TRASLAPREDD+: COMPLEMENTO DE QGIS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE TRASLAPES ENTRE PROGRAMAS Y PROYECTOS REDD+

Autores:

Adriana Catalina Bonell Torres

Ing. Forestal

Pablo Andrés Bejarano Fajardo

Ing. Civil

Trabajo de grado en modalidad de monografía presentado como requisito parcial para optar por el título de especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

MSc. Salomón Einstein Ramírez Fernández

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Bogotá DC

Mayo de 2024

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 4

1. MARCO DE REFERENCIA 5

1.1. Marco teórico 5

1.2. Marco legal 6

1.3. Antecedentes 8

2. PROBLEMA 10

3. JUSTIFICACIÓN 12

4. OBJETIVOS 14

5. METODOLOGÍA 15

5.1. Fase 1: Análisis 15

5.2. Fase 2: Diseño 15

5.3. Fase 3: Implementación 16

5.4. Fase 4: Evaluación del Producto. 16

6. RESULTADOS 17

6.1. Fase 1: Análisis 17

6.2. Fase 2: Diseño 19

6.2.1. Diagrama de actividad 19

6.2.2. Diagrama de clases 20

6.2.3. Diagrama de secuencias 21

6.2.4. Diagrama de paquetes 22

6.2.5. Diagrama de componentes 23

6.2.6. Diagrama de despliegue 24

6.3. Fase 3: Implementación 24

6.4. Fase 4: Evaluación 28

7. CONCLUSIONES 32

8. REFERENCIAS 34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preguntas orientadoras 30

Tabla 2. Puntuación 31

Tabla 3. Resultados evaluación del complemento 31

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Esquema metodológico Scrum 16

Imagen 2. Diagrama casos de uso 18

Imagen 3. Diagrama de actividad 20

Imagen 4. Diagrama clases 21

Imagen 5. Diagrama secuencias 22

Imagen 6. Diagrama de paquetes 23

Imagen 7. Diagrama de componentes 23

Imagen 8. Diagrama de despliegue 24

Imagen 9. Representación visual de la interfaz gráfica de usuario de TraslapREDD+ 27

Imagen 10. Diferentes cuadros de diálogo usados en el complemento 28

Imagen 11. Atributos de calidad 29

INTRODUCCIÓN

En la gestión ambiental y la lucha contra el cambio climático, las iniciativas de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques (REDD+) desempeñan un papel crucial al promover la conservación forestal y la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la implementación de múltiples iniciativas REDD+ en una misma área geográfica puede generar traslapes que afecten su efectividad y eficiencia.

Para abordar este desafío, se ha desarrollado el complemento TraslapREDD+ para el software de Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS. Este complemento tiene como objetivo facilitar el análisis espacial de traslapes entre proyectos y programas REDD+, permitiendo identificar y categorizar estos traslapes para una mejor gestión y toma de decisiones.

El desarrollo de TraslapREDD+ se realizó utilizando una metodología ágil basada en Scrum, que permite una entrega iterativa e incremental del producto. A lo largo de cuatro fases (análisis, diseño, implementación y evaluación), se definieron los requerimientos, se diseñó la arquitectura del software, se implementó la solución y se evaluó su calidad.

Este trabajo detalla cada una de estas fases, destacando los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas. Se discuten los aspectos clave del diseño arquitectónico, la implementación del complemento y la evaluación de su calidad, brindando una visión completa del proceso de desarrollo de TraslapREDD+ y su contribución a la gestión sostenible de los recursos forestales y la mitigación del cambio climático.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. Marco teórico

REDD+ es un acrónimo de "Reducción de Emisiones derivadas de la Deforestación y la Degradación forestal", el "+" corresponde actividades adicionales relacionadas con los bosques que protegen el clima, la gestión sostenible de los mismos y la conservación de las reservas de carbono forestal (United Nations Climate Change [UNCC], 2024). Este es un mecanismo internacional que ha venido construyéndose por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) desde el año 2005 con el propósito de mitigar el cambio climático por medio de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionadas con la mejora de gestión del recurso forestal en los países en desarrollo.

Los países pueden recibir pagos basados en resultados por la reducción de emisiones cuando disminuye la deforestación en el marco de estas actividades REDD+, lo que se considera como como un importante incentivo para sus esfuerzos (UNCC, 2024). Es así como a través de este mecanismo, varios países toman medidas concretas para proteger sus bosques, en total 60 naciones han notificado a la Secretaría de Cambio Climático de la ONU la ejecución de actividades REDD+, 13 de ellos han reportado reducciones de dióxido de carbono considerables y por ello son elegibles para solicitar financiación basada en el pago por resultados (UNCC, 2024).

Tal es el caso de Colombia, que se encuentra en fase de implementación del Programa REM (REDD+ for Early Movers) Visión Amazonía que es una iniciativa liderada por el Gobierno de manera anidada al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y que nació con el propósito de reducir las emisiones por la deforestación en la Amazonía colombiana a través de un

modelo de desarrollo sostenible (MADS, 2018). Como su nombre lo indica tiene operabilidad en el bioma Amazónico que comprende un área de 458.961 km^2, que corresponden aproximadamente al 40% del territorio colombiano. Esta región hace parte de los departamentos de Putumayo, Caquetá, Amazonas, Guainía, Guaviare, Vaupés, Meta, Vichada y Cauca (MADS e IDEAM, 2019).

Adicional a este Programa de nivel subnacional, se encuentra en fase de formulación el Proyecto Biocarbono Orinoquia, que contará con un componente programático REDD+. A lo anterior se le suman las iniciativas de mitigación de GEI del tipo REDD+ particulares que, a corte del 2021, se encontraban inscritas en alguna de las fases en el Registro Nacional de Reducción de Emisiones de GEI – RENARE un total de 98 (MADS, 2024).

1.2. Marco legal

En Colombia todo titular de una iniciativa de mitigación de GEI que pretenda optar a pagos por resultados o compensaciones similares, y/o demostrar el cumplimiento de metas nacionales de cambio climático establecidas bajo la CMNUCC debe inscribir su iniciativa de mitigación en el RENARE que es el Registro Nacional de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto, reglamentado por la Resolución 1447 de 2018 del MADS (Resolución 1447 de 2018).

A partir de dichos registros, uno de los desafíos que debe enfrentar el país es darle solución a los traslapes que se puedan presentar entre los Programas y Proyectos del Gobierno y las iniciativas privadas, con el propósito de evitar la doble contabilidad de las reducciones de emisiones o

remociones de GEI y a los titulares de las iniciativas para que puedan acceder a los beneficios esperados.

De acuerdo con la Resolución 1447 de 2018 “El traslape de iniciativas de mitigación de GEI sucede cuando una iniciativa pretende registrar en el RENARE actividades de reducción o remoción de GEI en periodos de ejecución y en áreas geográficas para las cuales existe previamente inscrita una iniciativa de mitigación de GEI para la misma actividad de mitigación”.

