RADAREXOTIC: APLICACIÓN PARA EL REGISTRO Y SEGUIMIENTO DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE MONOGRAFÍA PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

PRESENTADO POR:
CAROLINA MARTÍNEZ
INGENIERA AMBIENTAL

DIRIGIDO POR:
SALOMÓN RAMÍREZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2024

DEDICATORIA

A mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y enseñanzas han sido mi guía constante en este camino académico. Gracias por siempre confiar en mí, por sus sacrificios y por ser mi mayor inspiración. Este logro es tan suyo como mío.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, que me brindó el espacio, el conocimiento y las herramientas necesarias para crecer y desarrollarme como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION 2

2. MARCO DE REFERENCIA 3

2.1 Antecedentes 3

2.2 Marco Conceptual 5

2.3 Marco Geográfico 6

2.4 Marco Legal 7

3. PROBLEMA 10

4. JUSTIFICACIÓN 12

5. OBJETIVOS 14

5.1 Objetivo General 14

5.2 Objetivos Específicos 14

6. METODOLOGÍA 15

6.1 Fase de Análisis 16

6.2 Fase de Diseño 16

6.3 Fase de Desarrollo 17

6.4 Fase de Evaluación 18

7 RESULTADOS 19

8 CONCLUCIONES 34

9 REFERENCIAS 38

1. INTRODUCCION

La presencia de especies exóticas invasoras representa un desafío importante para la biodiversidad en los Parques Nacionales Naturales de Colombia. Estas especies, sin depredadores naturales, alteran los ecosistemas, desplazando a las nativas y generando desequilibrios ecológicos. Aunque existen normativas para abordar este problema, la falta de herramientas tecnológicas eficientes dificulta la recolección de datos y la implementación de estrategias de control. RadarExotic se presenta como una solución mediante una aplicación móvil offline diseñada para registrar y gestionar información de estas especies.

Este software responde a la necesidad de recopilar datos precisos en áreas con conectividad limitada, permitiendo registrar información geoespacial y demográfica sobre especies invasoras. Además de facilitar estrategias de manejo basadas en datos confiables, promueve la participación ciudadana, mejorando la calidad de los registros y creando conciencia sobre la biodiversidad. Con su diseño accesible y funcional, esta herramienta fortalece las acciones de conservación en Colombia, utilizando tecnologías innovadoras para optimizar la gestión ambiental en los PNN.

La metodología utilizada fue de enfoque incremental, lo que permitió ajustar y refinar las funcionalidades del sistema en colaboración con expertos y usuarios finales. Esto garantizó que el sistema fuera efectivo en contextos reales y cumpliera con estándares de calidad establecidos, enfocada en la usabilidad, eficiencia y confiabilidad del software. El documento incluye los antecedentes, planteamiento del problema, objetivos y justificación del proyecto, así como la metodología empleada, los resultados obtenidos y conclusiones que subrayan el impacto positivo de este software en la conservación de la biodiversidad.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes

Las organizaciones conservacionistas, en colaboración con expertos en ingeniería de software, han desarrollado la Herramienta de Monitoreo e Información Espacial, SMART, para recopilar, analizar y evaluar información de prevención, vigilancia y control en sus áreas protegidas (Wildlife Conservation Society, 2015). Este sistema permite a los administradores de los Parques Nacionales Naturales (PNN) registrar datos relacionados con especies exóticas invasoras de manera efectiva y eficiente.

El uso del sistema SMART garantiza que solo los funcionarios autorizados tengan acceso a la herramienta para el registro de datos de especies exóticas. Esto asegura la confidencialidad y la integridad de la información recopilada, permitiendo una gestión efectiva de la biodiversidad en estos espacios protegidos. Además, se ha implementado un sistema de auditoría interno que facilita el seguimiento del manejo de datos y la identificación de cualquier irregularidad en el proceso de recolección y almacenamiento (Wildlife Conservation Society, 2015).

En el contexto de la captura de datos sobre especies exóticas, la aplicación móvil EASIN, desarrollada por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, emerge como una plataforma fundamental. EASIN permite a aficionados y profesionales compartir información relevante sobre especies exóticas invasoras (EEI), un desafío ambiental global de gran alcance. Esta aplicación facilita el registro de observaciones de EEI mediante el uso del sistema GPS y cámaras de teléfonos móviles, proporcionando además información detallada, incluyendo imágenes y descripciones breves de un conjunto selecto de EEI,

contribuyendo así a una mayor concienciación y participación ciudadana (Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, 2015).

Inicialmente, la aplicación ofrece una selección preliminar de EEI prioritarias en Europa, enriquecida con la colaboración del proyecto Life Invasaqua, que ha añadido la descripción de 40 especies invasoras acuáticas de la Península Ibérica. Se anticipa que futuras actualizaciones incorporarán más especies, adaptándose a la evolución de la política europea sobre EEI. Este desarrollo se enmarca en el proyecto MYGEOSS, financiado por el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea, con el objetivo de abordar el desafío de las especies exóticas invasoras mediante tecnología móvil y participación ciudadana, permitiendo un monitoreo más amplio y accesible (Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, 2015).

Otra aplicación relevante en este ámbito es Exóticas Murcia, desarrollada por la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, específicamente por la Dirección General de Medio Natural. Su propósito es permitir a los usuarios registrar plantas y animales exóticos invasores en la región mediterránea, como la cotorra argentina o el ailanto. Esta iniciativa se enmarca en el proyecto LIFE RIPISILVANATURA, con el objetivo de localizar estos especímenes y tomar medidas para evitar su propagación, además de concienciar sobre esta problemática que afecta a la biodiversidad local y regional (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 2018).

Las aplicaciones como Exóticas Murcia, basadas en la ciencia ciudadana, resultan sumamente útiles para involucrar a la comunidad en la conservación de la biodiversidad. Destacan por su sencillez de manejo y funcionalidades útiles, como la programación de

sincronización y la eliminación de imágenes. La combinación de esfuerzos gubernamentales y la participación ciudadana es crucial para enfrentar el creciente problema de las especies invasoras, permitiendo un monitoreo continuo y una acción preventiva más eficaz (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 2018).

2.2 Marco Conceptual

Una invasión biológica ocurre cuando una especie animal es introducida en un ecosistema que difiere de su hábitat natural, ya sea de forma deliberada o accidental. Este ingreso desencadena efectos adversos ambientales y económicos, así como repercusiones en la salud de los seres humanos y otras especies animales (Osorio, 2019). Las especies invasoras son la segunda causa de pérdida de biodiversidad en el planeta, según el ABC de la Biodiversidad del Jardín Botánico José Celestino Mutis (Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2014). La introducción de especies invasoras representa un desafío ambiental debido a su capacidad para alterar los ecosistemas.

Colombia cuenta con más de 300 especies reportadas con potencial de invasión, las cuales causan diferentes estragos porque las especies nativas carecen de estrategias para protegerse de la depredación. Esto ocurre porque, en muchos casos, estas especies han estado aisladas o no han tenido contacto previo con las especies invasoras, lo que ha impedido el desarrollo de adaptaciones evolutivas que les permitan defenderse. Por otro lado, las especies invasoras, al no tener depredadores naturales en el nuevo entorno, se propagan rápidamente, poniendo en riesgo la biodiversidad local. Estas especies pueden encontrarse en todos los grupos taxonómicos, incluyendo microorganismos, plantas, invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (López et al., 2014).

A pesar de que en Colombia se ha documentado la existencia de especies invasoras, es necesario que se aborde el tema de manera más amplia para determinar la dimensión de sus efectos sobre la biodiversidad del país (López et al., 2014). Los autores del libro ABC de la Biodiversidad subrayan la importancia de implementar políticas y estrategias de manejo que permitan mitigar el impacto de estas especies. Además, destacan la necesidad de llevar a cabo investigaciones exhaustivas que permitan evaluar la magnitud del problema y desarrollar soluciones efectivas que protejan los ecosistemas colombianos frente a esta amenaza creciente.

