

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Conservación de Iguanas Marinas en las islas Galápagos mediante un
Sistema de Información Geográfica para el Parque Nacional Galápagos

TECH-362

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Presentado por:

Danny Paul Soria Muñoz

David Álvaro Bravo Serna

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi madre, por su inquebrantable apoyo, esfuerzo, y sacrificio. Este logro es tanto tuyo como mío.

Danny P. Soria M.

El presente proyecto lo dedico a mi padre, quien, a pesar de la distancia, me brindó su incondicional apoyo emocional y económico. Gracias por estar siempre conmigo, este es un logro de ambos.

David A. Bravo S.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de proyecto, Miguel Realpe, por su guía y dedicación a lo largo de este proceso. A mi familia, especialmente a mi madre y mi hermana, por estar siempre a mi lado y apoyarme durante toda mi carrera. A mis amigos, quienes estuvieron conmigo en cada momento difícil y celebraron conmigo cada logro, gracias por su ayuda y compañía en este camino.

Danny P. Soria M.

Mis más sinceros agradecimientos a mi padre, por su constante apoyo, y a los excepcionales profesores de la ESPOL, quienes sin duda alguna fueron una fuente de inspiración para mí, tanto en lo académico como en lo personal.

David A. Bravo S.

Declaración Expresa

Nosotros **Danny Paul Soria Muñoz** y **David Alvaro Bravo Serna** acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 23 de mayo del 2024.



Danny Paul Soria Muñoz



David Alvaro Bravo
Serna

Evaluadores

**Ph. D. Lucía Marisol Villacrés
Falconi**
PROFESOR DE LA MATERIA

**Ph. D. Miguel Andrés Realpe
Robalino**
PROFESOR TUTOR

Resumen

El proyecto es una plataforma web SIG (Sistema de Información Geográfica) desarrollada para monitorear y analizar el comportamiento y hábitat de las Iguanas Marinas en las Islas Galápagos. La herramienta permite la visualización y manipulación de datos geospaciales de manera efectiva y eficiente, permitiendo la generación de estadísticas comparativas en rangos de tiempo y zonas geográficas específicas. Además, facilita la gestión de datos históricos y actuales, apoyando la toma de decisiones informadas para la conservación de esta especie amenazada.

Abstract

The project is a web-based Geographic Information System (GIS) platform developed to monitor and analyze the behavior and habitat of Marine Iguanas in the Galapagos Islands. The tool enables effective and efficient visualization and manipulation of geospatial data, allowing the generation of comparative statistics across time ranges and specific geographic areas. Additionally, it facilitates the management of historical and current data, supporting informed decision-making for the conservation of this endangered species.

Keywords: GIS, Galapagos Islands, Biodiversity, Conservation.

Índice general

Resumen	1
Abstract	2
Índice general	3
Abreviaturas	7
Índice de ilustraciones	8
Índice de tablas	8
Capítulo 1	9
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	12
1.3.2 <i>Objetivos específicos.</i>	12
1.4 MARCO TEÓRICO.....	12
1.4.1 <i>Sistema de Información Geográfica (SIG)</i>	12
1.4.1.1 <i>Captura de Datos</i>	13
1.4.1.2 <i>Almacenamiento y Gestión de Datos</i>	13
1.4.1.3 <i>Análisis y Manipulación de Datos</i>	13
1.4.1.4 <i>Visualización de Datos</i>	14
1.4.1.5 <i>Presentación y Distribución de Información</i>	14
1.4.2 <i>SIG en la conservación de especies</i>	15
1.4.3 <i>Rasters y comportamiento de las especies</i>	17
1.4.3.1 <i>Rasters</i>	17
1.4.3.2 <i>Comportamiento de las especies</i>	17

1.5 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y COMPATIBILIDAD DE SOLUCIONES EXISTENTES	18
Capítulo 2	20
2.1 METODOLOGÍA	21
2.2 HALLAZGOS CLAVE	21
2.2.1 Visualización de Datos	21
2.2.2 Análisis Espacial	22
2.3 ACTORES Y BENEFICIARIOS DE LA SOLUCIÓN	22
2.4 REQUERIMIENTOS	22
2.4.1 Requerimientos Funcionales	22
2.4.2 Requerimientos No Funcionales	23
2.5 ALCANCE Y LIMITACIONES DE LA SOLUCIÓN	24
2.5.1 Alcance	26
2.5.1.2 Integración de Datos Geoespaciales.....	26
2.5.1.3 Visualización y Manipulación de Mapas.....	26
2.5.1.4 Análisis espacial.....	26
2.5.1.5 Funcionalidades Interactivas	26
2.5.1.6 Datos Actuales e Históricos.....	26
2.5.1.7 Interfaz de Usuario Intuitiva.....	27
2.5.2 Limitaciones	27
2.5.2.1 Curva de aprendizaje	27
2.5.2.2 Requerimientos técnicos	27
2.5.2.3 Falta de Solución web nativa en QGIS.....	27
2.5.2.4 Escalabilidad y Mantenimiento	27
2.5.2.5 Especificidad de la Plataforma	28
2.5.2.6 Sistema Espacial de Referencias.....	28

2.6 HISTORIAS DE USUARIO	28
2.7 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....	28
2.7.1 Software.....	28
2.7.1.1 Frontend.....	28
2.7.1.2 Backend	29
2.7.1.3 Cloud.....	30
2.7.2 Diagramas.....	30
2.7.2.1 Diagrama de Componentes.....	31
2.7.2.2 Diagrama de Clases.....	32
2.7.2.3 Diagrama de Actividades	34
2.7.2.3.1 Actividad: Subir CSV con datos GIS (coordenadas) de Iguanas.....	34
2.7.2.3.2 Actividad: Filtro de Estado, Edad y Sexo para las Iguanas con la línea temporal	35
2.7.2.3.3 Actividad: Generación de estadísticas comparativa por zonas geográficas	36
2.7.2.4 Diagrama de Casos de Uso	37
2.7.2.5 Diagrama de Entidad Relación.....	40
2.7.3 Prototipo de la Solución	42
2.7.3.1 Visualización de Capas	43
2.7.3.2 Segmentación de Áreas	44
2.7.3.3 Información Almacenada.....	45
2.7.3.4 Estadísticas.....	46
Capítulo 3	47
3.1 INTRODUCCIÓN.....	48
3.2 OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS Y LAS MÉTRICAS	48
3.3 PLANIFICACIÓN	49

3.4 RESULTADO Y ANÁLISIS	52
3.4.1 Facilidad de Navegación	52
3.4.2 Identificación de Áreas Críticas	53
3.4.3 Comparación de Preguntas Clave.....	54
3.5 RESUMEN.....	60
Capítulo 4	62
4.1 CONCLUSIONES.....	63
4.2 RECOMENDACIONES.....	63
Referencias	65

Abreviaturas

UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
PNG	Parque Nacional Galápagos
GIS	Sistemas de Información Geográfica
CiDiS	Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas
FIEC	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
FCV	Facultad de Ciencias de la Vida
GMP	Google Maps Platform

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Puerto Ayora en la Isla Santa Rosa [7]	13
Ilustración 2. Representación de las capas SIG [10].	14
Ilustración 3. Diagrama de Componentes de la Solución (autoría propia).....	32
Ilustración 4. Diagrama de Clases de la Solución (autoría propia)	33
Ilustración 5. Diagrama de Casos de Uso de la Solución (autoría propia)	40
Ilustración 6. Diagrama de Entidad Relación (autoría propia)	42
Ilustración 7. Prototipo de Manipulación de Capas (autoría propia)	43
Ilustración 8. Prototipo para generar estadísticas (autoría propia)	46

Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa de Soluciones existentes	19
Tabla 2. Listado de voluntarios para pruebas	51
Tabla 3. Listado de Actividades para pruebas	52

Capítulo 1

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las islas Galápagos, conocidas mundialmente por su biodiversidad única, enfrentan serios desafíos en la conservación de sus especies emblemáticas, entre las que se encuentra la Iguana Marina de las Galápagos (*Amblyrhynchus Cristatus*) [1]. La cual fue declarada en peligro por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) [2] y ha experimentado una reducción significativa de población debido a la degradación del hábitat, invasión humana y los cambios climáticos [3].

El Parque Nacional Galápagos (PNG) realiza esfuerzos continuos para estudiar y proteger esta especie. Sin embargo, aunque se cuenta con datos valiosos obtenidos a través de vuelos de drones, ortofotos y donaciones de contenido audiovisual de terceros, el PNG enfrenta desafíos en la visualización y análisis eficaz de esta información geoespacial. Actualmente, estos datos se visualizan de manera limitada, lo que dificulta la identificación precisa de áreas críticas para la conservación y la toma de decisiones informadas.

