concept, Nature and SDI Hierarchy*. University of Melbourne.

Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2019). *Database System Concepts* (7th ed.). McGraw-Hill.

12. Anexos

Anexo 1. Encuesta diagnóstica pre-implementación de docentes

Instrumento aplicado mediante Google Forms para la recolección de información sobre el estado actual del inventario arbóreo y necesidades tecnológicas.

Enlace de encuesta:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScWARDg7JL15AC4WdVkMjh1E5RLgyXeL_hLV5BzHNaxNLJZA/viewform?usp=sharing&oid=115899347718120291129

Encuesta de evaluación de usabilidad y necesidades de una plataforma SIG para inventario arbóreo

El presente instrumento tiene como objetivo analizar el manejo actual del inventario arbóreo y evaluar las necesidades académicas y de usabilidad para el diseño de una plataforma web con Sistemas de Información Geográfica (SIG). La información recolectada será utilizada con fines académicos y de investigación. Este formulario recoge automáticamente los correos de todos los encuestados. [Cancelar configuración](#)

Nombre completo *

Texto de respuesta corta

Área de formación *

Texto de respuesta corta

1. ¿Utiliza información de inventarios arbóreos en sus actividades académicas? *

☐ Sí

☐ No

2. Nivel de dominio en SIG *

☐ Bajo

☐ Medio

☐ Alto

3. El sistema actual del inventario arbóreo es adecuado para actividades académicas. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

4. El acceso a la información es rápido y eficiente. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

5. La información disponible permite realizar análisis ambientales. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

6. El uso de registros manuales limita la enseñanza y la investigación. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

7. Es necesario implementar una plataforma digital para el inventario arbóreo. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

8. La visualización en mapas facilitaría la enseñanza. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

9. La georeferenciación mejoraría el análisis ecológico. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

10. La plataforma debería permitir análisis de distribución de especies. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

11. La plataforma debería ser fácil de usar. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

12. La interfaz debería ser clara para docentes y estudiantes. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

13. El sistema debería ser fácil de aprender sin capacitación extensa. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

14. La plataforma mejoraría la calidad de la enseñanza. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

15. Facilitaría el desarrollo de investigaciones. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

16. La plataforma reduciría el tiempo de búsqueda de información. *

1 2 3 4 5

Totamente en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Totalmente de acuerdo

17. ¿Qué limitaciones presenta actualmente el manejo del inventario arbóreo? *

Texto de respuesta larga

18. ¿Qué funcionalidades considera indispensables en la plataforma SIG? *

Texto de respuesta larga

Enlace de resultados:

[Encuesta de evaluación de usabilidad y necesidades de una plataforma SIG para inventario arbóreo \(respuestas\)](#)

Form_Responses	Marca temporal	Dirección de correo electrónico	Puntuación	Nombre completo	Área de formación	1. ¿Utiliza i	2. Nivel de dar	3. El sistema i	4. El acceso a la inf	5. La información	6. El us	7. Es necesario	8. La visualizac
	27/03/2026 9:49:25	amjurado@itp.edu.co		Angela Maria Jurado Parra	Ingeniera Agroforestal	Sí	Medio	5	5	5	5	5	5
	21/04/2026 11:13:46	milyortega@itp.edu.co		Mily Asgar Ortega Solarte	Ingeniera Agroforestal	No	Bajo	2	2	2	3	5	5
	24/04/2026 14:21:38	ladysanchez2021@itp.edu.co		Lady Kiomara Sánchez	Ingeniera ambiental	Sí	Alto	3	3	3	5	5	5
	24/04/2026 15:20:25	juan.revelo@itp.edu.co		JUAN REVELO	INGENIERIA AMBIENTAL	Sí	Medio	1	1	1	1	1	1
	25/04/2026 8:01:32	cristianfmcuencas@gmail.com		Christian Camilo Díaz Peña	Ingeniería Forestal	Sí	Medio	3	2	2	5	5	5

9. La geom	10. La plataf	11. La pl	12. La interf	13. El sistema del	14. La plataforma m	15. Facilitaría el des	16. La plataforma r	17. ¿Qué limitaciones presenta actualmente i	18. ¿Qué funcionalidades considera indispen
5	5	5	5	5	5	5	5	Acceso al terreno por su topografía y condiciones	La ubicación de árboles semilleros en JARBOTA
4	5	4	5	4	5	5	5	Al iniciar sesión y cambiar entre los apartados exi	Se podría agregar una función que permita ir a la
5	5	5	5	5	5	5	5	Existe un problema al visualizar el mapa base al c	Se podría agregar a la lista/inventario y también a
1	1	1	1	1	1	1	1	NA	NA
5	5	5	5	5	5	5	5	la desorganizacion en el manejo de informacion	reconocimiento y del inventario forestal institucion
5	5	5	5	5	5	5	5	No existe una base de datos actualizada	Poder alimentar y extraer informacion especifica.

Anexo 2. Documento de especificaciones de requerimientos de software (ERS)

Especificación de Requerimientos de Software (ERS): SIG UniPutumayo

I. Introducción

1.1 Alcance del Sistema

La plataforma está diseñada para ser el núcleo transaccional y analítico del inventario arbóreo de la Institución Universitaria del Putumayo. No se trata solo de un "mapa digital", sino de un ecosistema que centraliza el flujo de datos desde la captura en campo hasta el análisis científico. Permitirá la georreferenciación multiescalar, la visualización cartográfica en tiempo real y la administración de variables biométricas complejas. El objetivo es que los programas de Ingeniería Ambiental y Forestal dejen atrás las planillas de papel y los archivos Excel aislados, migrando hacia una gobernanza de datos unificada.

1.2 Definiciones y Acrónimos

SIG (sistema de información geográfica): Básicamente, es la tecnología que nos permite "poner datos sobre un mapa" para entender no solo qué tenemos, sino dónde está y cómo se relaciona con su entorno.

Taxonomía: Es el sistema de clasificación jerárquica (Familia, Género, Especie) que asegura que todos hablemos el mismo idioma científico al identificar un árbol.

Variables Biométricas: Son los "signos vitales" del espécimen. Incluyen el DAP (Diámetro a la Altura del Pecho), altura total, diámetro de copa y estado fitosanitario (salud del árbol).

Interoperabilidad: La capacidad del sistema para "conversar" con otras herramientas o bases de datos sin que se pierda la información en el camino.

II. Descripción General

2.1 Perspectiva del Producto

El sistema se concibe como una Single Page Application (SPA) interoperable, conectada a un motor de base de datos relacional con extensiones espaciales (como PostGIS). En términos sencillos, funciona como una página web moderna y fluida donde toda la información está conectada entre sí: si cambias un dato en la ficha del árbol, el mapa se actualiza al instante.

2.2 Funciones Principales

Georreferenciación de Precisión: Captura de coordenadas (latitud/longitud) para ubicar cada árbol en el campus con exactitud métrica.

Dashboard cartográfico: Un panel iterativo que permite filtrar árboles por especie, edad o estado de salud directamente sobre el mapa.

Motor de Consultas Fitosanitarias: Herramientas para detectar patrones de enfermedades o plagas en el inventario.

2.3 Restricciones y Limitaciones

Tecnología y Metodología: El desarrollo se rige por Scrum, lo que significa que el software se construye "por partes" funcionalmente útiles (Sprints), asegurando que siempre se pueda escalar o mejorar.