2.3 Marco Geográfico

Colombia, reconocida por su extraordinaria diversidad biológica y cultural, alberga un conjunto significativo de áreas naturales protegidas que reflejan su riqueza ambiental. El Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) gestiona actualmente 59 áreas protegidas, que abarcan 17'537.882,97 hectáreas, representando el 8.47% de la superficie nacional, incluyendo tanto áreas marinas como terrestres. Además de las áreas del SPNN, la entidad Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC) supervisa tres áreas protegidas adicionales bajo la categoría de Distritos Nacionales de Manejo Integrado (DMI), que suman 3'214.077,68 hectáreas.

En conjunto, la extensión total de áreas protegidas administradas por la entidad PNNC asciende a 20'751.960,65 hectáreas, lo que representa el 10.02% de la superficie nacional. Esta cifra engloba tanto las áreas del SPNN como los DMI, consolidando el compromiso de Colombia con la conservación y protección de su patrimonio natural y cultural. Estas áreas protegidas se dividen en distintas categorías, cada una con sus propios objetivos de conservación:

a) Parque Nacional: Área de extensión que permite su autorregulación ecológica y donde los ecosistemas no han sido substancialmente alterados por la explotación u ocupación humana.

b) Reserva Natural: Área con condiciones primitivas de flora, fauna y gea, destinada a la conservación, investigación y estudio de sus riquezas naturales.

c) Área Natural Única: Área que por sus características especiales de flora o gea constituye un escenario natural raro.

d) Santuario de Flora: Espacio dedicado a preservar especies o comunidades vegetales para conservar los recursos genéticos de la flora nacional.

e) Santuario de Fauna: Área destinada a la preservación de especies o comunidades de animales silvestres para conservar los recursos genéticos de la fauna nacional.

f) Vía Parque: Faja de terreno con carretera, que alberga bellezas panorámicas singulares o valores naturales y culturales, conservada con fines educativos y de esparcimiento

2.4 Marco Legal

En Colombia, el marco legal que regula el manejo de especies exóticas invasoras y la protección de la biodiversidad se sustenta en una serie de normas y políticas que buscan prevenir, controlar y mitigar los efectos perjudiciales de estas especies en los ecosistemas nativos. Estas normativas tienen como objetivo proteger la biodiversidad colombiana de la invasión de especies no nativas que, al no tener depredadores naturales en el territorio, pueden causar desequilibrios ecológicos, afectar a las especies autóctonas y alterar la

dinámica de los ecosistemas. La necesidad de salvaguardar los ecosistemas del país impulsa la implementación de regulaciones que permiten una gestión efectiva frente a estos riesgos, garantizando un equilibrio ambiental y la integridad de los recursos naturales a largo plazo.

Dentro de estas normativas, las regulaciones establecen criterios específicos para la importación, transporte y comercialización de especies exóticas, además de disposiciones clave para su manejo y control en el territorio nacional. Asimismo, el marco legal abarca la creación y gestión de áreas protegidas y la implementación de políticas nacionales que promueven una gestión integral de la biodiversidad. Este enfoque integral busca asegurar la conservación de los recursos naturales y mitigar los efectos de las especies invasoras en los hábitats sensibles del país. A continuación, se presentan las principales normativas que conforman este marco legal en Colombia, organizadas para identificar sus enfoques y aplicaciones específicas en la gestión ambiental.

Resolución 0848 del 2002 regula el manejo de especies exóticas en Colombia, estableciendo medidas para prevenir la introducción y dispersión de especies no nativas que representen un riesgo para la biodiversidad y los ecosistemas del país. Define criterios para la importación, exportación, transporte, posesión, comercialización y liberación de estas especies. También establece procedimientos para la evaluación de riesgos y la emisión de permisos para actividades relacionadas con especies exóticas, garantizando un manejo responsable y sostenible.

La Resolución 622 del 15 de abril de 1977 es una normativa clave en Colombia que declara las áreas de Parques Nacionales Naturales del país. Esta resolución, emitida por el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente

(INDERENA), establece la creación y delimitación de áreas protegidas que conforman los Parques Nacionales Naturales en el territorio colombiano. Su objetivo principal es conservar y proteger la biodiversidad, los ecosistemas y los recursos naturales de Colombia, promoviendo su uso sostenible y asegurando s preservación para las generaciones futuras.

La Resolución 0217 de 2010 establece un listado de especies exóticas invasoras, determinando medidas para impedir su introducción y para su control o erradicación en casos donde estas especies amenacen ecosistemas, hábitats o especies nativas. La resolución resalta la necesidad de adoptar estrategias específicas de prevención, control y manejo para las especies invasoras presentes en el territorio nacional. Además, proporciona un listado de estas especies como amenazas potenciales, con el objetivo de guiar las acciones de manejo y conservación en áreas protegidas y otros ecosistemas vulnerables.

CONPES 4050 de 2021: Este documento establece la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE), enfocándose en fortalecer el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). El CONPES 4050 resalta la importancia de consolidar y expandir el SINAP, asegurando la sostenibilidad y efectividad en la conservación de la biodiversidad colombiana. Además, propone estrategias para mejorar la gestión de las áreas protegidas, integrando esfuerzos interinstitucionales y promoviendo la participación de la sociedad en la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

3. PROBLEMA

En Colombia, la gran biodiversidad de flora y fauna está salvaguardada por las zonas protegidas del país, que tienen la responsabilidad de conservar estos valiosos ecosistemas. Sin embargo, esta biodiversidad se encuentra amenazada por la presencia de especies exóticas invasoras. Según el ABC de la Biodiversidad, publicado por el Jardín Botánico José Celestino Mutis (2014), las especies invasoras son la segunda causa de pérdida de biodiversidad en el planeta. La Resolución 0217, complementaria a la Resolución 0848 de 2002, amplía el listado de especies invasoras reconocidas en Colombia.

Aunque se han reportado más de 300 especies con potencial invasor en el país, solo unas pocas están registradas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) como un peligro inminente. Los ecosistemas de las áreas protegidas son especialmente vulnerables a estas invasiones, ya que enfrentan amenazas adicionales como el cambio climático y la fragmentación del hábitat. En este contexto, el Sistema de Parques Nacionales Naturales (PNN) desempeña un papel fundamental en la protección de espacios ecológicos y culturales.

Estas áreas, administradas con el objetivo de garantizar su preservación a largo plazo, enfrentan el desafío de mantener su biodiversidad frente a las especies exóticas invasoras. Estas especies compiten con las nativas por recursos y espacio, lo que puede resultar en el desplazamiento de las especies locales. La invasión de estas especies es particularmente preocupante en áreas protegidas, donde muchas especies nativas son endémicas o están en peligro de extinción.

La capacidad de las especies invasoras para adaptarse rápidamente y dominar nuevos hábitats las convierte en una de las principales amenazas para la biodiversidad, afectando el equilibrio ecológico. Ante esta situación, es crucial implementar un seguimiento eficaz de las especies exóticas invasoras y tomar decisiones basadas en datos precisos. Un software especializado que facilite la recolección de datos y el análisis de patrones de distribución sería una herramienta clave en este proceso.

Este software permitiría la identificación temprana de especies invasoras y la evaluación de sus patrones de propagación, lo que facilitaría la gestión precisa de su ubicación. Con información detallada, los gestores del Sistema PNN podrían implementar estrategias de control más específicas y efectivas. Además, el software permitiría gestionar datos de otras entidades, como las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), así como de ciudadanos, enriqueciendo la base de datos con información experta y local.

La implementación de este software promovería la colaboración entre diferentes entidades y expertos, permitiendo una gestión integrada y coordinada a nivel nacional para abordar de manera efectiva las invasiones biológicas. Esta cooperación mejoraría la respuesta ante las especies invasoras y fortalecería las capacidades de manejo de la biodiversidad en el país. Un enfoque integral y tecnológico es esencial para proteger la riqueza natural de Colombia para las generaciones futuras.

4. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de RadarExotic para dispositivos móviles permitirá la captura de datos en campo, accesible a científicos, profesionales ambientales, funcionarios de entidades del sector ambiental, y personal de Parques Nacionales Naturales de Colombia. Esta herramienta contribuirá a la gestión adecuada de los esfuerzos para combatir las invasiones biológicas en el Sistema de PNN, lo que a su vez fomentará la conservación a largo plazo de la biodiversidad colombiana, reconocida mundialmente por su riqueza biológica y la presencia de ecosistemas que albergan especies endémicas.