Los traslapes pueden ser de tipo compatible en dos situaciones, la primera se presenta cuando una iniciativa de mitigación de GEI pretende inscribirse en fase de ***factibilidad***, en un área geográfica en la cual existe una iniciativa inscrita en fase de ***implementación*** para el mismo periodo o para las mismas actividades de mitigación de GEI; la segunda, si al actualizar el área en la que se implementarán las actividades de una iniciativa de mitigación de GEI en fase de ***formulación***, se identifica un traslape en el área geográfica en la cual existe otra iniciativa previamente inscrita en fase de ***implementación*** para el mismo periodo o para las mismas actividades de mitigación de GEI.

Para los traslapes de tipo no compatible la ley indica que se pueden presentar en dos casos: en el evento en el que una iniciativa de mitigación de GEI pretenda inscribirse en fase de ***factibilidad***, en un área geográfica en la cual exista una iniciativa inscrita en fase de ***implementación*** para el mismo periodo ***y*** para las mismas actividades de mitigación de GEI; y cuando al actualizar el área en la que se implementarán las actividades de una iniciativa de mitigación de GEI en fase de ***formulación***, se identifique un traslape en el área geográfica en la cual exista otra iniciativa

previamente inscrita en fase de ***implementación*** para el mismo periodo y para las mismas actividades de mitigación.

1.3. Antecedentes

Actualmente, los procesos de identificación de traslapes se realizan con la ayuda de software SIG que demandan una gran cantidad de tiempo y resultan ineficientes a la hora de procesar grandes volúmenes de información, la herramienta de identificación de traslapes desarrollada por EcoRegistry tiene su origen en un API (Interfaz de programación de aplicaciones) el cual debido a su naturaleza permite la implementación de múltiples plataformas, las tecnologías implementadas en el desarrollo de esta herramienta son lenguaje de programación Python en conjunto con las bibliotecas GeoPanda y Selenium. El objetivo de esta herramienta es informar de posibles traslapes espaciales o temporales entre diferentes Proyectos de Mitigación de Cambio Climático PMCC a los actores involucrados en el proceso de certificación.

EcoRegistry hace énfasis en que la herramienta genera una alerta de los traslapes de tipo compatible y no compatible, es decir, que no confirma los traslapes, lo que pretende la empresa es identificar en una etapa temprana del proyecto estos traslapes. El resultado de esta herramienta es la generación de un archivo en Excel con el análisis de traslapes de un proyecto en particular, y un KML que representa la cartografía de un proyecto o las áreas traslapadas.

Esta herramienta emplea una base de datos compuesta por dos fuentes de información (plataformas de registro y web scraper), el objetivo de la base de datos es obtener todas las cartografías relacionadas con proyectos de mitigación de GEI y áreas protegidas. El funcionamiento de esta herramienta está definida en 3 pasos, el primero de ellos es la vinculación que consiste en el enlace

entre la herramienta y las plataformas de registro, el segundo paso es el envió de datos que pretende que la plataforma de registro envíe los metadatos relacionados con los proyectos de mitigación de GEI para ser almacenados en la herramienta, por último la solicitud de resultados considera el uso de algunas de las funciones que ofrece la herramienta como la descarga de un Excel con el reporte o un KML con traslapes si hay lugar.

Una vez identificados los traslapes los cuales generan alertas se continúa con la gestión de los posibles traslapes geográficos que son identificados en Cercarbono mediante una metodología compuesta de 5 pasos, para ello se requiere inicialmente de la generación de un informe preliminar que se obtiene mediante el uso de la herramienta de EcoRegistry, el segundo paso consiste en la recopilación de la cartografía de los proyectos con potenciales traslapes, lo siguiente es la homogeneización de esas cartografías mediante la conversión de coordenadas geográficas a coordenadas planas, el cuarto paso es el análisis de las áreas traslapadas para esto se hace una visualización de las cartografías de los diferentes proyectos, por último se verifican las áreas traslapadas, se genera un informe y una solicitud de cambio a los titulares/desarrolladores y Organismos de Verificación y Validación – OVV, para dar solución a esta situación que se está presentando en las áreas registradas de los proyectos (Cercarbono, 2024).

Las acciones realizadas por estas empresas resultan de valiosa ayuda para la estandarización de metodologías y procedimientos para la identificación de traslapes, sin embargo y dadas las necesidades crecientes, se requiere de la implementación de una herramienta que permita la identificación automatizada de traslapes de tipo compatible y no compatible.

2. PROBLEMA

Los proyectos REDD+ hacen referencia a la Reducción de las Emisiones de la Deforestación y la Degradación de Bosques, nacen con el propósito de mitigar el cambio climático a través de la reducción de emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero - GEI. Por la implementación de este tipo de proyectos se puede optar por una compensación monetaria derivada de las reducciones de emisiones y/o el aumento de existencias de carbono forestal, lo que se mide tradicionalmente en toneladas de CO2eq por año, y se somete a un proceso de reporte y verificación, estableciendo así un pago por cada tonelada de CO2eq mitigada.

En el bioma amazónico de Colombia, para optar a los pagos por resultados de mitigación, se deben cumplir los lineamientos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS en la Resolución 1447 de 2018, que regula el Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación de Mitigación Nacional, y otras normativas asociadas a través del Programa REM Colombia Visión Amazonía, una iniciativa de mitigación de gases efecto invernadero que nace en el marco la implementación de la Estrategia Nacional REDD+.

De acuerdo con el artículo 10 de la Resolución 1447 de 2018, todo titular de una iniciativa de mitigación de GEI en el territorio nacional que pretenda optar a pagos por resultados o compensaciones similares, y/o demostrar el cumplimiento de metas nacionales de cambio climático establecidas bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC, debe inscribir su iniciativa de mitigación en el Registro Nacional de Reducción de las Emisiones de GEI - RENARE. En el artículo 18 se señala que pueden configurarse traslapes compatibles (dos o más iniciativas con resultados finales diferentes a la mitigación del cambio

climático) y no compatibles (dos o más proyectos en una misma área para el mismo periodo y para las mismas actividades de mitigación).

El titular de una iniciativa REDD+ en traslape no compatible, no podrá verificar las reducciones de emisiones o remociones de GEI y no accederá a la compensación monetaria. Si bien en un escenario ideal no deberían presentarse traslapes de tipo no compatible se han identificado varias situaciones en las que sí. Esto además supone un problema en la cuantificación de las emisiones y absorciones de GEI y de las reservas forestales de carbono en el país, que se realiza por medio del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono administrado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

Para garantizar la efectividad de los proyectos y evitar conflictos que puedan obstaculizar la consecución de los objetivos de captura y reducción de emisiones de GEI y evitar su doble contabilidad es crucial abordar y resolver los traslapes de tipo no compatible. Lo que podría resolverse con la coordinación y colaboración entre las partes involucradas, sumado a la implementación de herramientas tecnológicas que contribuyan con la identificación de traslapes, tal como un complemento para QGIS.