Hardware: Se requieren servidores con capacidad de procesamiento gráfico para no "ralentizar" la web al cargar miles de puntos. En campo, se necesitan dispositivos móviles con sensores GPS activos.

Contexto Amazónico: Debido a la infraestructura de red en el Putumayo, el sistema debe ser ligero. "No podemos tener una web pesada que se quede cargando si el internet de la universidad falla o es lento".

III. Requerimientos Funcionales (RF)

RF01 (georreferenciación): El sistema deberá permitir la persistencia de coordenadas espaciales mediante la captura de metadatos GPS. Básicamente, el usuario hace clic en el mapa o usa el GPS del celular y el sistema "clava el pin" con la ubicación exacta.

RF02 (Visualización Interactiva): El sistema deberá renderizar capas vectoriales (GeoJSON) sobre un mapa base. Esto permite que el usuario pueda "navegar" por el campus, hacer zoom y dar clic en cada árbol para ver su ficha técnica.

RF03 (Gestión Taxonómica): El sistema deberá ejecutar procesos de validación cruzada con estándares internacionales (como el IPNI). Es un "corrector ortográfico" científico: si escribes mal el nombre de una especie, el sistema te avisará para evitar errores de inventario.

RF04 (Reportes Biométricos): El sistema deberá generar reportes dinámicos y comparativos. El usuario podrá pedirle al sistema: "muéstrame cuántos árboles han crecido más de 10 cm este año", y obtener un gráfico o tabla profesional.

IV. Requerimientos No Funcionales (RNF)

Rendimiento (Performance): La recuperación de datos debe ser inferior a 2 segundos. Queremos que la plataforma "sea más rápida"; que pasar de un proceso manual de minutos a uno digital sea una mejora inmediata y notable.

Seguridad: Implementación de protocolos SSL/TLS (HTTPS) y control de acceso basado en roles (RBAC). Nadie que no tenga permiso podrá borrar o modificar los datos del inventario. La información científica es un activo valioso y debe estar blindada.

Escalabilidad: El sistema debe utilizar una arquitectura capaz de manejar el crecimiento del inventario (de 100 a 10,000 árboles) sin que el servidor "se cuelgue" o se vuelva lento.

Disponibilidad (Uptime): Se garantiza un 99.5% de tiempo de actividad. El sistema debe estar "siempre prendido", disponible para que cualquier investigador o estudiante lo consulte en cualquier momento del día.

Anexo 3. Matriz de requerimientos priorizados (Product Backlog).

ID	Historia de usuario	Prioridad (MoSCoW)	Estimación (SP)	Criterios de aceptación
US01	Como ingeniero forestal, quiero registrar un árbol con GPS, para georreferenciar el inventario.	Must (Esencial)	8	Precisión decimal de coordenadas y validación de campos obligatorios.
US02	Como investigador, quiero visualizar el mapa interactivo, para analizar la distribución espacial.	Must (Esencial)	5	Carga de capas base (OpenStreetMap/Google Maps) y marcadores reactivos.
US03	Como administrador, quiero gestionar estándares	Should (Importante)	5	integración con bases de datos botánicas externas o locales.

ID	Historia de usuario	Prioridad (MoSCoW)	Estimación (SP)	Criterios de aceptación
	taxonómicos, para asegurar la integridad científica.			
US04	Como estudiante, quiero consultar variables fitosanitarias, para realizar análisis de salud arbórea.	Could (Deseable)	3	Filtros por especie, estado de salud y rango de fechas.
US05	Como sistema, quiero optimizar la base de datos, para reducir la latencia en un 70%.	Must (Esencial)	13	Indexación espacial (PostGIS) y optimización de consultas SQL.

Anexo 4. Evidencia de medición y validación funcional del sistema

Inventario Arbóreo Exportar Reporte

Especies

Mostrar: 10 registros Clear

N°	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	CATEGORÍA
3	caña	caña 2	caña	Sendero

Página 1 de 1

Mediciones de Árboles

Mostrar: 10 registros

ESPECIE	N° ÁRBOL	FACTOR	CAPICM	CAPIM	DAPIM	ALT. TOTIM	ALT. COMIM	A. BASALIM	DAP REDIM	VOL. TOTIM	VOL. COMIM	P. GPS	LATITUD	LONGITUD	PROL. COR. X	PROL. COR. Y	E. SAN.	EFECTAS	INDIC	OTRA
3	16	0.75	87	0.87	1.25	16	14	0.059	0.200	0.574	0.442	16	1° 7' 0.007" N	79° 30' 54.9" E	SI	SI	BUENO	SI	SI	SI

```

127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:09] "GET /api/arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:09] "GET /api/arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:18] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:18] "GET /info_arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:18] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:19] "GET /info_arboles HTTP/1.1" 200 -

```

Anexo 5. Evidencias de pruebas funcionales del sistema

Captura de inicio de sesión

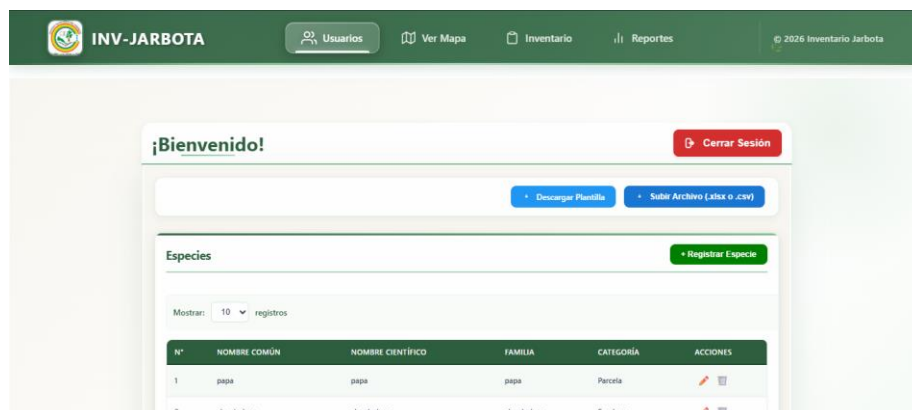
INV-JARBOTA Usuarios Ver Mapa Inventario Reportes © 2026 Inventario Jarbota