Entre las múltiples ventajas que traerá consigo la implementación de esta aplicación se destaca la capacidad de proporcionar una respuesta eficaz a la necesidad de recopilar y analizar datos confiables y precisos. La localización, junto con el registro de nombre, fecha, coordenadas y fotografías, permitirá organizar una base de datos geográfica robusta, que facilite la consulta rápida y precisa de información, optimizando así los procesos de obtención, almacenamiento y disposición de datos.

Garantizar el acceso a información geográfica actualizada es crucial para la conservación del medio ambiente y la biodiversidad. En este contexto, la aplicación contribuye a una planificación estratégica orientada al control de las invasiones biológicas, ya que estas especies exóticas pueden desplazar a las nativas, alterar los ecosistemas y generar desequilibrios ambientales. Además, permitirá a las autoridades ambientales tomar decisiones informadas, basadas en análisis estadísticos precisos y oportunos, reflejados en resultados fiables.

Otro de los beneficios significativos de la implementación de esta aplicación es la optimización de recursos en términos de tiempo y personal. La recolección de datos será colaborativa, permitiendo el ingreso simultáneo de usuarios desde diferentes ubicaciones sin comprometer el rendimiento. Esto facilitará la creación de una base de datos robusta sobre las especies exóticas invasoras en los Parques Nacionales Naturales en un tiempo reducido. Asimismo, el tiempo necesario para el análisis de información se acortará, gracias a la centralización de los datos y la capacidad de realizar consultas rápidas y seguras a nivel local, regional y nacional.

El desarrollo e implementación de esta aplicación móvil se presenta como una solución innovadora ante los desafíos actuales de los ecosistemas, como la pérdida de biodiversidad y la amenaza de extinción de especies clave en el equilibrio ecológico. Esta herramienta integral no solo promueve una recolección eficiente de datos, sino que también facilita el acceso a la información y ofrece una gestión óptima y sencilla de la misma. Su principal ventaja reside en la capacidad para recopilar datos sin necesidad de conexión a internet, una característica especialmente valiosa en áreas con limitaciones de conectividad.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Implementar RadarExotic, una aplicación offline, altamente intuitiva y funcional, para facilitar el registro, gestión y seguimiento de datos geográficos sobre las especies exóticas invasoras en Parques Nacionales de Colombia. El propósito es mejorar el seguimiento, aumentar la cantidad de registros y apoyar la implementación de medidas de control para la proliferación de estas especies en las áreas naturales.

5.2 Objetivos Específicos

- Identificar los requisitos funcionales y no funcionales para una aplicación offline de registro y seguimiento que incluye la identificación de funciones clave y garantizar la colaboración efectiva entre usuarios.
- la arquitectura de software de la aplicación, definiendo la estructura del sistema, los componentes principales y su interacción, para garantizar un desarrollo eficiente, escalable y mantenible que cumpla con los requisitos funcionales y no funcionales establecidos.
- Construir un software eficiente y modular, asegurando la correcta implementación de las funciones necesarias para el registro, gestión y seguimiento de datos geográficos sobre especies exóticas invasoras en Parques Nacionales de Colombia.
- Evaluar la usabilidad de la aplicación mediante pruebas de usuario, centrándose en laeficiencia de la navegación, la claridad de la interfaz y la facilidad de uso en el registro, gestión y seguimiento de datos geográficos, asegurando que la aplicación sea intuitiva y efectiva para los usuarios.

6. METODOLOGÍA

En la metodología incremental seleccionada para el desarrollo de la aplicación RadarExotic, orientada al registro de especies exóticas en Parques Nacionales, se adoptó un enfoque ágil caracterizado por su naturaleza iterativa y adaptable. Esta metodología fue elegida teniendo en cuenta el tiempo de desarrollo, limitado a seis meses, lo cual exigió una planificación eficiente y un avance continuo en fases controladas. Al dividir el proyecto en incrementos, cada funcionalidad fue diseñada y probada en etapas, utilizando KoboToolbox para estructurar formularios dinámicos y accesibles. Este enfoque permitió cumplir con los plazos establecidos y reducir riesgos de retrasos al abordar problemas en fases tempranas del desarrollo.

La metodología también favoreció la reutilización de componentes y la configuración de formularios personalizados mediante la plataforma KoboToolbox, diseñada para la recolección de datos geoespaciales en campo. La capacidad de esta plataforma para almacenar información en dispositivos móviles y operar en modo offline resultó crucial para entornos con conectividad limitada o inexistente. Además, esta funcionalidad garantizó que los datos capturados en áreas remotas pudieran sincronizarse de manera segura al restablecer la conexión a Internet. Estas características hicieron que el formulario desarrollado fuera altamente confiable y eficiente para la recolección de información en campo.

La flexibilidad ofrecida por la metodología incremental fue fundamental para adaptarse a cambios de requisitos y responder a la retroalimentación de los usuarios en cada fase del proyecto. En una aplicación como RadarExotic, esta capacidad permitió cumplir con las necesidades prácticas en entornos reales y optimizar los procesos de captura y registro de datos. La Imagen 1 muestra el diagrama de la metodología implementada, destacando las

fases iterativas que aseguraron un desarrollo eficiente y la incorporación de mejoras continuas. Este enfoque no solo abordó los desafíos técnicos con eficacia, sino también sentó una base sólida para futuras expansione

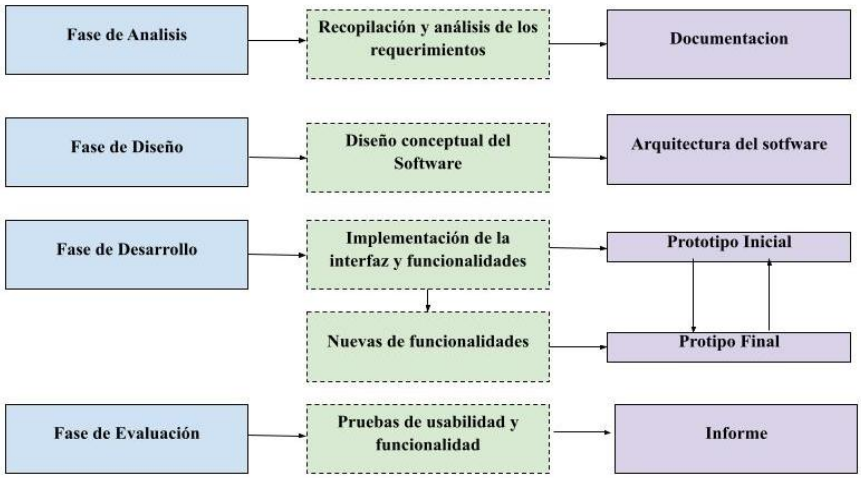


Imagen 1: Diagrama de Metodología Incremental para el Desarrollo de la App
Fuente: Elaboración propia, 2024.

6.1 Fase de Análisis

Se identificaron y comprendieron los requisitos iniciales de la aplicación. Este análisis detallado sirvió como punto de partida para el desarrollo, guiando la creación del primer componente esencial: el formulario de registro. Esta fase inicial permitió establecer las bases del sistema, asegurando que la aplicación satisficiera las necesidades fundamentales. A partir de allí, se desarrollaron y validaron los requisitos en iteraciones sucesivas, permitiendo ajustes y mejoras continuas en función del feedback recibido. La fase de análisis también facilitó la planificación de recursos, contribuyendo a una ejecución más eficiente en las etapas posteriores del desarrollo.

6.2 Fase de Diseño

Se planificó la arquitectura general de la aplicación, poniendo especial énfasis en la interfaz de usuario y la experiencia. En esta etapa se estableció el diseño inicial del

formulario, el catálogo y el visor geográfico, proyectando cómo interactuarían los usuarios con la aplicación. Se elaboraron prototipos para visualizar la disposición y funcionalidad de los componentes, lo que permitió realizar ajustes antes del desarrollo. Además, se definieron las interacciones y flujos de trabajo, asegurando que la navegación fuera intuitiva y eficiente. Esta fase fue crucial para alinear las expectativas del usuario con las capacidades técnicas.