La ausencia de una plataforma integrada que permita visualizar de manera eficaz y dinámica los datos geoespaciales relacionados con el hábitat y comportamiento de las iguanas marinas impide un monitoreo completo y una gestión adecuada de las áreas de conservación. La información visualizada desde diferentes fuentes y en distintos formatos no permite un análisis unificado ni una respuesta rápida a las amenazas identificadas.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La Iguana Marina de las Galápagos es una especie clasificada en peligro por la UICN bajo el criterio A2abce+4abce. Según los criterios de la UICN, se proyecta que esta especie perderá un 30% o más de su población en un período de 10 años o tres generaciones debido a la reducción de la extensión y calidad del hábitat, la introducción de especies exóticas, enfermedades y los efectos del cambio climático [3].

Actualmente, el Parque Nacional Galápagos (PNG) realiza salidas de campo rutinarias para recopilar datos sobre las poblaciones de iguanas marinas. Durante estas salidas, el personal del parque utiliza dispositivos GPS para marcar ubicaciones aproximadas de las iguanas, generando así archivos de datos que son posteriormente

procesados y almacenados, a menudo en formatos como hojas de cálculo o archivos CSV.

Para preservar esta especie, es imperativo que el PNG tome decisiones informadas basadas en datos precisos y completos. Una solución efectiva a estas limitaciones es la implementación de un visualizador GIS que permita manipular un mapa con filtros de iguanas por clasificación de edad, sexo, estado, junto con herramientas para generar estadísticas automatizadas de zonas geográficas delimitadas, así como la creación de polígonos para delimitar áreas geográficas clave. Este enfoque proporcionaría una visión panorámica de los datos geoespaciales y del estado de las poblaciones, mejorando significativamente la capacidad del PNG para monitorear y gestionar la conservación de la Iguana Marina de las Galápagos.

Al complementarse con los datos geográficos existentes, esta plataforma permitirá a los investigadores y voluntarios monitorear el comportamiento de las poblaciones de Iguanas Marinas de manera precisa, facilitando la visualización y gestión de los datos geoespaciales de la región. Con esta herramienta, el PNG podrá identificar rápidamente las áreas problemáticas e implementar medidas de protección adecuadas, así como evaluar el impacto de las actividades humanas y otros cambios ambientales en el hábitat de las iguanas.

El impacto de no adoptar una solución tecnológica innovadora como esta sería significativo a nivel mundial. La pérdida de biodiversidad y el desequilibrio ecológico en las islas Galápagos afectarían no solo a la región sino también a su reconocimiento global como un Patrimonio de la Humanidad. Fortalecer la gestión sostenible del ecosistema de las islas Galápagos beneficiará tanto a la conservación de la biodiversidad como al bienestar económico de la región [4].

Aunque existen varias plataformas de código abierto, como SMART, Panthera IDS [5] y QGIS, que se utilizan para la conservación y monitoreo de la vida silvestre, estas herramientas presentan limitaciones en términos de especificidad y compatibilidad con las necesidades del PNG. Por lo tanto, es necesario desarrollar una plataforma SIG personalizada que permita la integración y visualización de datos geoespaciales, optimizada específicamente para el monitoreo de la Iguana Marina y adaptada a las necesidades únicas del Parque Nacional Galápagos. Esta solución personalizada facilitará una gestión más eficiente y efectiva de la conservación de las Iguanas Marinas,

proporcionando una herramienta que se alinee perfectamente con las prácticas y objetivos del PNG.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una plataforma web prototipo de tipo SIG que permita agilizar la visualización y el análisis del comportamiento de las Iguanas Marinas de las islas Galápagos y su entorno. La plataforma integrará tecnologías avanzadas de geolocalización y análisis de datos vectoriales geoespaciales. El objetivo es proporcionar datos precisos y actualizados para la toma de decisiones informadas en la conservación de esta especie amenazada.

1.3.2 Objetivos específicos.

1. Crear un sistema que combine mapas georreferenciados con información geoespacial relevante.
2. Implementar funcionalidades para la visualización de shapefiles (datos vectoriales geoespaciales) y rasters (datos en forma de cuadrículas, como modelos de elevación y capas del terreno).
3. Implementar funcionalidades interactivas para los usuarios (acercamiento, segmentación, selección, desplazamiento, etc.) para la visualización de mapas georreferenciados y objetos de relevancia para el monitoreo de características de iguanas marinas.
4. Proveer visualizaciones de datos actuales e históricos para permitir un análisis ágil.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Una plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema diseñado para almacenar, manipular, analizar, gestionar y presentar datos geoespaciales. El funcionamiento de una plataforma GIS se puede desglosar en varios componentes clave:

1.4.1.1 Captura de Datos

Una plataforma SIG puede recopilar datos de diversas fuentes, incluyendo imágenes satelitales, fotográficas áreas, datos de sensores y coordenadas GPS. Esta información Geoespacial es esencial para crear mapas detallados y precisos [6].

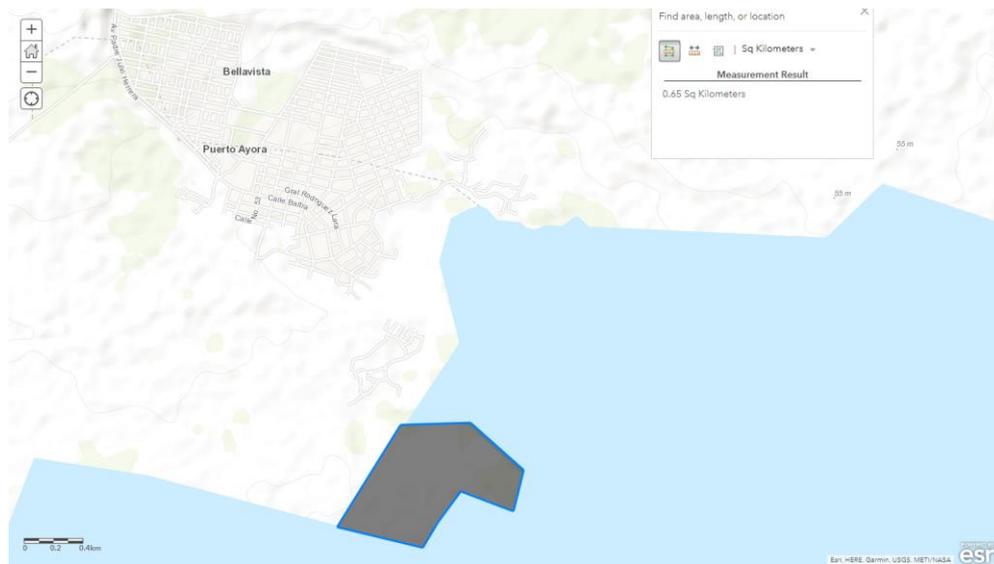


Ilustración 1. Puerto Ayora en la Isla Santa Rosa [7]

1.4.1.2 Almacenamiento y Gestión de Datos

Una vez capturados, los datos son almacenados en bases de datos geoespaciales que permiten un acceso rápido y eficiente. Estas bases de datos pueden manejar grandes volúmenes de datos, mantener la integridad y precisión de la información geográfica, así como proporcionar funciones útiles de manipulación y conversión de información geográfica; como intersecciones de geometrías, de puntos de referencia, conversión entre distintos sistemas de referencia espaciales, entre otras [8].

1.4.1.3 Análisis y Manipulación de Datos

La capacidad de analizar y manipular datos es una de las funciones más poderosas de un SIG. Los usuarios pueden realizar análisis espaciales complejos, como la superposición de capas de datos, el análisis de proximidad y la modelación de redes.

Esto permite identificar patrones y relaciones espaciales que no son evidentes en los datos brutos [9].

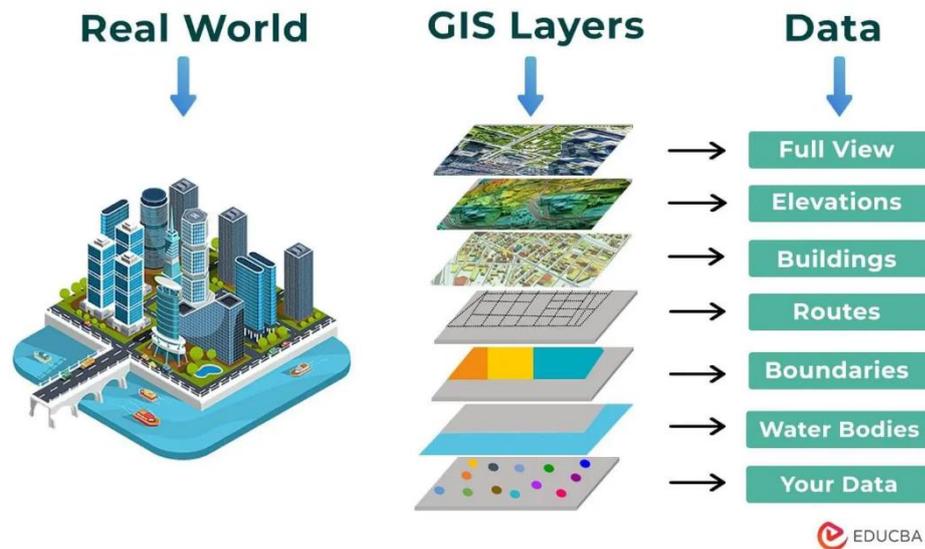


Ilustración 2. Representación de las capas SIG [10].