Inventario de Árboles

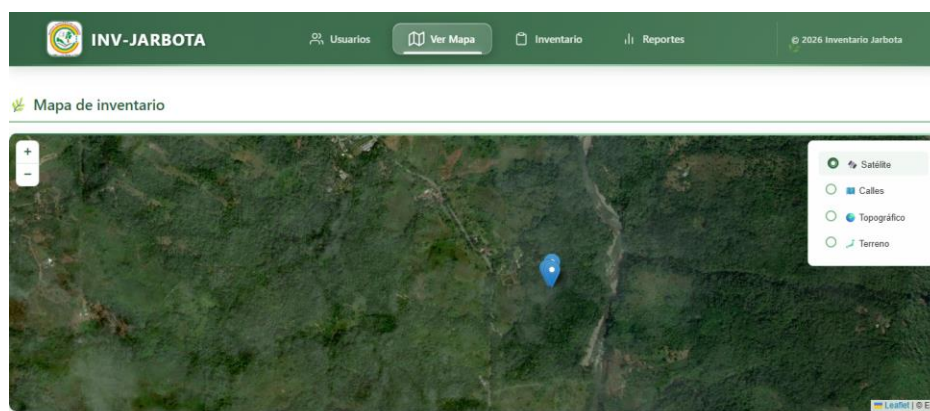
Usuario

Contraseña

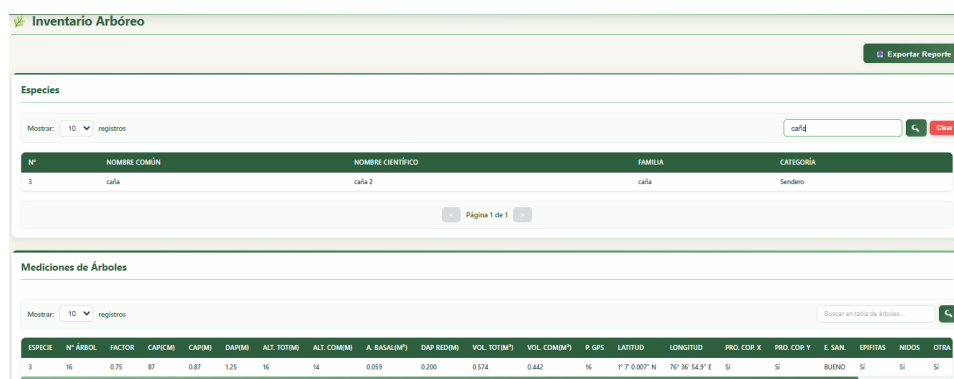
Entrar



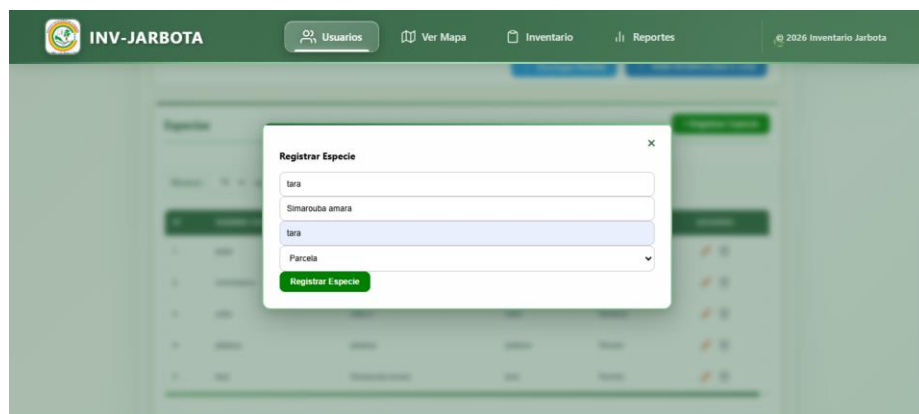
Mapas cargados



Filtros por especie



Registros exitosos



Especies + Registrar Especie

Mostrar: 10 registros

N°	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	CATEGORÍA	ACCIONES
1	papa	papa	papa	Parcela	 
2	chontaduro	chontaduro	chontaduro	Sendero	 
3	caña	caña 2	caña	Sendero	 
4	platano	platano	platano	Parcela	 
5	tara	Simarouba amara	tara	Parcela	 

< Página 1 de 1 >

Log del servidor

```

127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:09] "GET /api/arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:09] "GET /api/arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:18] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:18] "GET /info_arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:18] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:24:19] "GET /info_arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:28:13] "OPTIONS /auth/login HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:28:13] "POST /auth/login HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:28:14] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:28:14] "GET /info_arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:28:14] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:28:14] "GET /info_arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:29:47] "GET /api/arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:29:47] "GET /api/arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:31:28] "OPTIONS /auth/login HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:31:29] "POST /auth/login HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:31:29] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:31:29] "GET /info_arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:31:29] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:31:29] "GET /info_arboles HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:34:24] "OPTIONS /especies HTTP/1.1" 200 -
UsuarioID recibido: 1
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:34:25] "POST /especies HTTP/1.1" 200 -
127.0.0.1 - - [22/Feb/2026 18:34:25] "GET /especies HTTP/1.1" 200 -

```

Anexo 6. Encuesta diagnóstica posterior a la implementación de docentes

Instrumento aplicado mediante Google Forms para la recolección de información sobre la usabilidad, funcionalidad e impacto académico.

Enlace de encuesta:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeO4K2yyP433km-pDRGv3cMLH4Aq-aeAeHfIvHozPqOUNAEw/viewform?usp=sharing&ouid=115899347718120291129>

Evaluación de usabilidad, funcionalidad e impacto académico de la plataforma SIG para inventario arbóreo

Descripción del formulario

Este formulario recoge automáticamente los correos de todos los encuestados. [Cambiar configuración](#)

Nombre completo *

Texto de respuesta corta

Fecha *

Núm. día, año

Área *

Texto de respuesta corta

1. La plataforma presenta una interfaz clara, consistente y comprensible para los usuarios. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

2. La navegación y organización de los módulos es intuitiva y facilita la interacción con el sistema. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

3. El sistema presenta tiempos de respuesta adecuados durante la consulta y visualización de información. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

4. La plataforma es fácil de aprender y utilizar sin requerir capacitación especializada (curva de aprendizaje adecuada). *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

5. La plataforma permite la gestión eficiente del inventario arbóreo (registro, consulta y actualización de datos). *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

6. La visualización cartográfica (mapas) es clara y adecuada para el análisis de la información. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

7. La plataforma integra información biométrica y taxonómica suficiente y estructurada para fines académicos. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

8. El sistema permite realizar consultas y análisis espaciales básicos de manera adecuada. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

9. La plataforma contribuye a mejorar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

10. La plataforma facilita la explicación de conceptos relacionados con Sistemas de Información Geográfica (SIG). *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

11. La plataforma apoya el desarrollo de actividades investigativas en el área ambiental o forestal. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

12. La plataforma permite analizar de manera efectiva la distribución espacial de especies arbóreas. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

13. La plataforma reduce la dependencia de procesos manuales en la gestión del inventario. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

14. La plataforma mejora el acceso y disponibilidad de la información para uso académico. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

15. La plataforma contribuye a la toma de decisiones en el ámbito ambiental. *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

16. Califique la usabilidad general de la plataforma en una escala de 1 a 100. *

Texto de respuesta corta

17. ¿Qué beneficios ha aportado la plataforma en su labor docente o investigativa? *

Texto de respuesta larga

18. ¿Qué aspectos considera que deben mejorarse en el sistema? *

Texto de respuesta larga

19. ¿Recomendaría la implementación institucional de la plataforma? Justifique su respuesta. *

Texto de respuesta larga

Enlace de resultados:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1IYFJtwNB9-yQJ2GhOEcrq1xXoC3EQttfN2O_m59BV10/edit?usp=sharing

Form Responses												
Marca temporal	Dirección de correo electrónico	Nombre completo	Fecha	Área	1. La plataf	2. La navega	3. El siste	4. La ple	5. La plataform	6. La visualizaci	7. La plato	8. El sistema g
24/04/2026 14:24:51	ladysanchez2021@itp.edu.co	Lady Xiomara Sánchez	24/04/2026	CIECYT	4	4	4	4	4	5	5	5
24/04/2026 15:23:29	juan.revelo@itp.edu.co	JUAN REVELO	24/04/2026	INGENIERIA AMBIENTAL	5	5	5	5	5	5	5	5
9. La platafo	10. La plataf	11. La pla	12. La plataform	13. La platafc	14. La plata	15. La pl	16. Califique	17. ¿Qué beneficios ha apo	18. ¿Qué aspectos considera que deben mej	19. ¿Recomendaría la implementación institu		
5	5	5	5	5	5	5	100	Acceso a documentos	NA	SI		
5	5	5	5	5	5	5	90	la enseñanza a mejorado	la integración de imágenes y usos, ficha taxonom	si claro ya que hace falta para la enseñanza e ed		

Anexo 7. Evaluación posterior a la implementación de estudiantes

Instrumento aplicado mediante Google Forms para la recolección de información sobre la usabilidad, funcionalidad e impacto académico.