6.3 Fase de Desarrollo

Siguiendo la metodología establecida, esta fase se enfocó exclusivamente en el desarrollo del formulario de registro, aplicando un enfoque iterativo y adaptable. En cada ciclo de desarrollo, se definieron objetivos claros que incluyeron el diseño de preguntas, la configuración de la lógica de salto y la validación de datos. Cada iteración permitió evaluar el avance, identificar posibles ajustes y realizar mejoras en función de las necesidades detectadas. Este enfoque aseguró que se abordaran los elementos más críticos del formulario en las etapas iniciales, dejando los detalles finales para fases posteriores.

La metodología también garantizó la integración progresiva de funcionalidade/s, priorizando aquellas esenciales para capturar información en campo, como fechas, coordenadas y registros fotográficos. El proceso de desarrollo incluyó pruebas frecuentes en condiciones simuladas para evaluar la funcionalidad offline, la sincronización automática y la experiencia del usuario. Este enfoque no solo facilitó la detección temprana de problemas, sino que permitió mantener un control constante sobre la calidad del formulario, asegurando que se ajustara a los estándares definidos al inicio del proyecto.

6.4 Fase de Evaluación

En la fase de evaluación, se aplicaron pruebas específicas para garantizar que el formulario cumpliera con los estándares de calidad definidos por la ISO 9126-3, enfocándose en usabilidad, confiabilidad y eficiencia. Se solicitó que cada uno de los 30 dispositivos Android registrara al menos 10 datos, ya que este número proporcionaba una muestra representativa suficiente para simular escenarios reales con entradas consecutivas. Esta cantidad permitió validar la funcionalidad offline en condiciones controladas, asegurando que la información se almacenara localmente y se sincronizara de manera segura al restablecer la conexión. Además, se midió la claridad de las preguntas y la eficiencia del tiempo de ingreso, garantizando que el sistema cumpliera con las demandas operativas habituales sin comprometer la estabilidad ni la precisión de los registros.

Durante esta fase, también se realizaron evaluaciones para validar la claridad de la interfaz y la facilidad de uso del formulario, teniendo en cuenta que este sería utilizado tanto por personal técnico como por miembros de la comunidad general. Se diseñaron pruebas para medir la intuitividad del sistema y la eficacia en la captura de datos, buscando sensibilizar a los usuarios y fomentar su participación en el reporte de información. La fase de evaluación se estructuró en iteraciones que incluyeron la retroalimentación constante de los evaluadores, lo que permitió identificar posibles ajustes antes de la implementación final, asegurando así que el formulario estuviera preparado para los desafíos de su uso en campo.

7 RESULTADOS

Los resultados obtenidos abarcan una exploración integral de las fases de análisis, diseño, desarrollo y evaluación de RadarExotic, evidenciando cómo cada etapa contribuyó a la creación de una herramienta funcional y efectiva para el seguimiento de especies exóticas invasoras. Desde la identificación de requisitos y la estructuración del formulario, hasta la prueba en campo y la retroalimentación de los usuarios, cada fase permitió garantizar la utilidad, eficiencia y adaptabilidad de la solución. Este enfoque secuencial asegura que los elementos clave del sistema respondan a las necesidades operativas y a los retos específicos de los Parques Nacionales de Colombia.

7.1 Fase de Análisis

Los resultados del análisis detallado de los requisitos funcionales y no funcionales para la aplicación offline de registro y seguimiento de especies exóticas en Parques Nacionales de Colombia revelan una serie de necesidades. En cuanto a los requisitos funcionales, se destaca la necesidad de que la aplicación permita a los usuarios registrar información detallada de especies exóticas invasoras, incluyendo nombre, fecha, coordenadas geográficas y fotografías. Además, debe facilitar la consulta de información relevante sobre las especies exóticas mediante diferentes criterios de búsqueda y ofrecer mapas interactivos que muestran la distribución de especies exóticas en los Parques Nacionales.

También es esencial que la aplicación permita la participación ciudadana en la recopilación de datos y tenga la capacidad de funcionar sin conexión a Internet, sincronizando los datos automáticamente cuando la conexión esté disponible.

En cuanto a los requisitos no funciónales, se subraya la necesidad de que la aplicación sea completamente funcional sin conexión a Internet y cuente con un mecanismo robusto para almacenar localmente los datos registrados por los usuarios mientras están offline. Además, se requiere una funcionalidad de sincronización que permita a los usuarios enviar los datos almacenados localmente a la base de datos central una vez que recuperen la conexión a Internet. Es esencial que la aplicación optimice el uso de los recursos del dispositivo para garantizar un rendimiento eficiente incluso en modo offline, minimizando el uso de datos y la actividad en segundo plano. Estos requisitos aseguran la funcionalidad, seguridad y eficiencia de la aplicación en el registro y seguimiento de especies exóticas invasoras en los Parques Nacionales de Colombia.

El diagrama de casos de uso muestra cómo estas funcionalidades se implementan, destacando casos clave como el registro de especies, la consulta de información, la sincronización de datos y la participación ciudadana. Estos elementos permiten a los usuarios interactuar fácilmente con la aplicación para ingresar y revisar datos, cumpliendo con los estándares de calidad y facilitando el trabajo de los gestores ambientales. Además, promueve una mayor transparencia en la gestión de datos al proporcionar una interfaz intuitiva y accesible para todos los usuarios. Esto asegura que los procesos de recolección y análisis de información sean más eficientes, contribuyendo a la toma de decisiones fundamentadas.

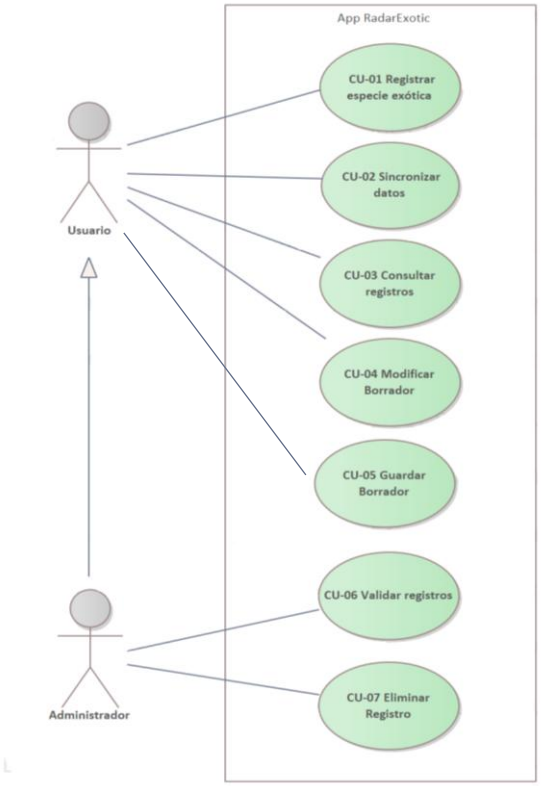


Imagen 2. Diagrama de Casos de Uso para RadarExotic
Fuente: Elaboración propia, 2024.

7.2 Fase de Diseño

El resultado del proceso de recopilación de datos para el registro de especies exóticas en Parques Nacionales de Colombia evidenció la efectividad de un enfoque colaborativo con profesionales expertos. A través de este proceso, se estructuró un formulario con campos clave como el nombre de la especie, la fecha de observación, las coordenadas geográficas y la inclusión de fotografías, logrando capturar información precisa y relevante. Este diseño permitió asegurar la utilidad de los datos para el seguimiento y análisis posteriores. En este sentido, la Tabla 1, un extracto del archivo Excel generado, presenta las preguntas y campos definidos para la aplicación, demostrando la coherencia y estandarización logradas en el registro de información.

Tabla 1: Preguntas y campos definidos para la recopilación de datos.