1.4.1.4 Visualización de Datos

Los SIG transforman los datos geospaciales en visualizaciones intuitivas y comprensibles, como mapas y gráficos. Estas visualizaciones facilitan la comprensión de los datos y ayudan en la toma de decisiones informadas. Los mapas interactivos y las herramientas de visualización son especialmente útiles en aplicaciones de monitoreo ambiental y conservación [11].

1.4.1.5 Presentación y Distribución de Información

Los resultados del análisis GIS se pueden presentar en diversos formatos, incluyendo informes, mapas impresos, y aplicaciones web. Estas presentaciones pueden ser compartidas con otras partes interesadas a través de plataformas en línea, permitiendo una colaboración y toma de decisiones más eficiente [12].

Una plataforma GIS integra todas estas funciones en una interfaz unificada, proporcionando a los usuarios las herramientas necesarias para gestionar y analizar datos geospaciales de manera eficaz. Esta integración de datos y herramientas analíticas es crucial para aplicaciones en conservación, planificación urbana, gestión de recursos naturales, y muchas otras áreas donde la información espacial es fundamental para la toma de decisiones [6].

1.4.2 SIG en la conservación de especies

Para la conservación de las especies, es fundamental la captura y almacenamiento de datos geográficos. Esto incluye la distribución de recursos, como los límites de las áreas verdes, la ubicación de cuerpos de agua y la identificación de montañas. Estos datos pueden registrarse mediante métodos tradicionales, como la medición en el terreno y la toma de imágenes satelitales [12]. Adicionalmente, estos datos se utilizan para proteger a las especies objetivo. Con el uso de tecnología avanzada, como la captura de imágenes con drones, sensores y la inteligencia artificial, es posible identificar y cuantificar las especies objetivo. Esto permite formar un historial de comportamientos, asentamientos y accesibilidad a los recursos, facilitando así la implementación de estrategias de conservación efectivas [13].

Los SIG permiten identificar y delinear áreas con altos niveles de biodiversidad o características naturales únicas que necesitan protección. Esto se logra mediante la superposición de diversos datos geográficos y ambientales, como la distribución de especies, la topografía y los usos del suelo. Esta información ayuda a los gestores ambientales a definir límites precisos para reservas naturales, parques nacionales y otras áreas protegidas. Gracias a esta tecnología, es posible tomar decisiones informadas para la conservación y manejo de estos espacios vitales para la biodiversidad [13].

Existen diversos proyectos privados que utilizan estos sistemas, como la Fundación Dian Fossey Gorilla es una organización dedicada a la conservación y protección de los gorilas de montaña y su hábitat natural en África. Utiliza tecnología SIG mediante collares GPS en algunos gorilas para obtener datos precisos sobre sus movimientos y ubicación. Estos datos, integrados en los sistemas SIG, permiten visualizar los patrones de desplazamiento y uso del territorio de los grupos de gorilas, información crucial para identificar áreas críticas de conservación. El SIG facilita el análisis de datos a largo plazo, ayudando a comprender mejor el comportamiento de los gorilas en su entorno natural [14].

Por otro lado, la plataforma open source en línea Global Forest Watch ofrece datos y herramientas para monitorear los bosques del mundo en tiempo real. Utilizando imágenes satelitales y tecnologías avanzadas de detección remota, permite a los usuarios de todo el mundo visualizar y analizar la pérdida y ganancia de cobertura forestal y obtener información crítica sobre la salud de los ecosistemas forestales [15].

Sin embargo, por su implementación, este proyecto no es compatible con nuestro caso concreto. De igual forma, la plataforma en línea eBird permite a observadores de aves de todo el mundo registrar y compartir sus avistamientos de aves, lo que facilita la recopilación de datos sobre la distribución y abundancia de aves, creando una base de datos global accesible para investigadores y conservacionistas. Cada registro en eBird incluye coordenadas geográficas precisas, integradas en sistemas SIG, que permiten mapear la ubicación exacta de cada avistamiento. Esta integración facilita el análisis de patrones de distribución y cambios en las poblaciones de aves, proporcionando información esencial para la conservación y gestión de los hábitats aviáres [16]. Esta plataforma da un acceso abierto a una gran cantidad de datos, pero no es una plataforma de código abierto, por lo que no podemos utilizarla

Dentro de las soluciones Open Source que utilizan sistemas SIG para la conservación y monitoreo de la vida silvestre, está el SMART (Spatial Monitoring and Reporting Tool) que es una plataforma robusta, ampliamente utilizada para la conservación en áreas protegidas, que ofrece la recolección, almacenamiento y análisis de datos [17]. Sin embargo, se enfoca principalmente en la recolección y reporte de datos de campo, además de tener capacidades limitadas para el análisis avanzado de imágenes aéreas y la integración de datos geoespaciales, por lo que no es una opción viable para implementar en este proyecto.

La plataforma Quantum GIS o QGIS, es gratuita y de código abierto, que permite a los usuarios visualizar, gestionar, editar, analizar datos y diseñar mapas imprimibles. Es una de las herramientas más populares y versátiles en la comunidad SIG debido a su amplio conjunto de funcionalidades y su capacidad para integrarse con otros sistemas y formatos de datos geoespaciales [18]. Aunque al no contar con una solución web, no cumple con los requisitos de accesibilidad de nuestro proyecto.

Existe también el Panthera IDS, utilizada para la gestión de datos en proyectos de monitoreos de grandes felinos, altamente eficaz en la estandarización y análisis de grandes volúmenes de datos de cámaras trampa [5]. Aunque, no está optimizada para el monitoreo de especies marinas y carece de una integración fluida con tecnologías de vectores geoespaciales y análisis que son esenciales para este proyecto.

1.4.3 Rasters y comportamiento de las especies

En el ámbito de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la combinación de rasters y el análisis del comportamiento de especies ha avanzado significativamente gracias a la integración de tecnologías avanzadas de geolocalización, procesamiento de imágenes y modelado espacial. A continuación, se presenta una revisión del estado del arte en la manipulación conjunta de estos elementos.

1.4.3.1 Rasters

Los rasters representan datos espaciales en forma de una cuadrícula regular de celdas, donde cada celda contiene un valor que puede representar diversas características geoespaciales como elevación, uso del suelo, vegetación, temperatura, entre otros. Estas capas de rasters se utilizan ampliamente para modelar y analizar el terreno y el entorno de las especies [19].

- **Modelos Digitales de Elevación (DEM):** Utilizados para representar la topografía del terreno y analizar su influencia en el hábitat de las especies.
- **Imágenes Satelitales y Fotogrametría:** Empleadas para obtener información detallada sobre la cobertura del suelo y la vegetación, lo cual es crucial para el monitoreo de hábitats.
- **Mapas de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo:** Permiten identificar áreas críticas para la conservación de especies y planificar intervenciones.

1.4.3.2 Comportamiento de las especies

El análisis del comportamiento de las especies se ha beneficiado enormemente de los avances en SIG y el uso de rasters. Estas herramientas permiten una comprensión más profunda de cómo las especies interactúan con su entorno y responden a cambios ambientales [20].

- **Modelado de Hábitats:** Combina datos de rasters y algoritmos de modelado para predecir la distribución de especies e identificar hábitats críticos.
- **Análisis de Movimiento y Trayectorias:** Utiliza datos de seguimiento GPS y técnicas de análisis espacial para estudiar los patrones de movimiento de las especies.

- **Evaluación del Impacto Ambiental:** Integra datos de rasters y técnicas de visualización avanzadas para evaluar cómo las actividades humanas y los cambios en el entorno afectan el comportamiento de las especies.