3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de un complemento para su uso en un software SIG de escritorio de código abierto como QGIS que permita la identificación y gestión de traslapes de los proyectos REDD+ (Reducing Emissions From Deforestation and Forest Degradation) genera múltiples beneficios, entre estos contribuye al cumplimiento de la normativa que establece el marco de ejecución de este tipo de iniciativas y el alineamiento con metas nacionales de cambio climático en la Amazonía colombiana.

Por otra parte, la presencia de traslapes de tipo no compatible puede resultar en una doble contabilidad de las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero - GEI, la resolución de estos traslapes asegura una cuantificación precisa de los impactos ambientales de cada proyecto, permitiendo una evaluación confiable de los beneficios de la mitigación.

Asimismo, el complemento proporcionará claridad en la delimitación de áreas de intervención evitando la duplicación de esfuerzos, lo que podría denotar los impactos positivos de cada proyecto individual y a su vez garantizar que los titulares de estas puedan acceder a compensaciones monetarias derivadas de las reducciones de emisiones en el bioma amazónico.

El uso de herramientas tecnológicas de libre acceso que permitan la identificación de superposiciones de manera automatizada facilita la resolución de traslapes de manera ágil y minimiza los posibles errores humanos asociados con la interpretación manual de datos, mejorando la precisión en los resultados.

Por lo anterior, el desarrollo e implementación de este complemento que propende por la resolución de traslapes no compatibles en proyectos REDD+ beneficia a una amplia gama de actores como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, al lograr un cumplimiento efectivo de la normativa, garantizando la integridad de los proyectos y alcanzar metas nacionales de reducción de emisiones.

También será de utilidad para el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, que por medio del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono se encarga de estimar los contenidos de carbono en bosques naturales y realizar aportes técnicos al desarrollo del Sistema de Contabilidad Nacional de Emisiones GEI, especialmente la relacionada con REDD+. Por otra parte, la resolución de traslapes mejora la calidad de los datos, facilitando la toma de decisiones informadas para programas específicos como REM Colombia Visión Amazonía en términos vinculación de proyectos o exclusión de áreas.

Por último, los titulares de iniciativas responsables de implementar proyectos REDD+ se favorecen directamente al acceder a los beneficios y verificar las reducciones de emisiones de forma precisa. La resolución de traslapes no compatibles asegura la efectividad de las iniciativas REDD+ y contribuye a una gestión más eficiente de los recursos.

4. OBJETIVOS

Desarrollar un complemento para el software SIG de escritorio de código abierto QGIS que permita a sus usuarios identificar de manera eficiente los traslapes presentados entre iniciativas REDD+.

Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos funcionales y no funcionales para el desarrollo del complemento.
- Definir la arquitectura necesaria que satisfaga los requerimientos identificados para el complemento.
- Desarrollar la herramienta de acuerdo con los requerimientos establecidos y el diseño propuesto.
- Medir la conformidad de funcionalidad y aspectos de usabilidad del complemento desarrollado.

5. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se empleó un tiempo de 4 meses de ejecución, por lo cual se consideró conveniente emplear una metodología con un enfoque ágil, que permitió obtener subproductos para revisión bajo un desarrollo iterativo e incremental. La técnica que mejor se ajustó a la implementación del complemento para QGIS es la denominada Scrum, una metodología ágil y flexible, con alta capacidad de reacción ante los cambios generados por necesidades del desarrollo del complemento, pues en con este método la retroalimentación es continua, abarcando no solo las características del sistema, sino también el proceso en sí, lo que permite evaluar su progreso y señalar oportunidades de mejora (Rodríguez y Vicente, 2015).

Para llevar a cabo el desarrollo del complemento TraslappREDD+, se planificaron y ejecutaron cuatro fases o sprints distintos, cada uno con objetivos y actividades específicas. Estas fases fueron diseñadas para garantizar una implementación efectiva y eficiente del proyecto. A continuación, se detallan las actividades realizadas en cada fase:

5.1. Fase 1: Análisis

En esta etapa inicial, se llevaron a cabo actividades de análisis exhaustivo para establecer los objetivos, el alcance y las limitaciones del proyecto. Además, se identificaron y definieron los requerimientos funcionales y no funcionales del complemento. Esta fase permitió tener una comprensión clara de los desafíos y las necesidades del proyecto, sentando así las bases para el desarrollo futuro.

5.2. Fase 2: Diseño

En esta fase, se trabajó en la elaboración del diseño arquitectónico del complemento para QGIS. Se identificaron los actores y casos de uso del sistema, lo que proporcionó una estructura clara y

organizada para el desarrollo posterior. El diseño arquitectónico fue crucial para garantizar la coherencia y la eficiencia en el desarrollo del complemento.

5.3. Fase 3: Implementación

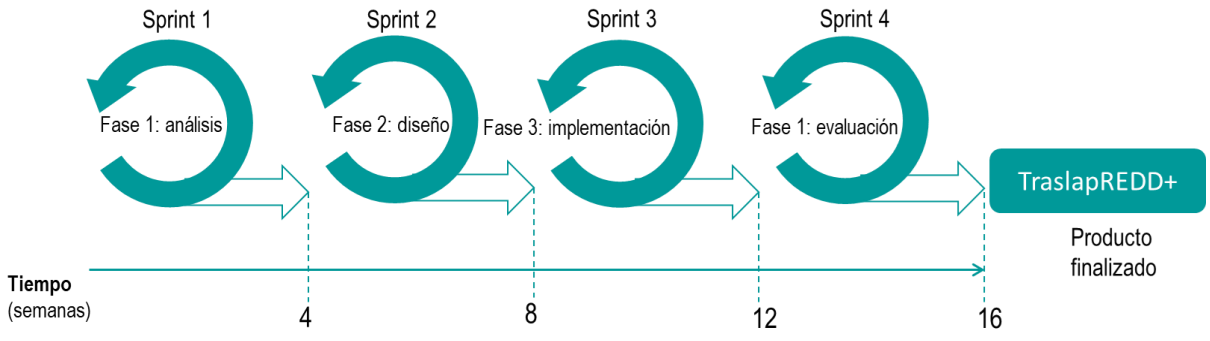
Durante esta etapa, se llevó a cabo la implementación del producto, es decir, la creación y puesta en marcha efectiva del complemento. Se tradujeron los diseños y especificaciones previamente establecidos en código funcional, utilizando las mejores prácticas de programación. La implementación fue una fase clave para convertir la visión del proyecto en una realidad tangible.

5.4. Fase 4: Evaluación del Producto.

En esta fase final, se realizaron pruebas unitarias exhaustivas para evaluar el complemento y verificar que el producto cumpliera con todos los requisitos y funcionalidades especificadas. Se llevó a cabo una evaluación detallada para garantizar la calidad y la eficacia del complemento. Esta fase fue fundamental para identificar posibles errores o áreas de mejora antes de la entrega final del producto.

Según lo anterior, y como se visualiza en la *Imagen 1*, la metodología adaptada comprendió 4 sprints correspondientes a una duración máxima de cuatro semanas cada uno.

Imagen 1. Esquema metodológico Scrum



Fuente: adaptado de Sutherland y Schwaber (2007).

6. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados según la metodología propuesta para las 4 fases, incluyendo la identificación y definición de requerimientos funcionales y no funcionales, el diseño arquitectónico y sus componentes, la implementación del complemento y la evaluación de este.

6.1. Fase 1: Análisis

El usuario puede realizar el análisis espacial para identificar y categorizar los traslapes entre Programas y Proyectos REDD+, para lo cual debe introducir la información necesaria que corresponde a las capas vectoriales de tipo Shapefile tanto del proyecto a evaluar como la capa de registro de iniciativas REDD+ del RENARE o del Programa REDD+. Las funcionalidades de identificación de traslapes REDD+ asociadas son:

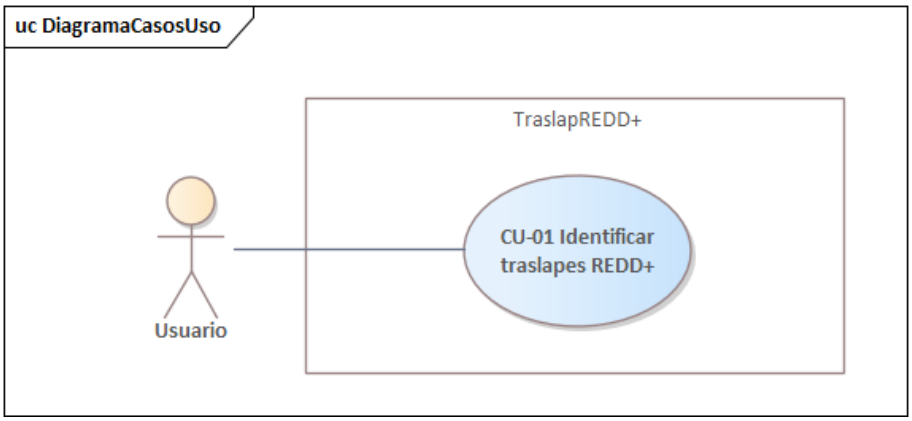
- Análisis espacial para identificar y categorizar los traslapes, el usuario carga la capa del proyecto a evaluar y la capa de registro de iniciativas REDD+ del RENARE o del Programa REDD+, el sistema realiza un análisis espacial de intersección entre las áreas de la iniciativa y las áreas de los proyectos registrados en el RENARE, si se intercepta se comprueba el traslape identificando si este es de tipo no compatible.
- Selección de los atributos de las capas a comparar como actividad REDD+, fecha inicial y fecha fin de la iniciativa, que tienen como fin ser comparados de tal manera que se pueda determinar si corresponde a un traslape de tipo no compatible
- Generación de reporte de información detallada de traslapes, esta función permite al usuario la descarga de un reporte en formato CSV el cual contiene información relacionada

con los proyectos que presentan traslapes como tipo de iniciativa, área de traslape y tiempo de ejecución.

- La función de generación de capas con información sobre áreas superpuestas permite a los usuarios obtener archivos en formato GML, KML y Shapefile. Estos archivos facilitan la visualización de las áreas de superposición entre proyectos REDD+.

La interacción entre el usuario y las funcionalidades del complemento están dadas por un único usuario el cual es una persona interesada en realizar el análisis de traslapes entre proyectos REDD+, como se evidencia en la *Imagen 2*.

Imagen 2. Diagrama casos de uso



Fuente: elaboración propia.

Considerando las necesidades, se definieron ciertas características para mejorar su usabilidad y rendimiento. Gracias a lo cual se determinó que el complemento debe ser intuitivo, permitiendo que los usuarios se familiaricen rápidamente y puedan utilizarlo sin dificultad. Además, el sistema debe cumplir con las disposiciones de la resolución 1474 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que hacen referencia a la identificación de traslapes no compatibles basados en la implementación de las mismas actividades REDD+ en los mismos periodos y la superposición de áreas geográficas.

Además, para garantizar que el sistema cumpla con estándares de compatibilidad del Open Geospatial Consortium – OGC, se implementó el uso del estándar de codificación de Lenguaje de Marcado Geográfico - GML y el lenguaje KML centrado en la visualización geográfica. En cuanto al rendimiento, se debe asegurar al usuario realizar consultas y acciones en un tiempo aceptable, lo que conllevó a la optimización del complemento en términos de desempeño y eficiencia.