Variables	Tipo Variable	Opciones
Coordenada Este (x)	Formato	Número (00° 00' 00,00")
Coordenada Norte (y)	Formato	Número (00° 00' 00,00")
Fecha	Formato	DD/MM/AAAA
Hora	Formato	HH:MM
Tipo de especie	Valor a elegir	Exótica; Invasora
Nombre científico/común (Invasora)	Valor a elegir	Helix aspersa-Caracol de Tierra; Electroma sp.-Mejillón; Paratrechina fulva-Hormiga loca; Achatina fulica-Caracol Africano; Charybdis halleri-Jaiba azul; Callinectes exasperatus-Jaiba; Penaeus Monodon-Camarón de Asia; Procambarus clarkii-Cangrejo Rojo;
Nombre científico/común (Exótica)	Valor a elegir	Trichogaster pectoralis-Piel de culebra; Acanthaster planci-Estrella de mar; Caquetaia kraussii-Mojarra amarilla; Carijoa riisei-Coral copo de nieve; Corbicula fluminea-Almeja asiática; Omobranchus punctatus-Blenio; Quiscalus mexicanus-María Mulata; Rachycentron canadum-Pejepalo; Tubastraea coccinea-Coral copa naranja; Canis lupus familiaris-Perro
Área afectada	Formato	Número (Hectáreas)
Número de individuos	Formato	Número (1, 2, 3, …)
Acciones de control aplicadas	Valor a elegir	Sí, No
Tipo de acción de control	Formato	Texto libre (Incluir acciones de control ejecutadas)
Uso por comunidades	Valor a elegir	Sí, No
Tipo uso por comunidades	Formato	Texto libre (Incluir si comunidades locales hacen algún uso de la especie)
Observaciones	Formato	Texto libre (Incluir datos de interés, focos, asocio con otras especies)
Adjuntos	Fotografía	Fotografía (jpg)

Fuente: Parques Nacionales de Colombia, 2024.

El diagrama de actividad desarrollado permitió representar el flujo completo de las operaciones dentro de KoboToolbox, destacando cómo los usuarios interactúan con el

sistema desde la captura de datos hasta su procesamiento y validación. Se identificaron pasos clave, como la recolección de información en dispositivos móviles, su validación en tiempo real y el envío a los servicios backend. Este análisis evidenció cómo se optimizan los procesos para garantizar la calidad de los datos y su disponibilidad para análisis posteriores. En este esquema se visualizan claramente las interacciones entre las actividades principales y los componentes del sistema. La Imagen 3 mostrará este diagrama con mayor detalle**.**

En la Imagen 3, se presenta el caso de uso Registrar Especie Exótica, considerado el más representativo del sistema debido a que ejemplifica la funcionalidad principal del formulario RadarExotic. Este caso refleja cómo los usuarios utilizan la app para capturar información relevante sobre especies exóticas, siguiendo pasos como acceder al formulario, registrar datos como la especie, ubicación geográfica y características o, y finalmente sincronizar la información al estar en línea. Aunque en este documento solo se muestra este diagrama, cada caso de uso debería contar con su propio modelo, ya que cada uno representa flujos de procesos específicos dentro del sistema.

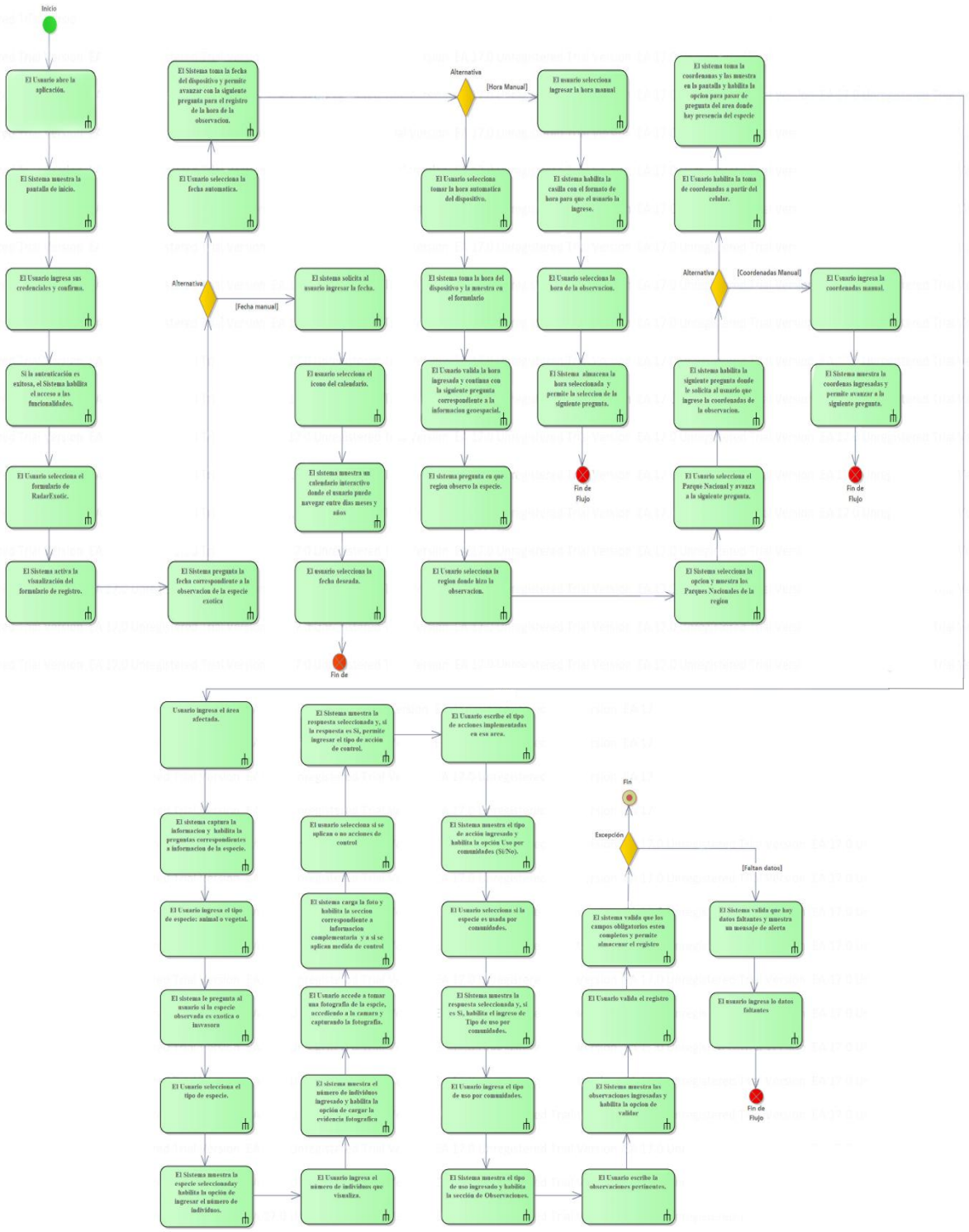


Imagen 3: Diagrama de Actividad para el CU:01 Registrar Especie.
Fuente: Elaboración propia, 2024.

El siguiente paso en el análisis fue elaborar el diagrama de componentes, donde se estructuraron los módulos clave que conforman el sistema, como KoBoCAT, Enketo Express y el Frontend de KoBoToolbox. Este diagrama destacó la interdependencia de estos módulos y su papel en garantizar un flujo de datos eficiente. Lo más relevante es cómo KoBoCAT gestiona las operaciones centrales de almacenamiento y validación, mientras que Enketo Express habilita la creación y visualización de formularios dinámicos. Asimismo, se subrayó la importancia del Frontend como puente de interacción para los usuarios. Esta estructura se refleja en la Imagen 4.

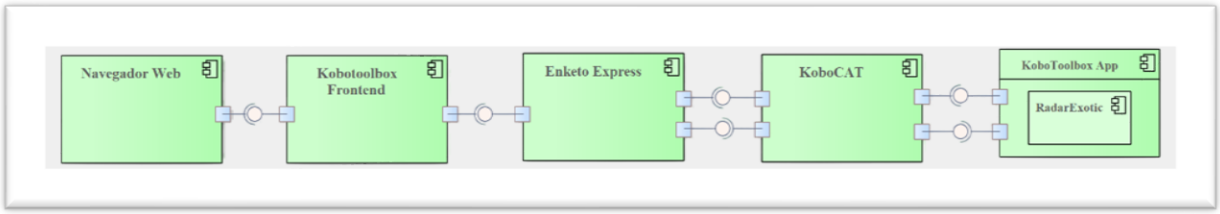


Imagen 4: Diagrama de componentes para RadarExotic
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Finalmente, el diagrama de despliegue permitió comprender la distribución de los componentes en los entornos físico y lógico, destacando cómo interactúan para garantizar el funcionamiento del sistema. Se evidenció que los servicios de backend, como KoboCAT y Enketo Express, se despliegan en un entorno Windows, donde se almacenan y procesan los datos capturados. Por otro lado, la aplicación móvil KoBoCollectApp, que incluye el formulario RadarExptic para el registro de especies exóticas, opera en dispositivos Android. Este formulario es accesible desde la interfaz frontend, donde los usuarios ingresan información que luego es enviada al backend para su análisis. Además, se subrayó la importancia de la conexión a Internet para sincronizar los datos capturados en campo. La Imagen 5 ilustra con precisión esta distribución y su relevancia operativa.