1.5 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y COMPATIBILIDAD DE SOLUCIONES EXISTENTES

Características	QGIS	PantheraIDS	SMART
Tipo de Plataforma	Software de Escritorio	Software de Escritorio	Software de Escritorio / Web
Propósito Principal	Gestión y análisis de datos geoespaciales	Gestión y análisis de datos de trampas fotográficas	Monitoreo y reporte de áreas protegidas
Funciones Principales	Visualización y edición de datos geoespaciales Análisis espacial Creación de Mapas	Gestión de datos de trampas fotográficas Análisis de datos de fauna silvestre Estandarización de datos	Recolección y análisis de datos de campo Monitoreo de biodiversidad Generación de Reportes
Soporte de formatos	Amplia gama de formatos	Imágenes de trampas	Datos de campo (varios formatos)
Interfaz de Usuario	Interfaz gráfica rica, con plugins extensibles	Interfaz específica para gestión de trampas fotográficas	Interfaz enfocada en la recolección y análisis de datos
Extensibilidad	Alta (por el soporte para plugins y scripts)	Limitada a las funciones predefinidas	Moderada (algunos plugins disponibles)
Análisis Avanzado	Sí, con capacidades extensas para	Limitado al análisis de cámaras fotográficas	Sí, pero enfocado en la recolección y

	análisis espacial y modelado		análisis de datos de campo
Despliegue Web	No	No	Cuenta con una versión web disponible
Facilidad de Uso	Curva de aprendizaje moderadamente alta	Moderada, Interfaz específica para su propósito	Moderada, diseño para ser usada por guardabosques y personal de campo
Documentación y soporte	Extensa documentación y comunidad activa	Documentación específica, comunidad pequeña	Buena documentación y soporte, comunidad activa
Ventajas	Versátil y poderosa Soporte para una amplia gama de formatos Altamente extensible	Especializada en datos de trampas fotográficas Buen análisis de datos de fauna	Focalizada en conservación Buen soporte para recolección y monitoreo de datos de campo
Desventajas	No tiene solución web nativa disponible Requiere conocimientos técnicos para uso avanzado	Limitada a su propósito específico Menos extensible No está adaptada para monitorear especies marinas	Menos versátil que QGIS para análisis espacial avanzado Limitado a la conservación y monitoreo de áreas protegidas

Tabla 1. Comparativa de Soluciones existentes

Estas son algunas de las soluciones Open Source disponibles, sin embargo, no se adaptan a las necesidades del proyecto específicas, en la que se requiere de una solución web que permita el análisis geoespacial para la manipulación de archivos geoespaciales.

Capítulo 2

2.1 METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este proyecto se centra en el diseño y desarrollo de una plataforma web de tipo SIG (Sistema de Información Geográfica) que permitirá agilizar la visualización y el análisis del comportamiento de las Iguanas Marinas en las islas Galápagos, así como su entorno natural. Este capítulo detallará las etapas clave del proceso de desarrollo, incluyendo la selección de tecnologías, el diseño de la arquitectura del sistema, la implementación de funcionalidades específicas y el diseño de la arquitectura del sistema. Estas secciones son cruciales para comprender cómo cada decisión técnica y de diseño contribuyó a crear una herramienta eficaz y robusta para el monitoreo y conservación de las Iguanas Marinas. Además, se abordará cómo la plataforma maneja grandes volúmenes de datos geoespaciales y las razones detrás de la selección de ciertos enfoques y tecnologías.

2.2 HALLAZGOS CLAVE

Durante el desarrollo del proyecto, se realizaron varias reuniones virtuales con el cliente Paolo Piedrahita, el tutor Miguel Realpe y Alberto Durán del Parque Nacional Galápagos (PNG). Estas sesiones fueron fundamentales para comprender en detalle cómo los investigadores del PND realizan su trabajo, cuáles son sus necesidades específicas y qué limitaciones enfrentan en su actual proceso de monitoreo y conservación de la Iguana Marina. A partir de estas conversaciones, se identificaron varios insights y requerimientos clave que guiaron el diseño y desarrollo de la plataforma.

2.2.1 Visualización de Datos

- **Necesidad de herramientas de visualización eficientes:** Los investigadores enfatizaron la importancia de contar con herramientas que les permitan visualizar y analizar de manera eficiente los datos geoespaciales previamente recopilados. Se requiere que la plataforma no solo maneje grandes volúmenes de datos, sino que también ofrezca una interfaz intuitiva para acceder a la información de manera rápida y precisa.
- **Capas de delimitación de zonas:** Otra necesidad crítica identificada fue la capacidad de agregar y ocultar capas de datos geoespaciales en el mapa. Esto les permite a los investigadores delimitar zonas específicas para un análisis más

detallado, como áreas de alto riesgo, zonas de alimentación, y territorios de iguanas en diferentes estados de salud o ciclos de vida.

2.2.2 Análisis Espacial

- **Estadísticas y Datos geoespaciales:** La capacidad de extraer estadísticas precisas y realizar análisis detallados de datos geoespaciales es crucial para la toma de decisiones informadas. Durante las reuniones, se destacó la necesidad de que la plataforma pueda generar estadísticas en tiempo real y permita a los usuarios realizar análisis espaciales que apoyen la conservación y gestión de la Iguana Marina de manera más efectiva.

2.3 ACTORES Y BENEFICIARIOS DE LA SOLUCIÓN

En este proyecto, los beneficiarios inmediatos de la solución son los investigadores y trabajadores del Parque Nacional Galápagos (PNG). La plataforma desarrollada mejorará significativamente el proceso de análisis del terreno y hábitat de las Iguanas Marinas en las Galápagos, proporcionando herramientas avanzadas para la visualización y el análisis de datos geoespaciales. Esto permitirá al PNG tomar decisiones más informadas y efectivas en la conservación de esta especie emblemática.

Además, este proyecto ofrece un valioso aprendizaje práctico para los estudiantes de computación de la FIEC que participan en su desarrollo. A través de su contribución, los estudiantes aplican sus conocimientos en desarrollo de software, planificación de proyectos y análisis de requerimientos en un contexto real, lo que no solo enriquece su formación académica, sino que también les permite colaborar en una iniciativa de gran relevancia para la conservación de la biodiversidad.

2.4 REQUERIMIENTOS

2.4.1 Requerimientos Funcionales

Basados en las reuniones con el cliente y los análisis realizados, se identificaron los siguientes requerimientos funcionales, los cuales están directamente relacionados con las historias de usuario desarrolladas durante el proyecto (el enlace a las historias de usuario se encuentra más adelante).

1. Manipulación de Archivos Raster y Shapefile

- Historia de Usuario: HU-005, HU-006 y HU-007

El sistema debe permitir la carga, visualización, y manipulación de archivos Raster y Shapefile para que los investigadores puedan trabajar con diferentes tipos de datos geoespaciales. Esto incluye habilitar y deshabilitar capas, y gestionar múltiples archivos subidos al sistema.

2. Interfaz de Usuario Intuitiva y Accesible

- Historia de Usuario: HU-001, HU-002 y HU-004

El sistema debe proporcionar una interfaz de usuario que sea intuitiva y accesible, permitiendo que los investigadores utilicen la plataforma sin necesidad de entrenamiento extensivo. Esto incluye la capacidad de ver el perfil del usuario y gestionar credenciales de acceso.

3. Gestión de Interacciones del Usuario

- Historia de Usuario: HU-010

El sistema debe ser capaz de guardar y recuperar el estado de las interacciones del usuario, permitiéndoles retomar su trabajo desde donde lo dejaron, asegurando así la continuidad en el análisis.

4. Generación y Almacenamiento de Estadísticas

- Historia de Usuario: HU-009

El sistema debe permitir a los usuarios generar estadísticas a partir de áreas segmentadas y compararlas. Además, estas estadísticas deben poder guardarse para futuros análisis.

5. Segmentación de Áreas Geográficas

- Historia de Usuario: HU-008 y HU-009

El sistema debe permitir a los usuarios segmentar áreas geográficas en el mapa, con el fin de analizar y comparar diferentes regiones específicas, facilitando la toma de decisiones en la conservación.

2.4.2 Requerimientos No Funcionales

Además de los requerimientos funcionales, se identificaron los siguientes requerimientos no funcionales para asegurar el rendimiento, escalabilidad y usabilidad del sistema:

1. Rendimiento

El sistema debe ser capaz de manejar grandes volúmenes de datos geoespaciales (por ejemplo, hasta 100,000 marcadores y múltiples capas de datos) sin comprometer el rendimiento.

2. Escalabilidad

La arquitectura del sistema debe ser escalable, permitiendo futuras expansiones para soportar nuevos tipos de datos, mayor número de usuarios y funcionalidades adicionales.

3. Seguridad

El sistema debe asegurar que la información sensible, como los datos de los usuarios y las estadísticas generadas, estén protegidas mediante autenticación segura y cifrado de datos.

4. Disponibilidad

El sistema debe garantizar una alta disponibilidad, con un tiempo de inactividad mínimo, para asegurar que los investigadores puedan acceder a los datos y herramientas en todo momento.

5. Compatibilidad

El sistema debe ser compatible con otros sistemas y formatos de datos utilizados por los investigadores, como CSV, GeoJSON, y otros estándares geoespaciales.

6. Accesibilidad

La interfaz debe ser accesible para usuarios con diferentes niveles de experiencia técnica, asegurando que sea fácil de usar tanto para expertos en GIS como para usuarios con menos experiencia.