Enlace de encuesta:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScQJWzf9xPP1u17O28pgB3sEbbTfio8lZeH6OXXxr0R6pO38A/viewform?usp=sharing&oid=115899347718120291129>

Evaluación de usabilidad e impacto académico de la plataforma SIG para inventario arbóreo

Descripción del formulario

Este formulario recoge automáticamente los correos de todos los encuestados. [Cambiar configuración](#)

Nombre: *

Texto de respuesta corta

Fecha *

Mes, día, año

Programa académico *

Texto de respuesta corta

Semestre *

Texto de respuesta corta

1. La plataforma presenta una interfaz clara, comprensible y consistente. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

2. La navegación y organización de la información facilitan la interacción con el sistema. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

3. El sistema presenta tiempos de respuesta adecuados durante su uso. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

4. La plataforma es fácil de aprender y utilizar, sin requerir conocimientos avanzados. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

5. La búsqueda y acceso a la información es rápida y eficiente. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

6. La plataforma permite la visualización correcta de los árboles mediante mapas georreferenciados. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

7. La georreferenciación facilita la ubicación y análisis espacial de los individuos arbóreos. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

8. La información registrada (biométrica y taxonómica) es completa, clara y útil. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

9. Los mecanismos de consulta (filtros y búsquedas) funcionan de manera adecuada. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

10. La plataforma facilita el aprendizaje de conceptos relacionados con Sistemas de Información Geográfica (SIG). *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

11. La plataforma mejora la comprensión del inventario arbóreo y su análisis. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

12. El sistema permite realizar análisis espaciales de forma comprensible. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

13. Favorece el desarrollo de competencias tecnológicas en el estudiante. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

14. Me siento cómodo utilizando la plataforma durante actividades académicas. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

15. Utilizaría la plataforma de manera frecuente en mi proceso de aprendizaje. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

16. Recomendaría el uso de la plataforma a otros estudiantes. *

Muy bajo 1 2 3 4 5 Muy alto

17. ¿Qué aspectos considera más útiles de la plataforma? *
Texto de respuesta larga
18. ¿Qué dificultades encontró durante el uso del sistema? *
Texto de respuesta larga
19. ¿Qué mejoras propone para optimizar la plataforma? *
Texto de respuesta larga

Enlace de resultados:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/10Sux7LDKx7JyHalDQYoKAUw-j05p3f_t-pJXMm8ElB8/edit?usp=sharing

Anexo 8. Manual de usuario de la plataforma web SIG

Plataforma de inventario arbóreo INV-JARBOTA

Desarrollado por:

Yeiner Adrian Angulo Ordoñez

Ubicación de la aplicación:

Amazonía Colombiana-Putumayo

Institución Universitaria del Putumayo

Mocoa-Putumayo

2026

1. Introducción

Bienvenido al ecosistema digital de INV-JARBOTA, es una plataforma de vanguardia diseñada específicamente para la gestión de recursos naturales y la gobernanza del territorio en la Amazonía colombiana. Este sistema no es solo una base de datos; es una herramienta de monitoreo socioambiental que permite transformar las observaciones de campos en información valiosa para la conservación.

La plataforma surge como respuesta a la necesidad de centralizar la información sobre la biodiversidad arbórea, permitiendo que investigadores, técnicos y la comunidad local colaboren en la protección del patrimonio natural. A través de este manual, usted aprenderá a navegar por las interfaces de registro, visualizar datos en mapas dinámicos y analizar las estadísticas vitales que determinan la salud de nuestros bosques. Nuestro objetivo es que cada usuario, independientemente de su nivel de conocimiento técnico, pueda contribuir eficazmente al cuidado de los ecosistemas del Putumayo.

Módulo de Usuarios

Descripción general

El módulo de usuarios permite el acceso seguro al sistema y la gestión básica de la información relacionada con las especies arbóreas registradas. A través de este módulo, el usuario puede autenticarse en la plataforma, visualizar registros existentes y realizar operaciones como la creación de nuevas especies o la carga masiva de datos.

Este módulo constituye el punto de entrada al sistema, garantizando el control de acceso mediante credenciales y facilitando la interacción inicial con la plataforma.