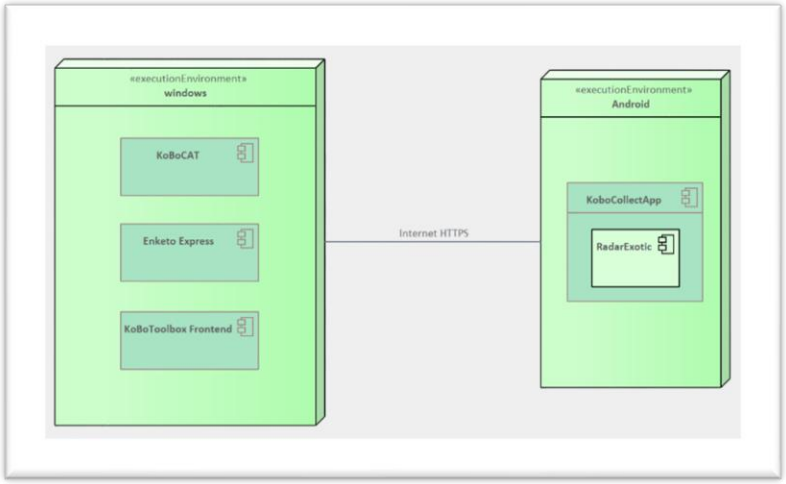


Imagen 5: Diagrama de componetes para RadarExotic
Fuente: Elaboración propia, 2024.

La implementación del modelo entidad-relación en una base de datos robusta fue un paso clave en el desarrollo de la aplicación. Se utilizó PostgreSQL para estructurar tablas que reflejaran las relaciones entre las entidades principales: especie, registro, ubicación, área afectada, acciones de control y fotografías. Cada tabla fue diseñada con tipos de datos específicos, claves primarias y foráneas que aseguraran la integridad referencial, y validaciones para garantizar la consistencia de la información. La Imagen 6 muestra el modelo entidad-relación, evidenciando cómo cada campo, como coordenadas, fechas, observaciones y fotografías, fue mapeado para permitir un almacenamiento eficiente y consultas optimizadas. Esta estructura no solo soporta la funcionalidad offline, almacenando datos localmente, sino que también facilita la sincronización segura con la base de datos central, garantizando la accesibilidad y confiabilidad de la información recopilada.

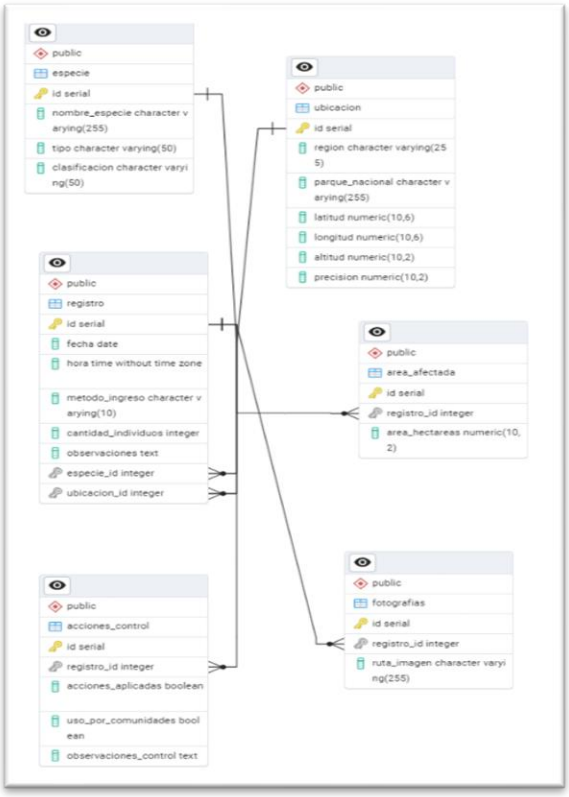


Imagen 6: Modelo entidad relación para el formulario de RadarExotic
Fuente: Elaboración propia, 2024.

7.3 Fase de Desarrollo

El desarrollo de RadarExotic se enfocó en estructurar un formulario de captura de datos mediante la plataforma KoboToolbox para facilitar la gestión de información geoespacial sobre especies exóticas invasoras. En la página de diseño de KoboToolbox, se generaron las preguntas y opciones de respuesta necesarias para capturar datos relevantes, como coordenadas, tipo de especie, número de individuos y observaciones adicionales. La interfaz de la plataforma permite organizar las preguntas de manera intuitiva, lo que asegura una estructura clara y fácil de seguir en el formulario final. En la Imagen 7 se muestra cómo se ve esta interfaz en KoboToolbox, en la cual se diseñan y configuran las preguntas que componen el formulario de captura de datos.



Imagen 7. Interfaz de diseño de formulario en KoboToolbox para RadarExotic
Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la fase de desarrollo, fue crucial utilizar la vista previa de KoboToolbox para verificar que el formulario cumpliera con los requisitos y fuera funcionalmente adecuado para el entorno de campo. Esta vista previa permitió probar la disposición de las preguntas, el funcionamiento de la lógica de salto y la visualización general del formulario antes de implementarlo en la aplicación móvil. Al utilizar esta herramienta, se optimizó la experiencia del usuario, asegurando que cada paso en el proceso de recolección de datos fuera fluido y que los campos se desplegaran correctamente en diferentes dispositivos. La Imagen 8 muestra esta vista previa en la plataforma, donde se observa cómo los usuarios navegarán a través de las preguntas en la interfaz final.