2.5 ALCANCE Y LIMITACIONES DE LA SOLUCIÓN

La solución propuesta se enfoca en el desarrollo de una plataforma web de tipo Sistema de Información Geográfica (SIG) diseñada para facilitar la visualización y análisis del comportamiento de las Iguanas Marinas en las islas Galápagos. A continuación, se presenta un esquema simplificado de la arquitectura de la solución, mostrando los componentes clave y las interacciones entre ellos.

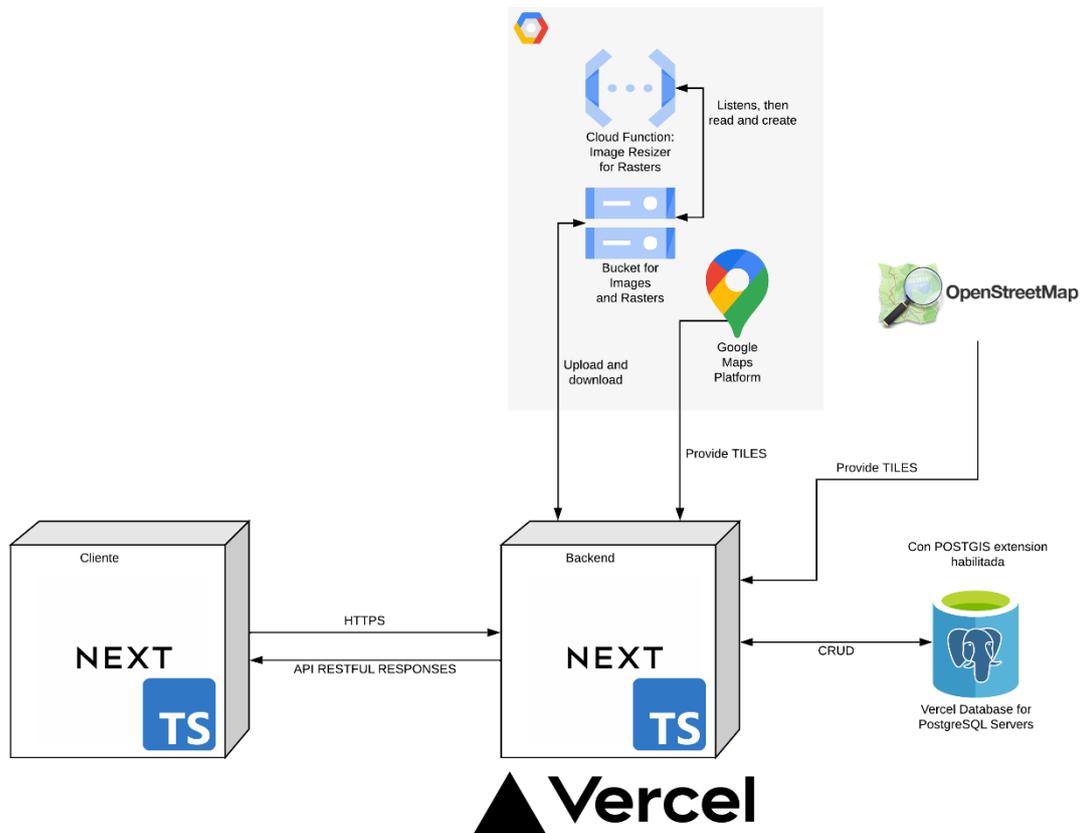


Ilustración 3. Diagrama arquitectura de la solución GIS (autoría propia)

- **Ciente (Frontend):** Es la interfaz de usuario que interactúa con el sistema.
- **Backend:** Procesa las solicitudes, maneja la lógica del negocio y la comunicación con la base de datos.
- **Base de datos con PostGIS:** Almacena y gestiona los datos geoespaciales.
- **Bucket for Images and Rasters:** Almacena archivos rasterizados y otros recursos visuales.
- **Cloud Function:** Procesa las imágenes y rasters para redimensionarlos o realizar otras operaciones.
- **TILES:** Fragmentos de mapas que se entregan al cliente para la visualización geoespacial, vienen de OpenStreetMap y Google Maps Platform.

2.5.1 Alcance

La solución propuesta se enfoca en el desarrollo de una plataforma web de tipo Sistema de Información Geográfica (SIG) que permita agilizar la visualización y el análisis del comportamiento de las Iguanas Marinas de las islas Galápagos y su entorno. El alcance de la solución incluye:

2.5.1.2 Integración de Datos Geoespaciales

- Almacenamiento de datos geoespaciales en diversos formatos, incluidos shapefiles y rasters.
- Capacidad para manejar datos de puntos, líneas, polígonos, así como datos rasterizados como modelos digitales de elevación, imágenes satelitales, y mapas de cobertura vegetal.

2.5.1.3 Visualización y Manipulación de Mapas

- Implementación de funcionalidades para la visualización interactiva de mapas.
- Herramientas para agregar y ocultar capas geoespaciales, y delimitar zonas de interés para un análisis más detallado.

2.5.1.4 Análisis espacial

- Capacidades para realizar análisis espaciales, como superposición de capas.
- Extracción de estadísticas y generación de reportes basados en datos geoespaciales.

2.5.1.5 Funcionalidades Interactivas

- Herramientas para acercamiento, segmentación, selección, desplazamiento, y otras interacciones con mapas georreferenciados.
- Segmentación y clasificación de iguanas marinas según diferentes características (flacas, gordas, jóvenes, adultas, etc.).

2.5.1.6 Datos Actuales e Históricos

- Visualización de datos actuales e históricos para permitir un análisis ágil.

- Registro y almacenamiento de eventos importantes y modificaciones de rasters y shapefiles.

2.5.1.7 Interfaz de Usuario Intuitiva

Desarrollo de una interfaz amigable que permita a los usuarios interactuar fácilmente con la plataforma y acceder a las funcionalidades de análisis y visualización.

2.5.2 Limitaciones

A pesar de su amplio alcance, la solución propuesta tiene ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta:

2.5.2.1 Curva de aprendizaje

- A pesar de la interfaz intuitiva, los usuarios pueden requerir capacitación para utilizar plenamente todas las funcionalidades avanzadas de la plataforma.
- La curva de aprendizaje puede ser pronunciada para usuarios sin experiencia previa en SIG.

2.5.2.2 Requerimientos técnicos

- La plataforma puede requerir una infraestructura técnica robusta para manejar grandes volúmenes de datos y realizar análisis espaciales complejos.
- Limitaciones en la infraestructura técnica pueden afectar el rendimiento y la capacidad de la plataforma.

2.5.2.3 Falta de Solución web nativa en QGIS

A diferencia de QGIS, que es una herramienta de escritorio y requiere desarrollos adicionales para el despliegue web, la solución propuesta debe integrar tecnologías que permitan su funcionamiento en un entorno web de manera nativa.

2.5.2.4 Escalabilidad y Mantenimiento

A medida que el proyecto se expanda y se incremente el volumen de datos, la plataforma debe ser escalable para manejar la carga adicional. El mantenimiento continuo y las actualizaciones de la plataforma pueden requerir recursos técnicos significativos.

2.5.2.5 Especificidad de la Plataforma

La solución está específicamente diseñada para el monitoreo y conservación de las Iguanas Marinas de las islas Galápagos, lo que puede limitar su aplicabilidad a otros proyectos de conservación sin modificaciones significativas.

2.5.2.6 Sistema Espacial de Referencias

La solución funciona con utilizando archivos que estén en el sistema espacial de referencias estándar 4326, no es compatible con archivos que manejen otros sistemas de referencia espaciales.

2.6 HISTORIAS DE USUARIO

Se realizó una tabla de [Historias de Usuario](#), con criterios de Aceptación e History Points, extrapolando las necesidades y requerimientos del proyecto con el fin de segmentar el desarrollo y organizar el cronograma de desarrollo a futuro.

Se puede acceder al archivo a través de este enlace: [HU.xlsx](#).

2.7 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

2.7.1 Software

El stack de software está diseñado para proporcionar una plataforma robusta, escalable y altamente interactiva para la gestión y visualización de datos geoespaciales. Cada componente se ha seleccionado para optimizar la funcionalidad y rendimiento, garantizando una experiencia de usuario óptima y una capacidad de procesamiento eficiente.

2.7.1.1 Frontend

- La aplicación utiliza **React** como la base del frontend, usando javascript y typescript, permitiendo una construcción dinámica y eficiente de la interfaz de usuario. Se ha integrado **Next.js** (versión 14) como el framework principal, aprovechando su capacidad para renderizado híbrido (SSR/SSG), lo que mejora el rendimiento y la optimización de la aplicación.