1. Inicio de sesión

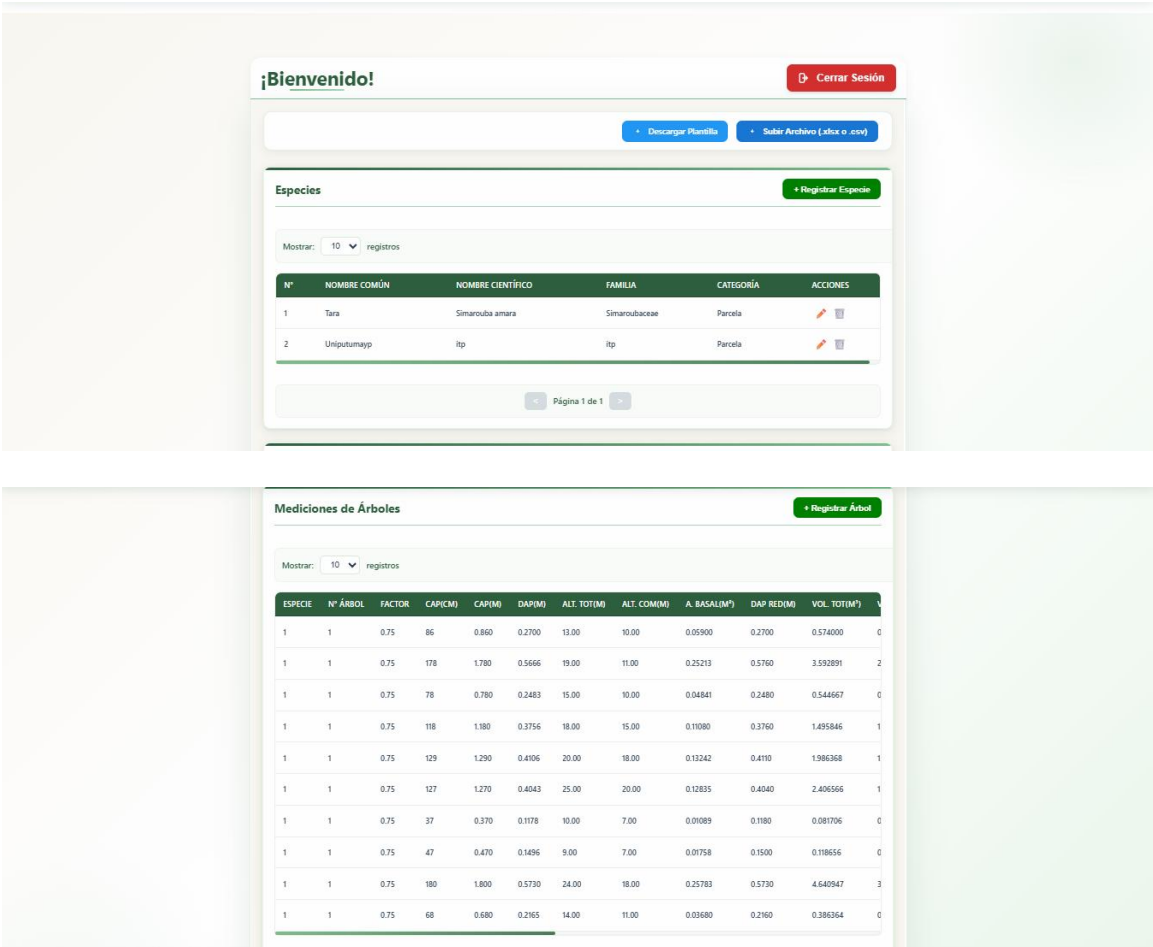


El acceso al sistema se realiza mediante un formulario de autenticación que solicita:

- Usuario
- Contraseña
- Procedimiento:
- Ingresar el nombre de usuario en el campo correspondiente.
- Ingresar la contraseña asignada.
- Hacer clic en el botón “Entrar”.

Si las credenciales son correctas, el sistema redirige al panel principal. En caso contrario, se mostrará un mensaje de error.

2. Panel principal de usuario



Una vez autenticado, el usuario accede a un panel de control donde se visualizan diferentes opciones:

Descargar plantilla: permite obtener un archivo base para la carga de datos.

Subir archivo (.xlsx o .csv): permite importar información de manera masiva.

Cerrar sesión: finaliza la sesión activa del usuario.

Además, se presenta una tabla con el listado de especies registradas en el sistema.

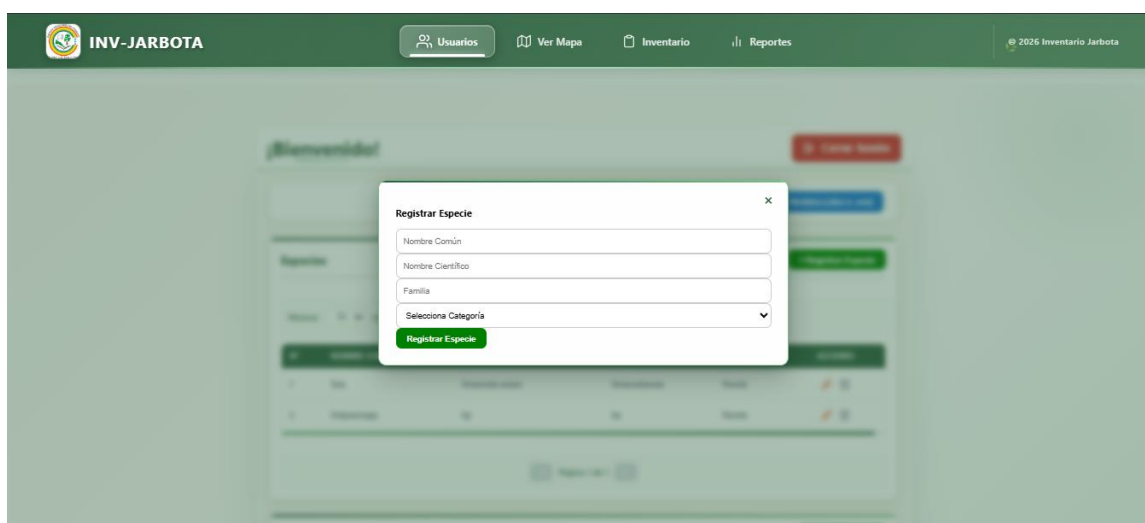
3. Visualización de especies

El sistema muestra una tabla con la siguiente información:

- Número de registro
- Nombre común
- Nombre científico
- Familia
- Categoría
- Acciones disponibles
- Acciones disponibles:
- Editar registro
- Eliminar registro

Esto permite mantener actualizada la información del inventario.

4. Registro de nuevas especies

The image is a screenshot of a web application interface for 'INV-JARBOTA'. At the top, there is a dark green header bar with the application logo on the left, a navigation menu in the center (including 'Usuarios', 'Ver Mapa', 'Inventario', and 'Reportes'), and a user profile icon on the right. Below the header, a modal window titled 'Registrar Especie' is open. This modal contains four input fields: 'Nombre Común', 'Nombre Científico', 'Familia', and a dropdown menu labeled 'Selecciona Categoría'. A green button labeled 'Registrar Especie' is positioned at the bottom of the modal. The background of the application is slightly blurred, showing a table with columns for species data.

El sistema permite agregar nuevas especies mediante un formulario emergente.

Procedimiento:

- Hacer clic en el botón “Registrar Especie”.
- Completar los siguientes campos:
- Nombre común
- Nombre científico
- Familia
- Categoría

Hacer clic en “Registrar Especie” para guardar la información.

Una vez registrada, la especie se agrega automáticamente a la tabla principal.

5. Medición de árboles

El módulo también permite visualizar registros relacionados con mediciones dendrométricas de los árboles, incluyendo variables como:

5.1. Variables de Identificación y Localización

- Selección de Especie: Enlace relacional con la base de datos de especies (Llave foránea).
- Número de Árbol: Identificador único correlativo para el individuo dentro del inventario.
- Coordenadas GPS: Registro de Latitud y Longitud en formato de grados decimales o DMS para la georreferenciación del ejemplar.

5.2. Parámetros Biométricos (Dendrometría)

El sistema procesa y almacena las siguientes métricas de dimensiones físicas:

- Circunferencia a la Altura del Pecho (CAP): Entrada en centímetros (cm) y conversión automática a metros (m).

- Diámetro a la Altura del Pecho (DAP): Cálculo derivado del CAP, con campo específico para DAP Redondeo.
- Alturas: Captura diferenciada de Altura Total (m) y Altura Comercial (m).
- Cálculos de Área y Volumen:
- Área Basal: Superficie de la sección transversal del tronco.
- Volumen Total y Volumen Comercial: Estimaciones basadas en modelos alométricos.
- Factor de Forma: Coeficiente de corrección para el cálculo de volumen según la confiabilidad del fuste.

5.3. Atributos Ecológicos y Estado Fitosanitario

Más allá de la medición física, el módulo permite caracterizar el estado cualitativo del individuo:

*Estado Sanitario: Menú desplegable para clasificar la vitalidad del espécimen (e.g., Sano, Enfermo, Muerto en pie).

*Proyección de Copa (X, Y): Variables para determinar el área de cobertura e influencia del dosel.