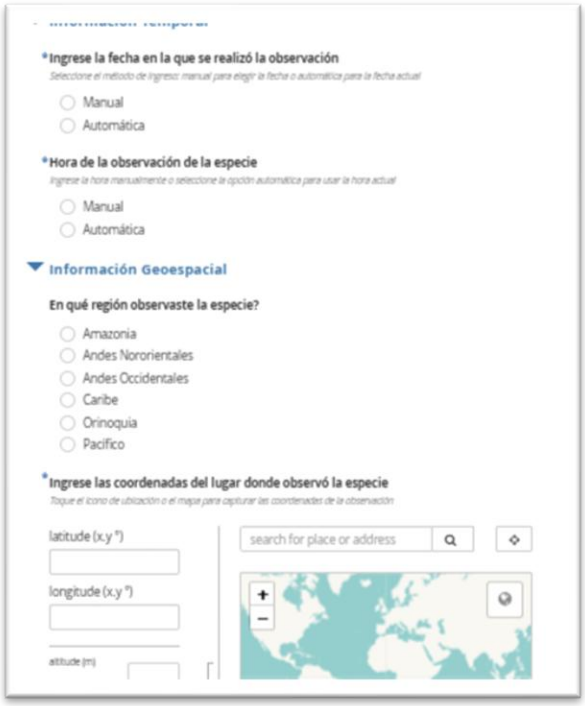
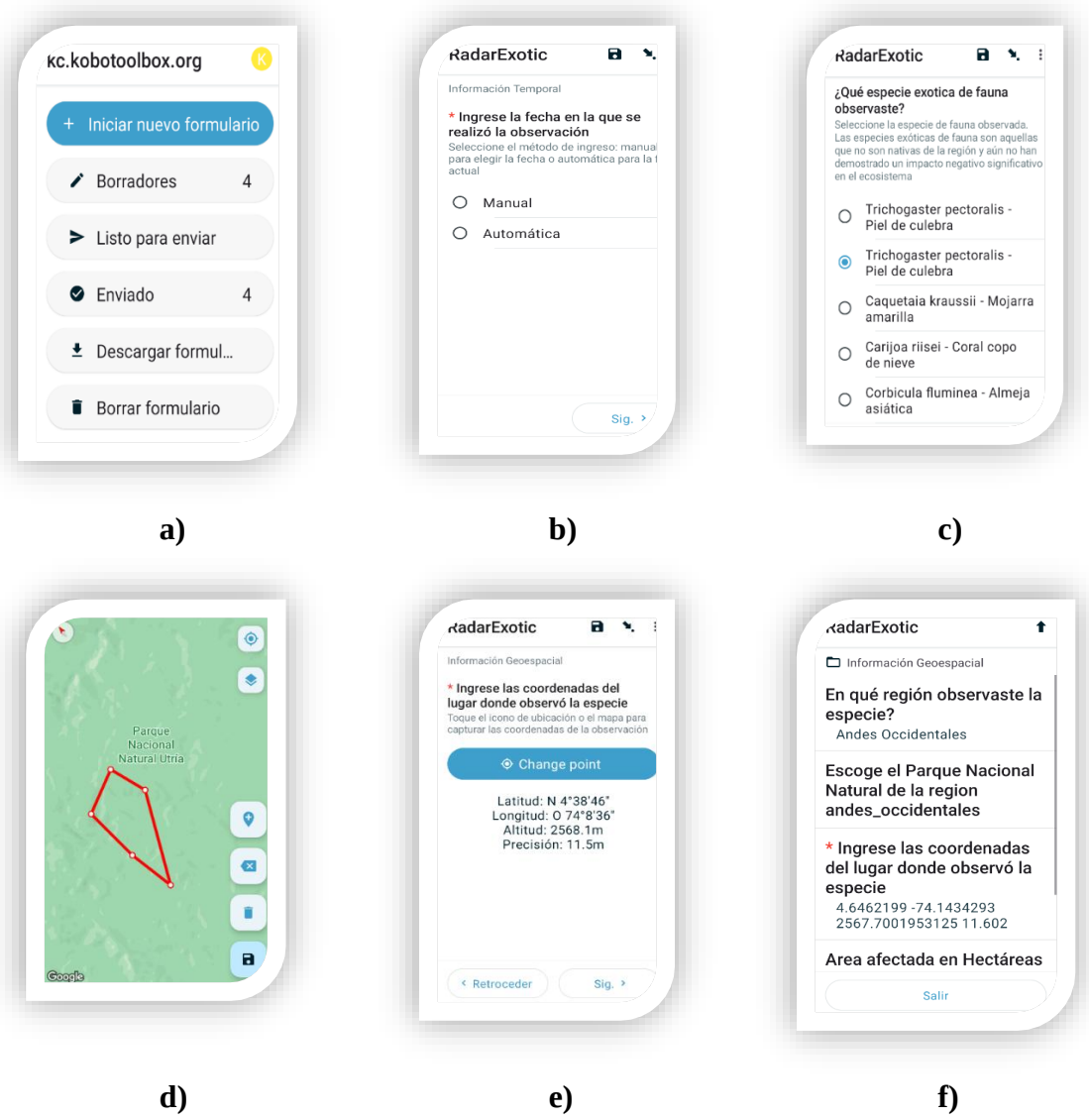


Imagen 8. Interfaz de diseño de formulario en KoboToolbox para RadarExotic
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Una vez completado el diseño y configuraciones necesarias en KoboToolbox, el formulario fue desplegado en la aplicación móvil, permitiendo que los usuarios ingresen datos en tiempo real, incluso sin conexión a Internet. La funcionalidad offline asegura que los datos puedan capturarse en ubicaciones remotas, y la sincronización automática se activa cuando el dispositivo recupera la conexión. Esta capacidad es esencial para trabajos en campo en Parques Nacionales de Colombia, donde la conectividad es limitada. En la Imagen 9 se observa cómo se ve el formulario en la aplicación móvil, evidenciando su diseño intuitivo y orientado al usuario, optimizado para una recolección de datos efectiva y precisa en entornos de campo.



a) **b)** **c)**

d) **e)** **f)**

Imagen 9. Vistas del Formulario de RadarExotic en la Aplicación Móvil
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Descripción:

a) Interfaz de Inicio.

b) Ingreso de la Fecha de Observación.

c) Registro de Especie Exótica o Invasora.

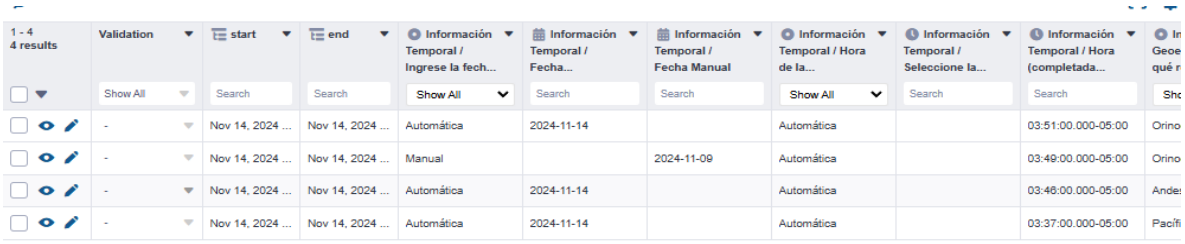
d) Ingreso de Datos del Área Afectada.

e) Captura de Coordenadas.

f) Vista Previa del Formulario.

7.4 Fase de Evaluación

En la fase de evaluación, se analizaron los datos capturados por el formulario implementado en RadarExotic utilizando la plataforma web para revisar la información ingresada. Los resultados demostraron que el formulario cumplió con los estándares de usabilidad y funcionalidad establecidos, facilitando la captura y gestión de datos en diferentes dispositivos. La evaluación incluyó la participación de 30 usuarios, cada uno utilizando diferentes dispositivos móviles con sistema operativo Android, y registrando al menos 10 datos por dispositivo. Esto permitió evaluar cómo el formulario se adaptaba a diversos entornos y perfiles de usuarios, reflejando su versatilidad y eficiencia. En la Imagen 8 se muestra la interfaz web utilizada para visualizar los datos cargados durante las pruebas, destacando la estructura clara y el formato adecuado de la información recolectada



1 - 4 4 results	Validation	start	end	Información Temporal / Ingrese la fech...	Información Temporal / Fecha...	Información Temporal / Fecha Manual	Información Temporal / Hora de la...	Información Temporal / Seleccione la...	Información Temporal / Hora (completada...	In Geoe qué r
	Show All	Search	Search	Show All	Search	Search	Show All	Search	Search	Sho
	-	Nov 14, 2024 ...	Nov 14, 2024 ...	Automática	2024-11-14		Automática		03:51:00.000-05:00	Orino
	-	Nov 14, 2024 ...	Nov 14, 2024 ...	Manual		2024-11-09	Automática		03:49:00.000-05:00	Orino
	-	Nov 14, 2024 ...	Nov 14, 2024 ...	Automática	2024-11-14		Automática		03:46:00.000-05:00	Ande
	-	Nov 14, 2024 ...	Nov 14, 2024 ...	Automática	2024-11-14		Automática		03:37:00.000-05:00	Pacífi

Imagen 10. Interfaz del formulario de captura de datos en la aplicación RadarExotic
Fuente: Elaboración propia, 2024.

El análisis del formulario reflejó que fue efectivo para registrar información detallada, como coordenadas, especies y observaciones adicionales. Se evaluaron atributos de calidad siguiendo los parámetros de la norma ISO 9126-3, incluyendo usabilidad, eficiencia, fiabilidad y funcionalidad. A los participantes, conformados por personal de Parques

Nacionales y ciudadanos, se les preguntó sobre la facilidad de uso, la claridad de las preguntas y la adecuación del formulario a sus necesidades operativas. Las puntuaciones otorgadas por los expertos fueron consistentemente altas, destacando especialmente la coherencia en la secuencia de preguntas y la facilidad para completar el formulario. Por otro lado, los ciudadanos sin experiencia reportaron dificultades para identificar especies, lo que subraya la necesidad de incorporar materiales visuales de apoyo en futuras iteraciones.

Los resultados mostraron que la herramienta se ajusta a las necesidades del personal operativo, facilitando la alimentación de sus bases de datos y mejorando la precisión en la recolección de información. Además, el formulario obtuvo una puntuación promedio de 4.7 sobre 5 en atributos como facilidad de uso y claridad de las instrucciones, lo que evidencia su utilidad en operaciones de campo. A los participantes se les consultó sobre la efectividad para registrar datos biológicos y geográficos, así como sobre la adecuación de las categorías predefinidas, destacando la importancia de la claridad en el diseño. Sin embargo, los ciudadanos sin experiencia señalaron la necesidad de referencias visuales para identificar especies, lo que refuerza la relevancia de adaptar la herramienta a distintos perfiles de usuarios.