- **Tailwind CSS** se utiliza para el diseño de estilos, permitiendo la implementación rápida y eficiente de componentes estéticamente coherentes y adaptables a múltiples tamaños de pantalla.
- **Leaflet** es la librería principal para la visualización de archivos geospaciales, se emplean **georaster**, **georaster-layer-for-leaflet** y **geotiff**, que permiten trabajar con datos rasterizados directamente en el navegador.
- La experiencia de usuario se enriquece mediante la incorporación de **Framer Motion**, que proporciona animaciones fluidas y componentes dinámicos para mejorar la interacción con la aplicación.
- **React-Toastify** y **React-Tooltip** se utilizan para la generación de notificaciones y consejos interactivos que mejoran la usabilidad.
- **Chart.js** y **React-chartjs-2**, se emplean para la generación de gráficos y análisis visuales de los datos geospaciales, con soporte adicional para gráficos temporales utilizando **chartjs-adapter-date-fns**.

2.7.1.2 Backend

- El backend está construido sobre **Next.js** (también en su versión 14), lo que permite una integración fluida entre el frontend y las APIs RESTful. Next.js proporciona una base sólida para el desarrollo de API escalables y robustas, esenciales para el procesamiento de datos geospaciales y la gestión de ríos.
- **PG** se utiliza para la ejecución directa de consultas SQL, optimizando el rendimiento en operaciones de alto volumen de datos.
- **Sharp** y **Shapefile** se emplean para la manipulación y conversión de archivos raster y shapefiles, respectivamente, mientras que **proj4** y **reproject** permiten la transformación de coordenadas entre diferentes sistemas de referencia espacial (SRID).
- **Turf.js** se utiliza para la validación y análisis de geometrías geospaciales, garantizando que los shapefiles sean válidos antes de ser procesados.
- **SendGrid** se integra para el envío de correos electrónicos de notificación e invitación, asegurando una comunicación efectiva entre la plataforma y sus usuarios.

- La autenticación y seguridad de contraseñas se gestionan mediante **bcrypt**, asegurando que las credenciales de los usuarios se manejen de manera segura y encriptada.
- **Swagger** se utiliza para la documentación interactiva de la API, facilitando la comprensión y el uso de las rutas API tanto por los desarrolladores como por los usuarios avanzados.
- La plataforma está desplegada en **Vercel**, aprovechando su infraestructura para un despliegue continuo y la optimización de recursos. Los archivos de imágenes se almacenan en un **Google Cloud Storage** bucket, y una **Cloud Function** se encarga de redimensionar estas imágenes en diferentes resoluciones (medium, large, y thumbnail).
- El backend también actúa como proxy, sirviendo las imágenes desde el bucket al cliente y gestionando la conexión con **Google Maps Platform (GMP)** para el suministro de tiles de mapas, esta conexión proporciona un poderoso potencial para una futura integración con datos de la API de GMP.

2.7.1.3 Cloud

El sistema cuenta con un sistema de envío de mensajes a través de SendGrid Mailer para enviar invitaciones de registro, un Bucket de Imágenes de Google para almacenar archivos Rasters, así como una Cloud Function que ejecuta una función de re-escalado de imágenes dentro del Bucket.

En lo que corresponde a la Base de Datos, se realizó utilizando el sistema de almacenamiento gratuito de Vercel, que tiene un límite de 60 horas de cómputo por mes y un máximo de 256 MB de almacenamiento.

El despliegue se realiza de forma automatizada, siguiendo un proceso de Integración Continua y Desarrollo continuo, con la plataforma de Vercel (asociando el proyecto de Github a la cuenta de Vercel).

2.7.2 Diagramas

Los diagramas desarrollados para la solución siguen la perspectiva de ingeniería de software basada en el modelo 4+1 POV (Puntos de Vista). Estos diagramas se han

elaborado a partir de los requerimientos planteados al inicio de este capítulo y abarcan las siguientes vistas:

1. **Vista Lógica:** Incluye diagramas de clases y entidad-relación, que representan la estructura y las relaciones entre los elementos del sistema.
2. **Vista de desarrollo:** Contempla diagramas de componentes, que detallan la organización modular del software.
3. **Vista de proceso:** Se incluyen diagramas de actividad y de secuencia, que describen el flujo de procesos y la interacción entre componentes en el tiempo.
4. **Vista física:** Consiste en prototipos desarrollados en Figma, que muestran la interfaz de usuario y la disposición de los elementos visuales.
5. **Vista de casos de uso:** Incluye diagramas de casos de uso con actores, que detallan cómo interactúan los diferentes usuarios con el sistema.

2.7.2.1 Diagrama de Componentes

El diagrama de componentes del sistema GIS muestra cómo se estructuran y relacionan los módulos principales, incluyendo la previsualización y manipulación de mapas, la gestión de shapefiles, rasters y shaders, así como los datos y permisos de usuarios, filtros, comparativas de estadísticas, visualización, y la manipulación y filtrado de marcadores de Iguanas.

Diagrama de Componentes

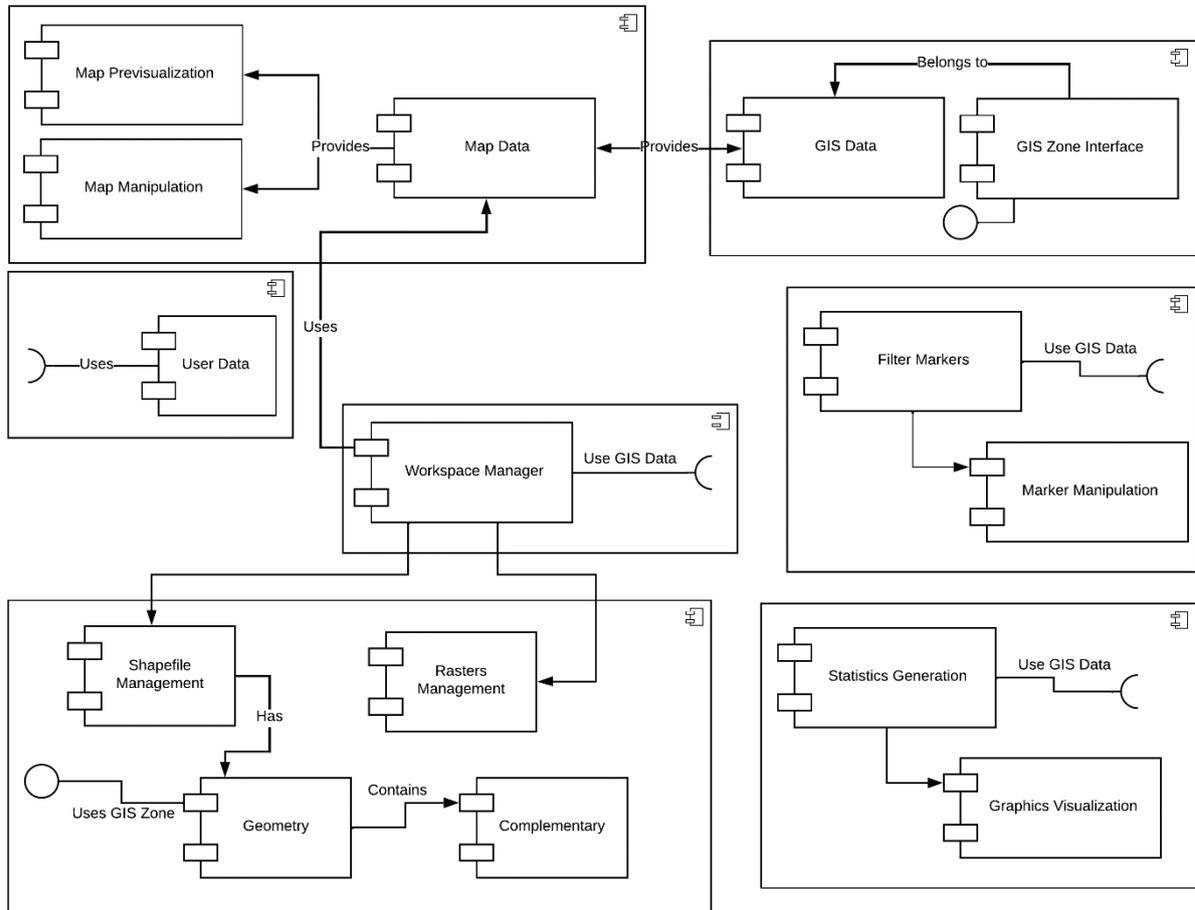


Ilustración 3. Diagrama de Componentes de la Solución (autoría propia)

2.7.2.2 Diagrama de Clases

Representa la estructura de la base de datos del sistema GIS, enfocada en la gestión de shapefiles, rasters y geometrías, junto con la administración de usuarios y permisos, estadísticas, filtros y marcadores de Iguanas.