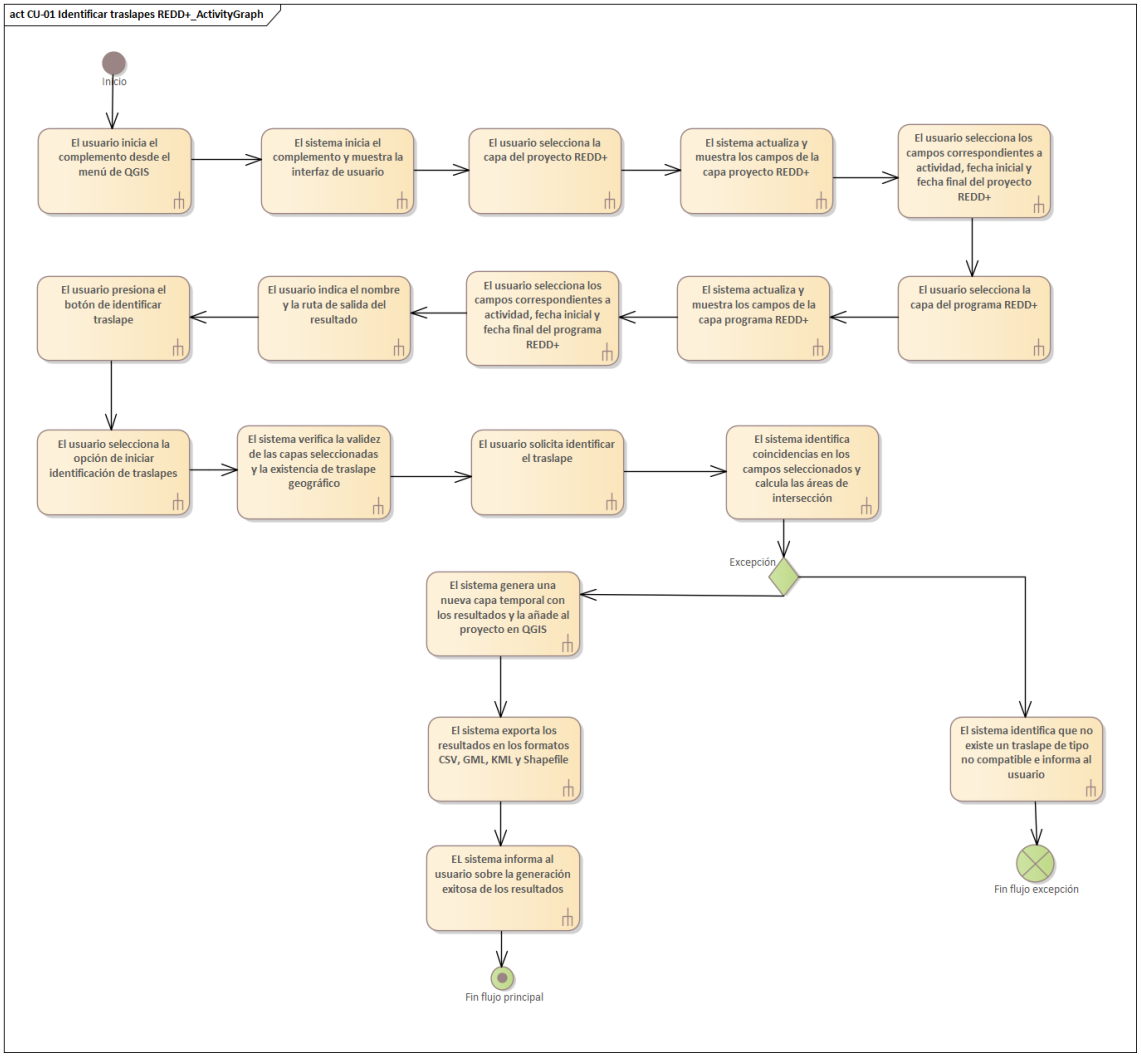
6.2. Fase 2: Diseño

Durante la fase de diseño de la extensión se generaron diferentes diagramas sobre la arquitectura del software, presentando distintos puntos de vista que permitieron orientar la toma de decisiones sobre la organización lógica del software durante la implementación.

6.2.1. Diagrama de actividad

Este diagrama representa las interacciones entre el usuario y el sistema mientras se ejecuta el complemento para identificar traslapes no compatibles entre iniciativas REDD+. Cada actividad muestra claramente cómo el usuario interactúa con la interfaz del complemento, primero selecciona las capas y los campos a comparar, indica una ruta y nombre para los resultados, mientras que el sistema ejecuta cálculos, verifica datos, y realiza operaciones de exportación y notificación. En el diagrama se puede identificar un flujo de excepción que ocurre cuando el sistema determina que no existe un traslape de tipo no compatible, al no presentarse intersección geográfica entre el Proyecto y el Programa, en el caso contrario, el sistema ejecuta el proceso en el flujo principal (ver *Imagen 3*).

Imagen 3. Diagrama de actividad



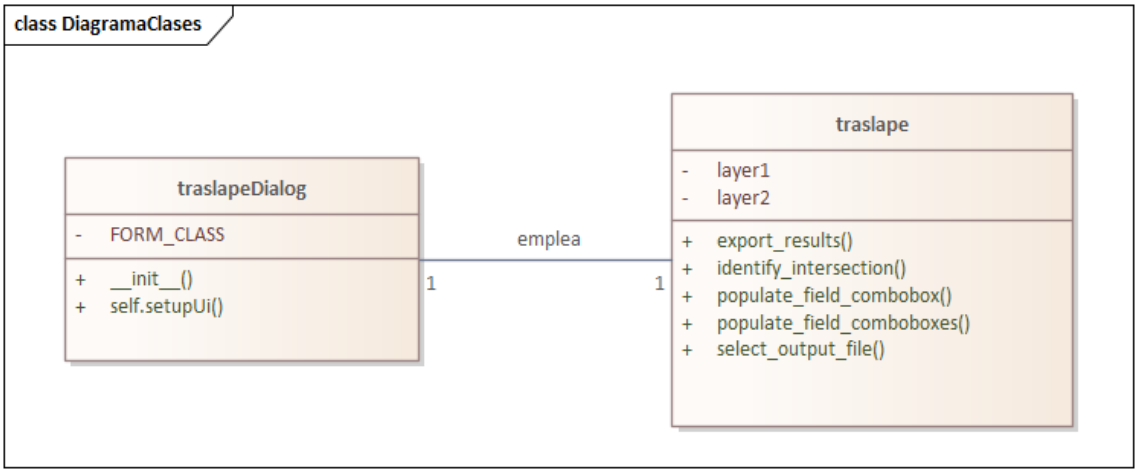
Fuente: elaboración propia.

6.2.2. Diagrama de clases

El diagrama de clases exhibe los objetos que interactúan en el desarrollo del producto generado por el complemento, como lo son: traslape y traslapeDialog, siendo la primera clase la que implementa las funcionalidades. Este diagrama forma parte del modelo estructural y permite modelar los conceptos clave del dominio de la aplicación o reglas de negocio como clases y

relaciones entre clases (Gonzales y Soto, 2023). Para este caso en particular se determinó que existe una relación de asociación entre las clases (ver *Imagen 4*).