En términos de calidad general, se pidió a los participantes evaluar atributos como la facilidad de navegación, la efectividad de las preguntas y la claridad de las instrucciones, obteniendo una calificación promedio de 4.8 de los expertos y 4.5 de los ciudadanos. Estos hallazgos resaltan que la herramienta es funcional y confiable, pero subrayan áreas de mejora para usuarios sin conocimientos específicos en el tema. Los datos ingresados por el personal de Parques Nacionales reflejan que el sistema se alinea con sus necesidades operativas, mientras que los ciudadanos con experiencia en biodiversidad elogiaron la coherencia del

formulario. Este análisis reafirma la efectividad del enfoque colaborativo y refuerza la necesidad de garantizar que futuras iteraciones cumplan con los estándares de calidad y funcionalidad requeridos.

8 CONCLUCIONES

RadarExotic ha cumplido el objetivo principal de ofrecer una herramienta confiable y funcional para el registro y seguimiento de especies exóticas invasoras en Parques Nacionales de Colombia. La metodología incremental, con su enfoque ágil y modular, permitió ajustes continuos basados en la retroalimentación de los usuarios, asegurando un desarrollo adaptable y orientado a las necesidades de campo. Gracias a su arquitectura modular, la aplicación cumple con las necesidades actuales y ofrece una base para futuras ampliaciones, como la integración de nuevas funciones. Se recomienda implementar un motor de búsqueda para que los usuarios puedan indagar las características de las especies a registrar, así como fortalecer la sincronización y considerar herramientas analíticas avanzadas para mejorar la toma de decisiones.

En la fase de análisis, el enfoque en los requisitos funcionales y no funcionales fue esencial para alinear la aplicación con las condiciones y necesidades de los Parques Nacionales de Colombia. Al definir que la aplicación debía funcionar offline y garantizar la captura segura y sincronización automática de los datos, se establecieron los cimientos para una herramienta capaz de operar en zonas sin cobertura de red. Este enfoque permitió prever desafíos específicos del entorno y garantizar que los usuarios pudieran capturar datos en tiempo real sin preocuparse por la disponibilidad de Internet, asegurando la recolección continua y precisa de información en áreas de gran importancia.

La elección de los requisitos y funcionalidades en esta fase estableció un camino claro para el diseño y desarrollo, permitiendo que la arquitectura de software fuera orientada hacia la escalabilidad. El análisis detallado de los flujos de trabajo de los usuarios en campo

también resultó fundamental, ya que permitió estructurar la aplicación en incrementos controlados. Esto facilitó la adaptación continua del sistema, asegurando que la aplicación no solo cumpliera con las necesidades actuales de captura de datos, sino que además permitiera su evolución y ampliación futura.

La fase de diseño de RadarExotic se enfocó en construir una arquitectura de software que favoreciera tanto la escalabilidad como la modularidad. Esta estructura robusta y flexible permitió integrar funciones esenciales para la captura y gestión de datos geoespaciales en tiempo real. Gracias a una arquitectura orientada a componentes modulares, la aplicación puede soportar no solo la entrada y sincronización de datos, sino que facilita futuras ampliaciones, permitiendo que la aplicación evolucione según las necesidades de los gestores en campo.

Otro aspecto clave en esta fase fue la creación de una interfaz de usuario intuitiva y accesible, que permite a los usuarios navegar fácilmente entre las opciones del formulario de captura de datos. Al priorizar la claridad visual y la organización funcional de los campos, se optimizó la velocidad y precisión de captura de datos en entornos de campo. Este diseño también establece una base que facilita la integración de nuevas funcionalidades, adaptándose fácilmente a los cambios en los requerimientos de los usuarios.

Se cumplió con el objetivo de elaborar una experiencia accesible y rápida para los usuarios de RadarExotic en entornos offline, utilizando la plataforma KoboToolbox para crear una interfaz intuitiva y de fácil navegación. La estructura modular y eficiente del formulario desarrollado permite que la recolección de datos se realice sin conexión, lo cual asegura que los usuarios puedan registrar, gestionar y seguir los datos geográficos sobre

especies exóticas invasoras de manera continua y sin interrupciones. Este diseño facilita el ingreso de información en campo, disminuyendo los errores y el tiempo de digitación, un beneficio crucial para el trabajo en Parques Nacionales de Colombia, donde la conectividad es limitada o inexistente.

El enfoque en la usabilidad y la configuración cuidadosa de los formularios resultan en una experiencia ágil y accesible, optimizando el proceso de captura para los usuarios en campo. La implementación de las funciones esenciales, desde el registro hasta el seguimiento de datos, convierte a RadarExotic en una herramienta confiable para la gestión de especies invasoras. Además, el diseño modular del formulario sienta una base sólida para futuras ampliaciones, permitiendo mejorar y añadir funciones sin comprometer la funcionalidad central, cumpliendo así con los estándares de accesibilidad y eficiencia establecidos en el objetivo del proyecto.

La fase de evaluación confirmó que el formulario diseñado para RadarExotic opera eficientemente en modo offline y sincroniza los datos de manera confiable al restablecerse la conexión a Internet. Las pruebas realizadas con diferentes dispositivos y perfiles de usuarios demostraron que la información capturada se almacenó en la base de datos central sin pérdida de integridad, cumpliendo con los estándares de calidad establecidos por la ISO 9126-3. Este enfoque garantizó la usabilidad, confiabilidad y eficiencia del sistema, alineando la herramienta con los requerimientos técnicos y prácticos de los entornos de campo. Los resultados refuerzan la confiabilidad de RadarExotic como una herramienta esencial para investigadores y gestores ambientales, permitiendo la captura y gestión de datos de especies exóticas con precisión y rapidez.

Además de validar la funcionalidad del formulario, la evaluación identificó áreas clave para futuras mejoras. Entre estas, destaca la necesidad de crear un catálogo integrado que permita a los usuarios visualizar información relevante sobre las especies registradas, como características, fotografías y datos adicionales. Este catálogo facilitaría la identificación precisa de especies, mejorando significativamente la eficacia del registro, especialmente para los usuarios menos familiarizados con el tema. Incorporar esta funcionalidad no solo optimizaría la experiencia del usuario, sino que fortalecería el valor analítico y educativo de la herramienta, ampliando su alcance y utilidad en la conservación de la biodiversidad en áreas protegidas.

9 REFERENCIAS

Bello, L. C., Cárdenas Toro, J., Cárdenas López, D., Sua Tunjano, S. M., Baptiste E., M. P., Velásquez-Tibatá, J., & Londoño-Murcia, M. C. (2014). Especies invasoras y cambio climático. En L. C. Bello et al. (Eds.), Informe de Biodiversidad 2014 (pp. 207-210). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de https://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2014/cap2/207/

Centro Común de Investigación de la Comisión Europea. (2015). *EASIN - European Alien Species Information Network*. Recuperado el 30 de agosto de 2024, de https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-exoticas-invasoras/ce-eei-lista-ue-easin.html

Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente (INDERENA). (1977). *Resolución 622 del 15 de abril de 1977*. Recuperado el 13 de marzo de 2024.

MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2014). *El deterioro ambiental equivale en Colombia al 3,5% del PIB*. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=671:elusosostenible-de-los-bosques

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). Resolución 0848 de 2002. Recuperado el 13 de marzo de 2024.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 0217 de 2010. Recuperado el 13 de marzo de 2024.

Osorio Castiblanco, D. F. (2019). Análisis de plasticidad funcional del retamo espinoso (Ulex europaeus) a lo largo de un gradiente altitudinal y comparación de sus propiedades físico-bioquímicas con el retamo liso (Genista monspessulana) (Tesis de pregrado, Universidad de los Andes). Recuperado el 13 de marzo de 2024.

ISO/IEC TR 9126-3: (2003). Software engineering Product quality Parte 3: Internal metrics. Recuperado el 10 de noviembre del 2024 de https://www.iso.org/standard/22891.html

Wildlife Conservation Society. (2015). SMART: Spatial Monitoring and Reporting Tool. Recuperado el 10 de julio del 2024 de https://smartconservationtools.org/