Diagrama de Clases

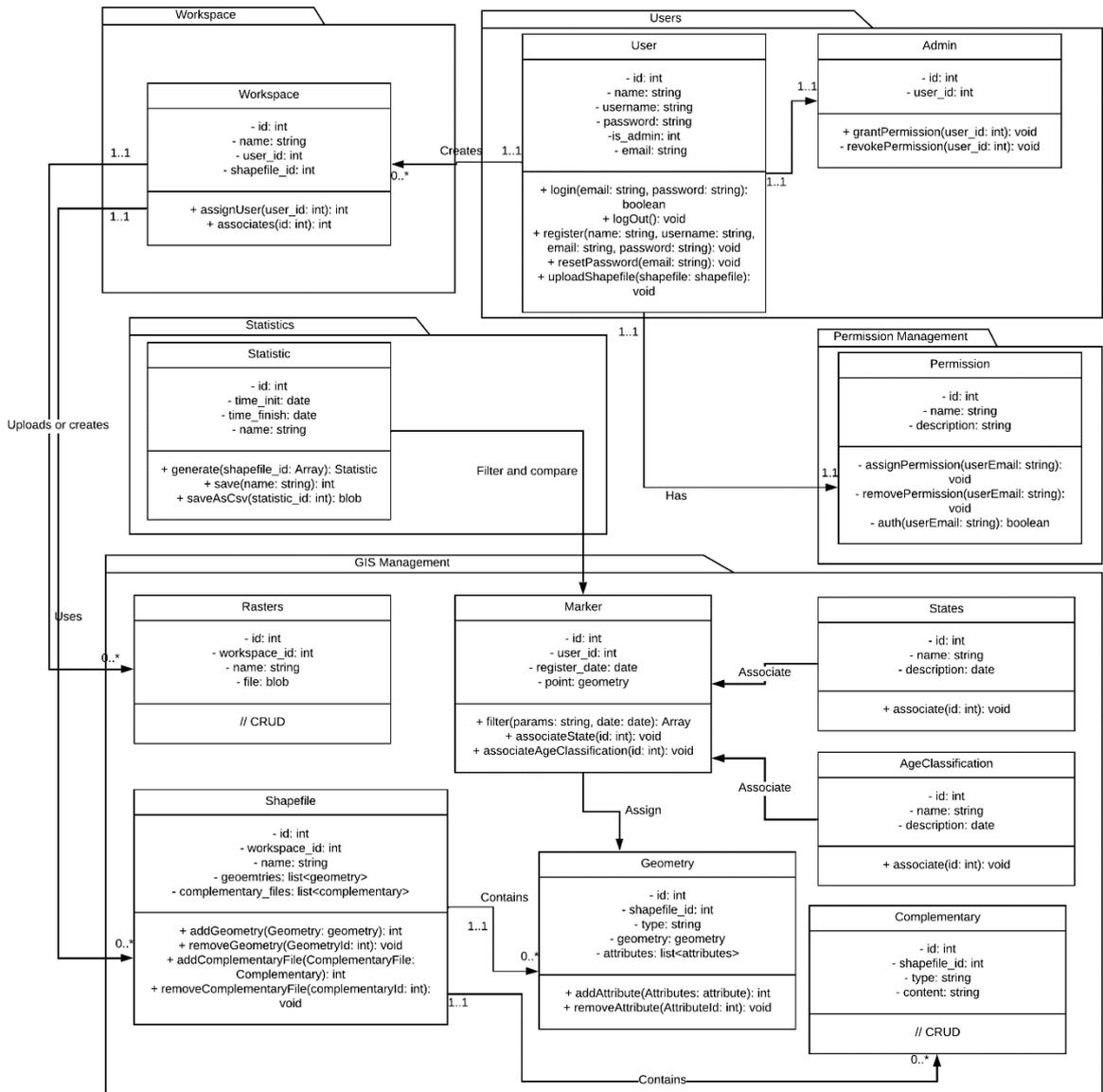


Ilustración 4. Diagrama de Clases de la Solución (autoría propia)

2.7.2.3 Diagrama de Actividades

2.7.2.3.1 Actividad: Subir CSV con datos GIS (coordenadas) de Iguanas

El diagrama muestra el proceso general que sigue un usuario para subir un archivo CSV con datos GIS de iguanas al sistema. Comienza con el usuario iniciando sesión y navegando a la sección de archivos. Después de seleccionar la opción de cargar un CSV, el sistema procesa y valida los datos del archivo. Si todo es correcto, los datos se insertan en la base de datos y el usuario recibe una confirmación de éxito; de lo contrario, se le muestra un mensaje de error. El flujo incluye la validación de datos y el manejo de errores durante la carga del archivo.

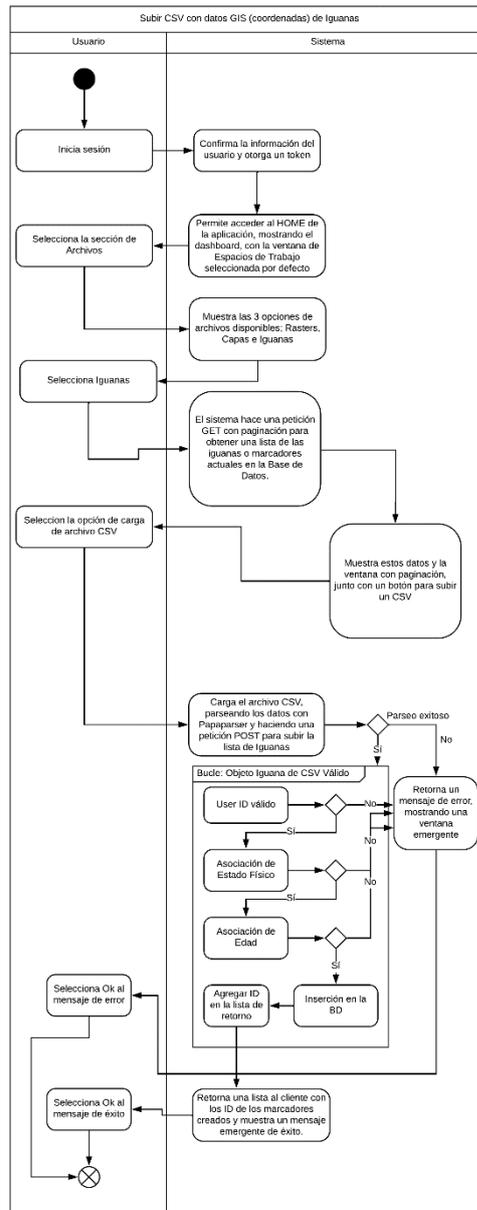


Ilustración 6. Diagrama de actividad para subir CSV con coordenadas de Iguanas (autoría propia)

2.7.2.3.2 Actividad: Filtro de Estado, Edad y Sexo para las Iguanas con la línea temporal

Este diagrama representa el proceso mediante el cual un usuario aplica filtros específicos para visualizar datos de iguanas en función de su estado físico, edad y sexo dentro de un rango de tiempo. El sistema permite al usuario configurar un espacio de trabajo, seleccionar los filtros deseados, y luego visualiza los resultados basados en los criterios seleccionados. El proceso incluye la verificación y carga de los datos necesarios para presentar la información filtrada de manera efectiva en el mapa.

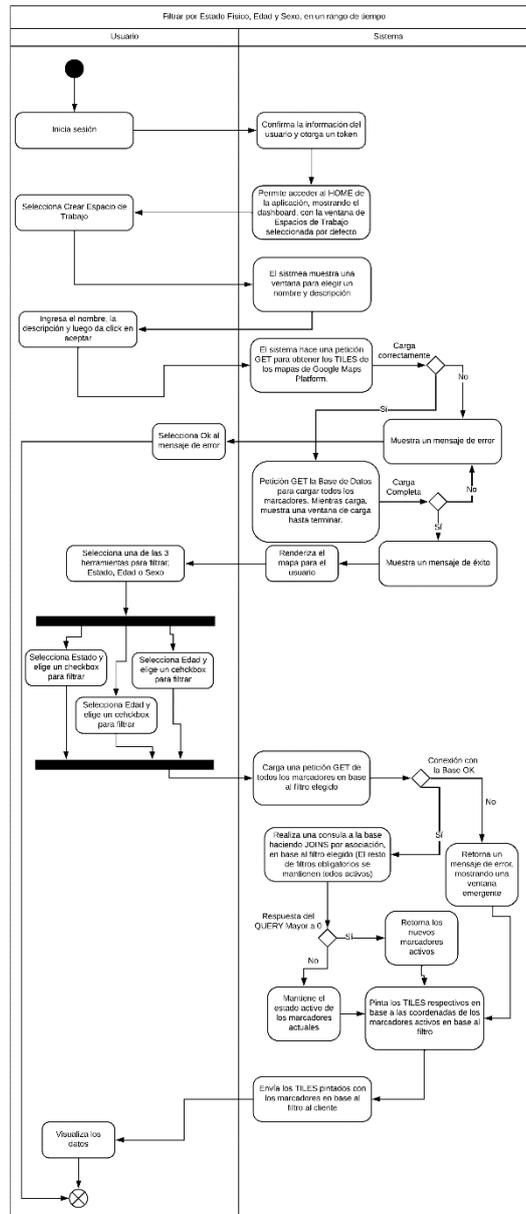


Ilustración 7. Diagrama de actividad para filtrar por estado, edad y sexo en conjunto a la línea temporal (autoría propia)

2.7.2.3.3 Actividad: Generación de estadísticas comparativa por zonas geográficas

Este diagrama representa el proceso de generación de estadísticas comparativas por zonas geográficas en un sistema GIS. El usuario inicia sesión, crea un espacio de trabajo y delimita áreas de interés mediante shapefiles o polígonos. Luego, el sistema procesa estos datos, realiza comparaciones entre las zonas definidas y genera estadísticas visuales basadas en los filtros y criterios seleccionados. El resultado final es

organizados en diferentes módulos que reflejan las principales funcionalidades del sistema.