Imagen 4. Diagrama clases

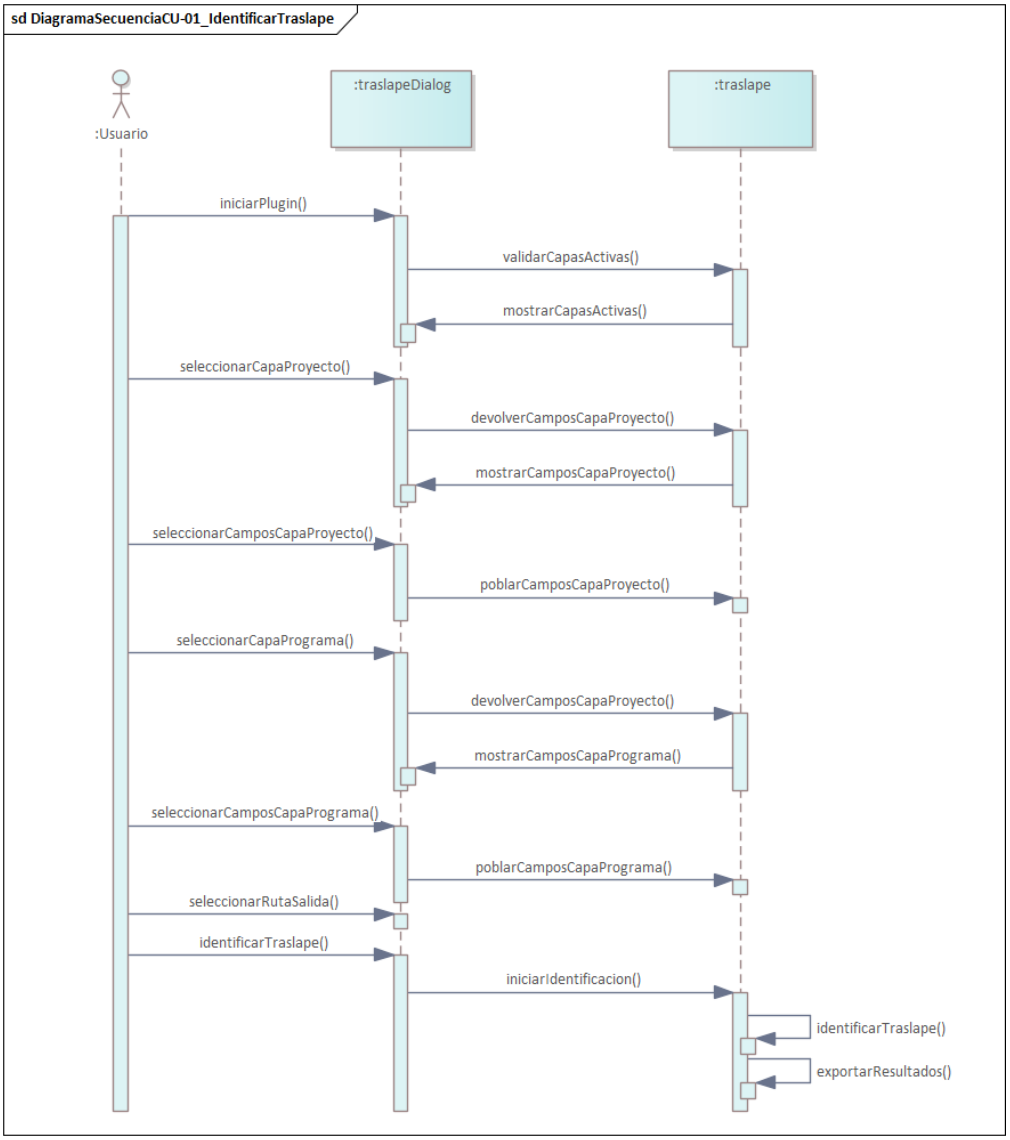


Fuente: elaboración propia.

6.2.3. Diagrama de secuencias

Describe el comportamiento de las clases de objetos definidas y cómo colaboran entre ellas para implementar la funcionalidad requerida en cada caso de uso. Representa peticiones o mensajes entre objetos y la secuencia en que ocurren (Sparks, 2000). En el diagrama se identifica que el usuario inicia la ejecución del complemento desde QGIS, a través de la clase traslapeDialog donde se visualizan las capas seleccionadas por el usuario. La clase traslape recibe las instrucciones necesarias para ejecutar las funcionalidades identificación de intersección desde la clase traslapDialog y exporta los resultados (ver *Imagen 5*).

Imagen 5. Diagrama secuencias

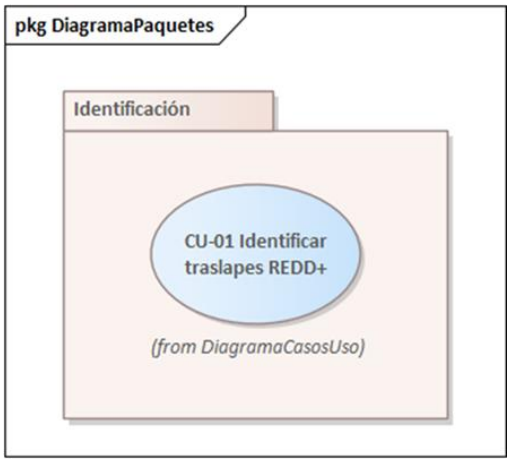


Fuente: elaboración propia.

6.2.4. Diagrama de paquetes

Es un diagrama de tipo arquitectónico que se utiliza para organizar y mostrar la organización de los paquetes y sus relaciones dentro de un sistema de software. En este contexto, el CU-01 Identificar traslapes REDD+ se agrupa en un único paquete llamado Identificación." (ver *Imagen 6*).

Imagen 6. Diagrama de paquetes

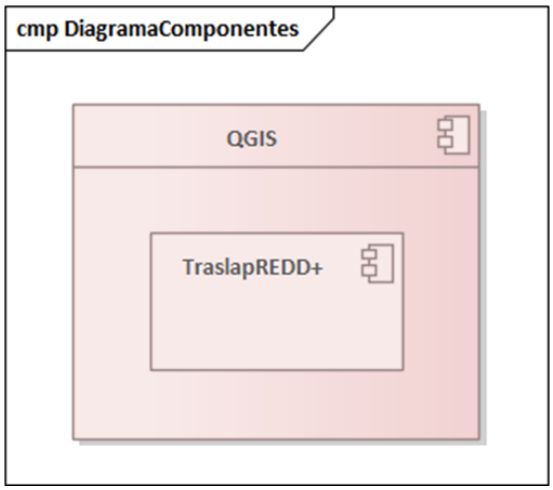


Fuente: elaboración propia.

6.2.5. Diagrama de componentes

Se utiliza para visualizar y organizar los componentes de un sistema de software y las relaciones entre ellos, en este caso se tienen dos componentes que se relacionan uno de ellos es el complemento TraslapREDD+ desarrollado y otro es el software SIG de escritorio QGIS sobre el cual funciona el complemento (ver *Imagen 7*).

Imagen 7. Diagrama de componentes

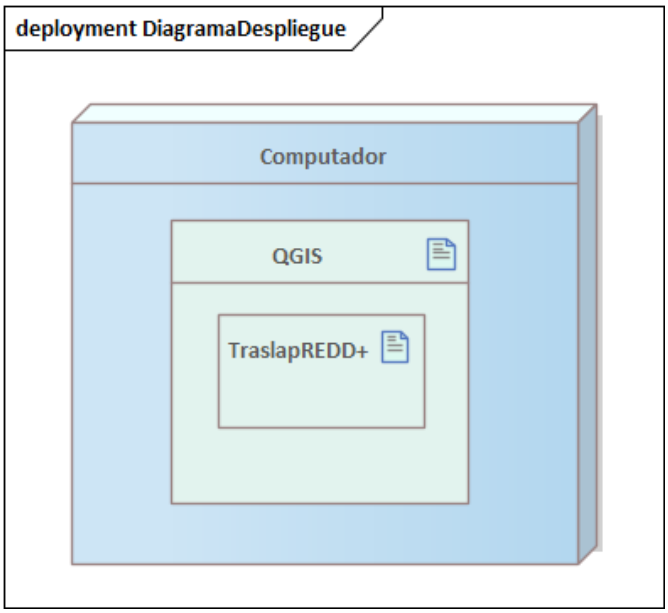


Fuente: elaboración propia.

6.2.6. Diagrama de despliegue

Muestra la configuración física de los componentes de un sistema de software en un entorno de implementación, para el caso de TraslapREDD+ es útil para visualizar cómo se distribuyen y ejecutan los componentes del sistema. En el diagrama se evidencia una arquitectura monolítica de la extensión, dicha arquitectura muestra que todos los componentes operan en un mismo nodo que contiene los siguientes elementos: Inicialmente un nodo, el cual corresponde al computador que a su vez engloba el software SIG de escritorio QGIS sobre el cual se despliega el complemento TraslapREDD+ (ver *Imagen 8*).

Imagen 8. Diagrama de despliegue



Fuente: elaboración propia.

6.3. Fase 3: Implementación

La implementación consistió en transformar el diseño arquitectónico en una realización física, siguiendo los requisitos identificados durante la fase de análisis. Este proceso se llevó a cabo de la

siguiente manera: primero, se creó la interfaz gráfica de usuario (Front-End); luego, se integró la lógica de negocio del complemento (Back-End).