*Presencia de Biota Asociada: Checkboxes para el registro de:

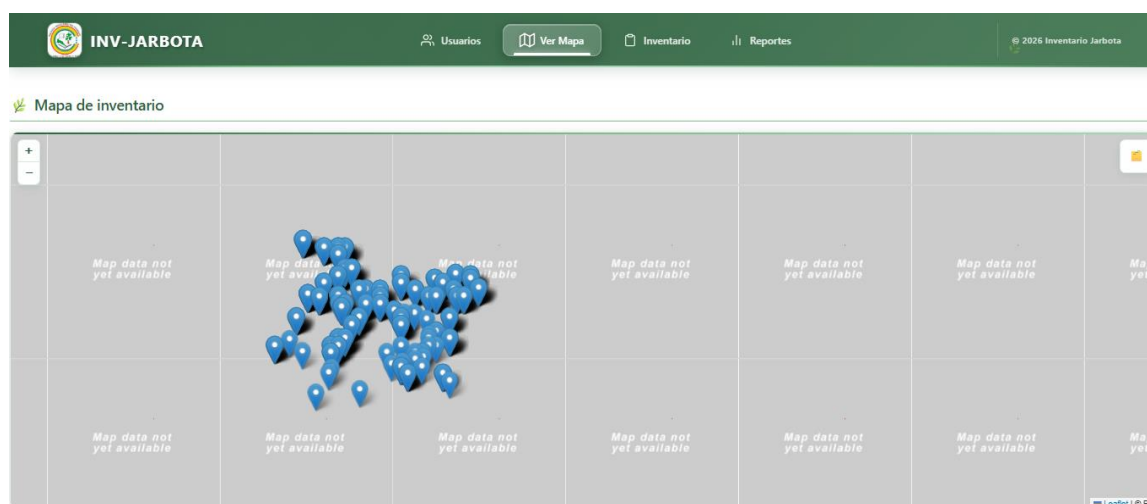
- Epífitas
- Nidos
- Otra Fauna

*Datos de Campo Adicionales: Campos de texto libre para Observaciones y referencia de Transecto.

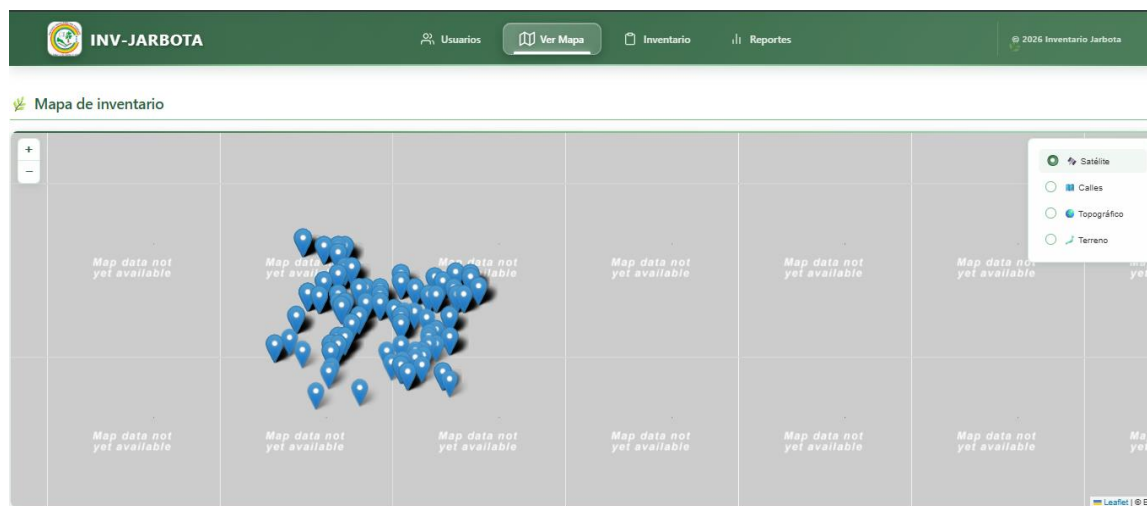
Módulo de Mapa de Inventario

1. Descripción General

El componente de visualización geográfica permite la representación espacial del inventario forestal mediante una interfaz cartográfica interactiva. Su función principal es proporcionar la ubicación exacta de cada ejemplar registrado, facilitando la supervisión territorial y el acceso rápido a la información técnica de campo.



2. Interfaz del Visor Geográfico



La interfaz utiliza un motor de mapas basado en capas que ofrece las siguientes herramientas de navegación:

*Controles de Zoom: Ubicados en la esquina superior izquierda (+ /-) para ajustar la escala de visualización.

*Selector de Capas (Base Maps): Menú desplegable en la esquina superior derecha que permite alternar entre diferentes proveedores de cartografía:

- Satélite: Visualización de imágenes aéreas de alta resolución.
- Calles: Mapa vial y áreas urbanas.
- Topográfico: Representación de curvas de nivel y relieve.
- Terreno: Sombreado de relieve físico.

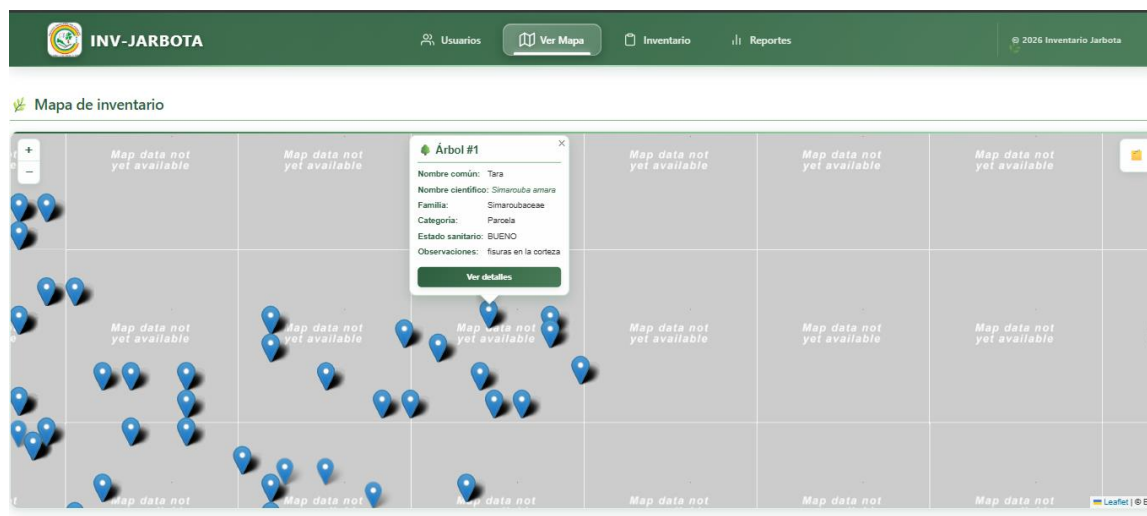
3. Representación de Datos (Markers)

Cada individuo del inventario se representa mediante un marcador dinámico en el mapa.

- Distribución Espacial: Los marcadores se posicionan según las coordenadas de latitud y longitud capturadas en el registro de mediciones.

- Interactividad: Al interactuar con un marcador, el sistema despliega un componente tipo *Tooltip* o ventana emergente con información resumida.

4. Consulta de Atributos (Popup de Información)



Al seleccionar un ejemplar específico (ej. Árbol #1), el visor despliega un resumen técnico que incluye:

- Identificación: Nombre común y nombre científico del ejemplar.
- Clasificación: Familia botánica y categoría asignada.
- Estado Fitosanitario: Condición actual del individuo (ej. BUENO).
- Observaciones: Notas técnicas adicionales (ej. "fisuras en la corteza").
- Acceso a Detalle: Botón de acción "Ver detalles" que redirige al usuario a la ficha técnica completa del registro.

5. Especificaciones Técnicas de la Capa de Datos

- **Motor de Renderizado:** Basado en la librería Leaflet para una gestión eficiente de geodatos en entorno web.
- **Atribución de Datos:** integración con servicios de mapas externos (Esri, Leaflet).
- **Sincronización:** La ubicación de los puntos se actualiza en tiempo real conforme se ingresan nuevas mediciones en el módulo de usuarios o inventario.

Módulo de Inventario arbóreo

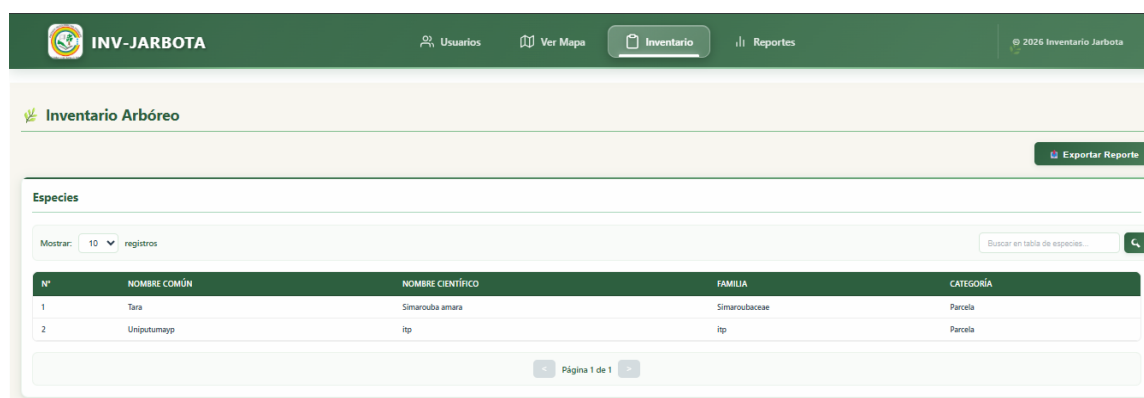
1. Descripción General

Este módulo funciona como el repositorio central de datos del sistema. Su objetivo es consolidar tanto la clasificación taxonómica como las métricas físicas de cada individuo forestal, proporcionando herramientas de búsqueda, filtrado y exportación de datos para el análisis técnico.

2. Gestión de Tablas de Datos

La interfaz se divide en dos secciones principales de visualización de datos, ambas equipadas con controles de paginación y búsqueda en tiempo real.

2.1. Tabla de Especie



The screenshot displays the 'INV-JARBOTA' web application. The top navigation bar includes links for 'Usuarios', 'Ver Mapa', 'Inventario', and 'Reportes'. The main header is 'Inventario Arbóreo'. A search bar is present with the text 'Buscar en tabla de especies...'. Below the search bar, there is a table titled 'Especies' with the following columns: 'N°', 'NOMBRE COMÚN', 'NOMBRE CIENTÍFICO', 'FAMILIA', and 'CATEGORÍA'. The table contains two rows of data. At the bottom, there is a pagination control showing 'Página 1 de 1'.

N°	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	CATEGORÍA
1	Tara	Simarouba amara	Simaroubaceae	Parcela
2	Uniputumayo	Itp	Itp	Parcela

Presenta un resumen de la diversidad taxonómica registrada en el sistema.

- Campos visualizados: Número correlativo, Nombre Común, Nombre Científico, Familia y Categoría.
- Funcionalidad: Permite identificar rápidamente las especies que componen el inventario y su clasificación general.

2.2. Tabla de Mediciones de Árboles

Mediciones de Árboles

Mostrar: 10 registros

ESPECIE	N° ÁRBOL	FACTOR	CAPICM	CAPIM	DAPIM	ALT. TOTIM	ALT. COMIM	A. BASAL(M²)	DAP REDIM	VOL. TOTIM³	VOL. COMIM³	P. GPS	LATITUD	LONGITUD	PRO. COP X	PRO. COP Y	E. SAN.	EPÍFITAS	NIDOS	G
1	1	0.75	86	0.860	0.2700	13.00	10.00	0.05900	0.2700	0.574000	0.442000	1	1° 7' 2.23" N	76° 37' 55.33" O	No	SI	BUENO	No	No	Ni
1	1	0.75	178	1.780	0.5666	19.00	11.00	0.25213	0.5760	3.532891	2.080095	1	1° 7' 0.007" N	76° 36' 54.9" E	No	No	BUENO	No	No	Ni
1	1	0.75	78	0.780	0.2483	15.00	10.00	0.04841	0.2480	0.544667	0.363111	2	1° 7' 0.87" N	76° 37' 54.59" E	No	No	BUENO	No	No	Ni
1	1	0.75	118	1.180	0.3756	18.00	15.00	0.11080	0.3760	1.495846	1.246538	3	1° 7' 1.183" N	76° 37' 54.996" E	No	No	BUENO	No	No	Ni
1	1	0.75	129	1.290	0.4106	20.00	18.00	0.13242	0.4110	1.986368	1.787732	4	1° 7' 0.826" N	76° 37' 55.22" E	No	No	REGULAR	No	No	Ni
1	1	0.75	127	1.270	0.4043	25.00	20.00	0.12835	0.4040	2.406566	1.925253	5	1° 7' 1.115" N	76° 37' 55.032" E	No	No	BUENO	No	No	Ni
1	1	0.75	37	0.370	0.1178	10.00	7.00	0.01089	0.1180	0.081706	0.057194	6	1° 7' 1.237" N	76° 37' 54.135" E	No	No	BUENO	No	No	Ni
1	1	0.75	47	0.470	0.1496	9.00	7.00	0.01758	0.1500	0.118656	0.092288	7	1° 7' 2.094" N	76° 37' 54.901" E	No	No	BUENO	No	No	Ni
1	1	0.75	180	1.800	0.5730	24.00	18.00	0.25783	0.5730	4.640947	3.480710	8	1° 7' 1.586" N	76° 37' 55.591" E	No	No	BUENO	No	No	Ni
1	1	0.75	68	0.680	0.2165	14.00	11.00	0.03680	0.2160	0.386364	0.303571	9	1° 7' 1.414" N	76° 37' 55.413" E	No	No	BUENO	No	No	Ni