Para el Front-End, se empleó Qt Designer, un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) útil para diseñar interfaces de usuario. Qt Designer permitió prototipar y crear la interfaz de forma visual, utilizando elementos como botones, cuadros de texto, menús desplegables y otros widgets en una ventana. El resultado fue un archivo en formato XML que posteriormente se integró mediante el binding PyQt5 de la biblioteca Qt, que permite el uso API de Qt con el lenguaje de programación Python.

Por otro lado, la lógica de negocio del complemento, que hizo funcional la interfaz gráfica creada previamente, se desarrolló utilizando el binding PyQGIS, que es una librería que proporciona acceso a un conjunto de clases de QGIS mediante Python, permitiendo acceder y manipular objetos espaciales en un software SIG de escritorio, en este caso, QGIS en su versión 3.36.1. Además, durante la codificación del Back-End, se aplicaron las Reglas de Estilo de Python definidas en el Python Enhancement Proposal Nº 8 -PEP 8 (Python Software Foundation, 2001).

También se llevaron a cabo una serie de pruebas exhaustivas para asegurar que tanto el Back-End como el Front-End estuvieran funcionando correctamente y se integraran entre sí sin problemas. El resultado de la implementación se muestra a continuación en la *Imagen 9*, donde se presenta la interfaz gráfica en uso. En la figura se puede observar que la interfaz se divide en cuatro secciones intuitivas para el usuario, las cuales se describen detalladamente a continuación:

1. En la primera sección, el usuario puede seleccionar una capa de la lista desplegable correspondiente al Proyecto REDD+ (1). Luego, puede especificar los campos relacionados

con la actividad REDD+ (1.1), la fecha de inicio de la actividad (1.2) y la fecha de finalización (1.3).

2. En la siguiente sección, el usuario selecciona la capa correspondiente al Programa REDD+ (2). Al igual que con la capa anterior, puede definir los campos relacionados con la actividad REDD+ (2.1), la fecha de inicio (2.2) y la fecha de finalización (2.3).
3. Al presionar el botón en la sección tres (3), el usuario puede indicar el nombre y la ruta de almacenamiento de los resultados, los cuales se mostrarán en el campo de texto en blanco.
4. Finalmente, en la sección cuatro (4), al presionar el botón "Identificar" (4.1), el usuario solicita al complemento la identificación del traslape de tipo no compatible entre el Programa y el proyecto REDD+. TraslapREDD+ ejecuta las instrucciones necesarias y crea los resultados en la ruta indicada previamente por el usuario. Asimismo, al presionar el botón "Salir" (4.2), el complemento se cierra.

Imagen 9. Representación visual de la interfaz gráfica de usuario de TraslapREDD+

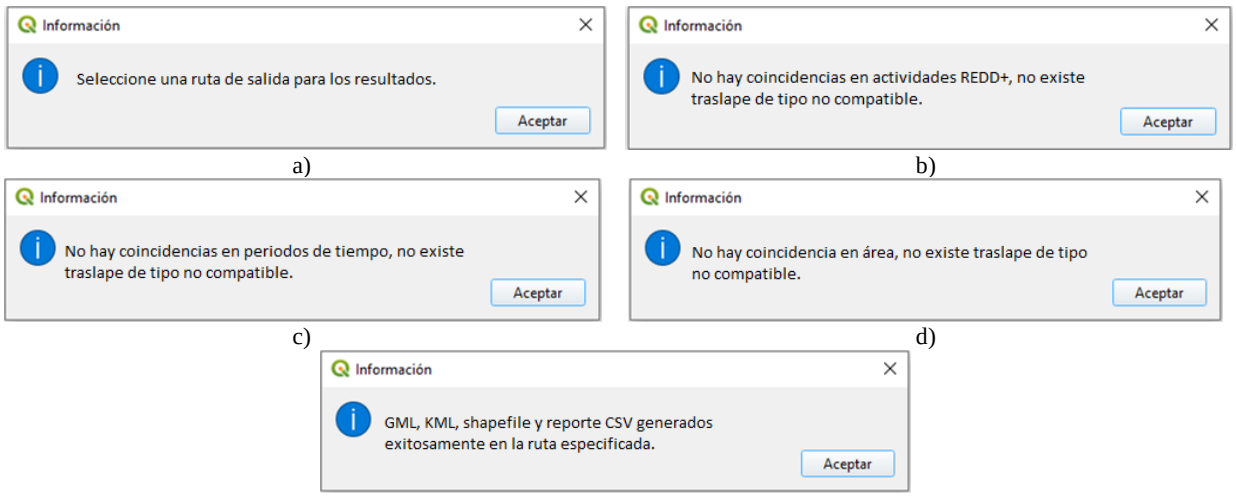


Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente se usaron diálogos modales para proporcionar al usuario una variedad de mensajes críticos de información, como: a) Le indica al usuario que debe seleccionar una ruta para guardar los resultados, b). Le indica al usuario que no existe traslape de tipo no compatible porque no hay coincidencias en actividades REDD+, c). Le indica al usuario que no existe traslape de tipo no compatible porque no hay coincidencias en periodos de tiempo, d). Le indica al usuario que no existe traslape de tipo no compatible porque no hay traslape en área y e). Le indica al usuario que

se generaron los archivos GML, KML, shapefile y el reporte en CSV de manera exitosa (ver *Imagen 10*).

Imagen 10. Diferentes cuadros de diálogo usados en el complemento



Fuente: elaboración propia.

6.4. Fase 4: Evaluación

Durante la fase de evaluación, se recurrió a la norma ISO/IEC 25010, la cual proporciona una guía para evaluar la calidad en uso del producto a través de técnicas y herramientas que permiten el cumplimiento de características que satisfacen las necesidades de uso de los usuarios. Esta norma se centra en los atributos de calidad de uso que debe cumplir un producto, garantizando requisitos como eficacia, eficiencia, satisfacción, ausencia de riesgo y cobertura del contexto (ver *Imagen 11*).

Imagen 11. Atributos de calidad



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los atributos de calidad en uso se seleccionaron tres (3) características, las cuales se consideraron las más relevantes para la evaluación (ver *Tabla 1*).

Tabla 1. Preguntas orientadoras

id	**Característica**	**id**	**Subcaracterística**	**Pregunta orientadora**
1	Eficacia	-	-	¿Considera usted que el complemento cumple el objetivo de identificación de traslapes de tipo no compatible?
2	Eficiencia	-	-	¿Considera usted que el complemento logra el resultado deseado para la identificación de traslapes de tipo no compatible?
3	Satisfacción	3.1	Utilidad	¿Se encuentra usted satisfecho con el logro del objetivo de este complemento?
		3.2	Confianza	¿Considera usted en que el complemento se comporta de acuerdo a su objetivo el cual es la identificación de traslapes de tipo no compatible?
		3.3	Complacencia	¿Se encuentra usted satisfecho con el uso de este complemento?
		3.4	Comodidad	¿Encuentra usted comodidad con el uso de este complemento?

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar si los usuarios pueden utilizar las interfaces de un proyecto digital, en este caso el complemento TraslapREDD+, se tomó la decisión de evaluar la calidad en uso del complemento con la ayuda de cinco (5) profesionales con experiencia en software SIG, basados en la propuesta realizada por Nielsen (2000) de realizar pruebas de usabilidad con tan solo cinco (5) personas, bajo el argumento de que esta cantidad de usuarios permite revelar alrededor del 85% de los problemas de usabilidad del software estudiado (IDA BLOG, 2016), en concordancia con lo expuesto por Nielsen, Spolsky menciona que todos los que se ganan la vida haciendo pruebas de usabilidad parecen pensar que cinco o seis usuarios son suficientes, ya que después de esto se empiezan a ver los mismos resultados una y otra vez (Spolsky, 2001).

Por lo anterior, se creó una tabla de puntuaciones con el fin de que cada profesional asigne según su experiencia con el complemento y en respuesta a cada una de las preguntas orientadoras un criterio a cada característica. La ponderación de estas puntuaciones determinará la calificación para cada uno de los aspectos de calidad de uso seleccionados inicialmente (ver *Tabla 2*).

Tabla 2. Puntuación

Puntuación	Criterio
1	Muy insatisfecho
2	Insatisfecho
3	Aceptable
4	Bueno
5	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en la evaluación de calidad de uso se presentan a continuación (ver *Tabla 3*).

Tabla 3. Resultados evaluación del complemento

Evaluador	Profesión	Eficacia	Eficiencia	Satisfacción
1	Ing. Topográfica	4,7	4,7	4,8
2	Geógrafo	4,0	4,7	4,4
3	Ing. Ambiental	5,0	5,0	4,4
4	Física	4,7	4,3	4,8
5	Ing. Ambiental	4,3	4,7	4,8

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la anterior evaluación se obtiene una muy buena aceptación del complemento entre los profesionales encuestados, hay aspectos a mejorar como la eficacia, ya que según manifiestan los encuestados es necesario conocer de antemano de que tratan las iniciativas de tipo REDD+ y en qué condiciones se considera un traslape de tipo no compatible.

7. CONCLUSIONES

- Se determinaron los requerimientos funcionales y no funcionales que hicieron posible el diseño del complemento con un enfoque basado en la usabilidad, asegurando que el usuario pudiera familiarizarse rápidamente con este y así realizar análisis de traslapes entre proyectos REDD+ sin dificultad. Además, se propendió por el cumplimiento de la resolución 1474 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que especifica la identificación de traslapes no compatibles según áreas geográficas, actividades REDD+ y periodos.

- En la fase de diseño, se adoptó una arquitectura centrada en la relación usuario-complemento. Esto implicó la identificación de los componentes principales del sistema y la definición de interacciones y correspondencias entre los diferentes actores. Esta aproximación proporcionó una visión clara de la estructura del complemento y cómo sus diversas partes trabajan en conjunto para alcanzar los objetivos del proyecto.

- La fase de implementación del complemento TraslapREDD+ fue un proceso meticuloso que transformó el diseño arquitectónico en una realización física funcional. A través de la selección cuidadosa de herramientas, la realización de pruebas exhaustivas y el cumplimiento de estándares de calidad, se logró crear una interfaz intuitiva y estable, integrando de manera efectiva el Front-End y el Back-End. Esta fase no solo garantizó la viabilidad técnica del proyecto, sino que también sentó las bases para un producto final robusto, centrado en el usuario y cumpliendo con los requisitos y expectativas de calidad.

- A partir de los resultados de la evaluación del complemento TraslapREDD+, se evidenció que el complemento fue bien recibido por los profesionales encuestados en términos generales, sin embargo, se identificaron características de mejora, particularmente relacionadas con la funcionalidad, en este sentido se debe ajustar la usabilidad del complemento con base a la retroalimentación obtenida.

8. REFERENCIAS

- Cercarbono – Certified Carbon Standard (4 de diciembre de 2023). *Webinar: Gestión y herramientas para la identificación de traslapes geográficos.* Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=CSQ153eW3hc
- Cercarbono (2 de marzo de 2024). *Herramientas de Cercarbono*. CERCARBONO Certified Carbon Standard. https://www.cercarbono.com/es/
- EcoRegistry (2 de marzo de 2024). *Project registration process*. EcoRegistry. https://www.ecoregistry.io/how-it-works
- Gonzales, P., y Soto, I. (2023). Modelado, arquitectura y comunicación en el desarrollo de sistemas de software: un enfoque práctico [Archivo PDF]. http://ilitia.cua.uam.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/1160/1/Modelado%20arquitectura%20y%20comunicacion%20en%20el%20desarrollo%20de%20sistemas%20de%20software_%20un%20enfoque%20practico-VF.pdf
- International Organization for Standardization. (2011). Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- System and software quality models (ISO/IEC 25010:2011).
- IDA BLOG. (1 de junio de 2016). ¿Cuántos usuarios necesito para un test de usabilidad? https://blog.ida.cl/experiencia-de-usuario/usuarios-necesarios-test-usabilidad/
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2 de marzo de 2024). *¿Qué es REDD+?*. Minambiente. https://www.minambiente.gov.co/mercados-de-carbono/que-es-redd/#:~:text=La%20sigla%20REDD%2B%20(Reducing%20emissions,y%20el%20manejo%20forestal%20sostenible

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *¿Qué es Visión Amazonía?* [Archivo PDF]. https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2018/11/META.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019). Reporte de reducción de emisiones bajo el acuerdo REDD Early Movers (REM). Resultados alcanzados por Colombia en la Reducción de Emisiones por Deforestación en el bioma amazónico para los pagos basados en los resultados de REDD+ bajo REM para el año 2016 [Archivo PDF]. https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2019/12/1.b.-Reporte_REs-REM2016_vFINAL.pdf
- Python Software Foundation. (2001). *PEP 8 -- Style Guide for Python Code*. https://www.python.org/dev/peps/pep-0008/
- Resolución 1447 de 2018 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional de que trata el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015, y se dictan otras disposiciones. 1 de agosto de 2018. [Archivo PDF]. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/15.-Resolucion-1447-de-2018.pdf
- Rodríguez, C., y Vicente, R. D. (2015). ¿Por qué implementar Scrum?. Revista Ontare, 3(1), 125-144. [Archivo PDF]. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8705520.pdf
- Sparks, G. (2000). Una introducción al UML. El Modelo Lógico. [Archivo PDF]. http://www. sparxsystems. com. es/downloads/whitepapers/El_Modelo_Logico. Pdf.
- Spolsky, J (24 de octubre de 2001). User Interface Desing For Programmers. https://www.joelonsoftware.com/2001/10/24/user-interface-design-for-programmers/
- Sutherland, J., y Schwaber, K. (2007). The Scrum Papers: Nuts, Bolts, and Origins of an Agile - - Process [Archivo PDF]. https://www.qagile.pl/wp-content/uploads/2018/11/scrum-papers.pdf

- United Nations Climate Change. (2 de marzo de 2024). *What is REED+?*. Unfccc. https://unfccc.int/es/node/227709