Página 1 de 102

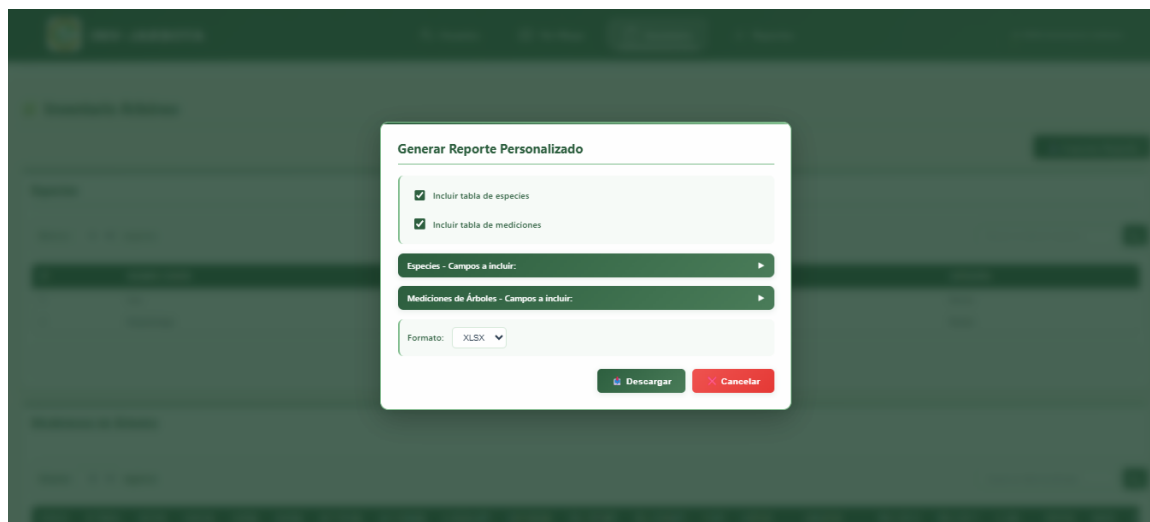
Contiene el registro pormenorizado de cada individuo, integrando variables biométricas y atributos ecológicos.

- Variables Técnicas: Incluye factores de forma, CAP (cm y m), DAP (m), DAP Redondeo (m), Altura Total y Comercial (m), Área Basal, y Volúmenes.
- Datos Espaciales y de Campo: Muestra el Punto GPS, Latitud, Longitud, así como la presencia de Epífitas, Nidos y Fauna asociada.
- Estado Cualitativo: Registro visual del Estado Sanitario (ej. BUENO, REGULAR) y Proyección de Copa (X, Y).

3. Sistema de Generación de Reportes Personalizados

El módulo integra una herramienta de exportación avanzada que permite a los técnicos configurar la salida de datos según sus necesidades específicas.

3.1. Configuración de Reporte



A través de un formulario emergente, el usuario puede:

- Selección de Módulos: Incluir o excluir la "Tabla de especies" y la "Tabla de mediciones" en el archivo final.
- Selección de Campos (Granularidad): Elegir específicamente qué columnas desea exportar para cada tabla (ej. solo Nombre Común, Familia y Categoría).
- Formato de Salida: El sistema permite la descarga de información en formatos compatibles con hojas de cálculo para facilitar el procesamiento externo (ej. .xlsx).

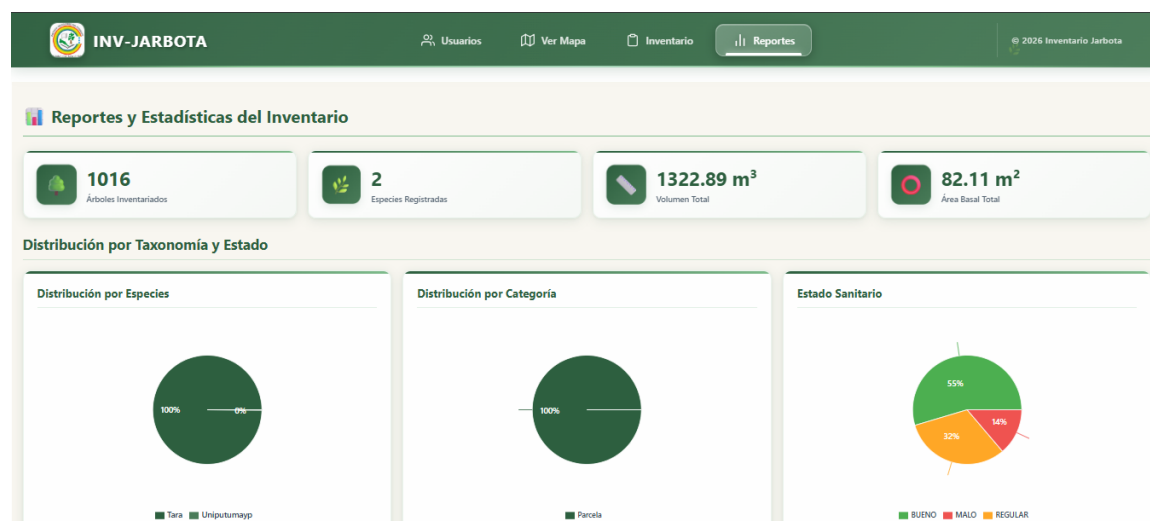
4. Herramientas de Interfaz

- **Buscador dinámico:** Filtra la información de las tablas instantáneamente mediante palabras clave.
- **Selector de registros:** Permite ajustar la cantidad de registros visibles por página (ej. 10, 25, 50).
- **Exportar Reporte:** Acceso directo a la utilidad de configuración de descargas desde la cabecera de la sección.

Módulo de Reportes y Estadísticas del Inventario

1. Descripción General

Este módulo proporciona una interfaz analítica diseñada para la interpretación visual de la información recolectada en campo. Su función principal es transformar los registros individuales del inventario en métricas agregadas y gráficos estadísticos que faciliten la toma de decisiones técnicas y administrativas.



2. Indicadores Clave de Desempeño (KPIs)

El sistema calcula y presenta de manera automática cuatro indicadores fundamentales para la gestión forestal:

- Árboles Inventariados: Representa el conteo total de individuos censados en la plataforma (ej. 100 individuos).
- Especies Registradas: Indica la diversidad taxonómica presente en el inventario actual (ej. 2 especies).
- Volumen Total: Sumatoria acumulada del volumen comercial y total de todos los ejemplares, expresada en metros cúbicos (m^3).
- Área Basal Total: Representa la superficie de la sección transversal de los troncos a la altura del pecho, expresada en metros cuadrados (m^2).

3. Análisis de Distribución por Taxonomía y Estado

El módulo segmenta la información mediante visualizaciones gráficas dinámicas:

3.1. Distribución por Especies

- Gráfico Circular: Visualiza la proporción de cada especie respecto al total del inventario.
- Funcionalidad: Permite identificar la dominancia de especies específicas (ej. Tara vs. UniPutumayo) en el área de estudio.

3.2. Distribución por Categoría

- **Gráfico de Sectores:** Clasifica los individuos según su uso o ubicación administrativa (ej. Parcela).

- **Propósito:** Facilitar la organización espacial y logística de los datos recolectados.

3.3. Estado Sanitario

*Análisis de Salud: Representación porcentual de la condición física de los árboles.

*Clasificación: Segmenta la población en tres niveles críticos observados en la interfaz:

- **BUENO:** Representado en color verde (ej. 55%).
- **REGULAR:** Representado en color naranja (ej. 32%).
- **MALO:** Representado en color rojo (ej. 14%).

4. Integración Técnica

- **Actualización en Tiempo Real:** Los gráficos y KPIs consumen directamente la información del Módulo de Inventario, reflejando cualquier cambio o adición de datos de forma inmediata.

- **Soporte de Decisiones:** La consolidación de métricas como el volumen y el área basal es fundamental para el cálculo de biomasa y el potencial comercial del inventario forestal.