- **Gestión de Usuarios:**

Registrar, Iniciar Sesión, Cerrar Sesión, Restablecer Contraseña: Los usuarios pueden registrarse, iniciar y cerrar sesión, y restablecer su contraseña, asegurando el acceso seguro y controlado a la plataforma.

- **Gestión de Shapefiles:**

Subir Shapefile, Ver Shapefile, Eliminar Shapefile: Los usuarios pueden cargar, visualizar y eliminar shapefiles, lo que permite gestionar datos vectoriales de manera eficiente dentro del sistema.

- **Gestión de Geometrías:**

Añadir Geometría, Ver Geometría, Eliminar Geometría: Este módulo permite a los usuarios gestionar geometrías específicas dentro de los shapefiles, añadiendo, visualizando y eliminando estas estructuras espaciales según sea necesario.

- **Gestión de Rasters:**

Subir Raster, Ver Raster, Eliminar Raster: Similar a los shapefiles, los usuarios pueden gestionar archivos raster (como imágenes satelitales) mediante la carga, visualización y eliminación de estos archivos dentro del sistema.

Gestión de Mapas:

- **Reorganizar Capas, Crear Geometría, Manipular Línea Temporal, Ocultar Capas, Zoom In/Out, Segmentar Áreas:**

Este módulo proporciona herramientas para la manipulación interactiva de mapas, permitiendo a los usuarios reorganizar capas, crear nuevas geometrías, manejar la línea de tiempo, ocultar capas según sea necesario, aplicar zoom y segmentar áreas de interés para un análisis más detallado.

- **Gestión de Marcadores/Iguanas:**

Filtrar por Sexo, Filtrar por Estado Físico, Filtrar por Edad, Segmentar por Geografía, Analizar Estadística, Filtrar por rangos de Tiempo: Los usuarios pueden aplicar diversos filtros para analizar los marcadores asociados a las iguanas marinas, basados en atributos como sexo, estado físico, edad, y segmentación geográfica. Además, se pueden realizar análisis estadísticos y filtrar la información por rangos de tiempo.

- **Gestión de Estadísticas:**

Generar Estadística, Guardar Estadística en la Base, Exportar Datos en CSV, Comparar Zonas de Estadística, Filtrar por rangos de Tiempo: Este módulo permite la generación, almacenamiento y exportación de estadísticas, así como la comparación de diferentes zonas en función de los datos recolectados y filtrados a lo largo del tiempo.

- **Gestión de Permisos:**

Asignar Permisos, Remover Permisos: Los administradores tienen la capacidad de gestionar los permisos de los usuarios, asignando o removiendo privilegios dentro de la plataforma, lo que asegura que solo los usuarios autorizados puedan realizar ciertas acciones dentro del sistema.

Cada módulo del diagrama representa un conjunto específico de acciones que pueden ser realizadas por los usuarios, con un enfoque particular en la administración de datos geoespaciales y la gestión de la información asociada a la conservación de las Iguanas Marinas. Este diseño asegura que las interacciones con la plataforma sean claras y estén alineadas con los roles y responsabilidades de los usuarios.

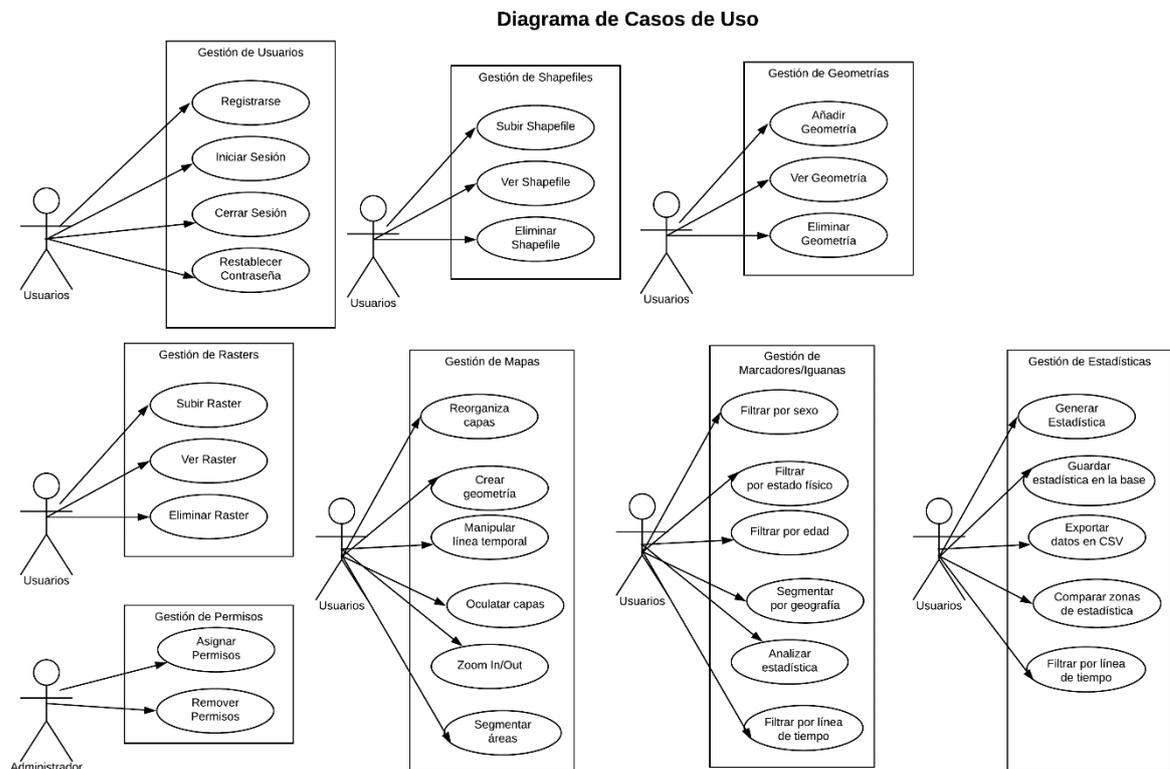


Ilustración 5. Diagrama de Casos de Uso de la Solución (autoría propia)

2.7.2.5 Diagrama de Entidad Relación

Este diagrama de entidad-relación (ER) representa la estructura de la base de datos diseñada para la gestión y visualización de datos espaciales en el proyecto SIG para la conservación de las Iguanas Marinas de Galápagos. La base de datos incluye varias entidades y sus relaciones, orientadas a manejar eficientemente tanto los datos de usuarios como la información geoespacial relevante.

- **GPG_USER:** Esta entidad gestiona la información de los usuarios del sistema, incluyendo detalles como su correo electrónico, nombre, contraseña, roles y estados de cuenta (activa o no).
- **GPG_AUTH:** Relacionada con GPG_USER, esta entidad maneja los tokens de autorización para sesiones de usuario, recuperación de contraseñas y la gestión de permisos, garantizando la seguridad en el acceso al sistema.
- **GPG_WORKSPACE:** Actúa como el espacio de trabajo principal, donde los usuarios pueden organizar y gestionar sus datos geoespaciales. Cada GPG_WORKSPACE está asociado a un usuario y puede contener múltiples archivos, administrados a través de la entidad GPG_WORKSPACE_FILES.
- **GPG_WORKSPACE_FILES:** Esta entidad permite la asociación polimórfica de diferentes tipos de archivos geoespaciales (GPG_SHAPEFILES y GPG_RASTERS) dentro de un espacio de trabajo. Cada archivo puede tener un tipo específico, definido en GPG_FILETYPE.
- **GPG_SHAPEFILES:** Esta entidad almacena datos vectoriales geoespaciales, incluyendo geometrías y propiedades adicionales en formato JSONB, lo que permite una mayor flexibilidad en la representación de atributos espaciales complejos.
- **GPG_RASTERS:** Aquí se almacenan los datos rasterizados, como imágenes satelitales y modelos de elevación, con información sobre el archivo, su tamaño, descripción, y la geometría asociada.
- **GPG_IGUANA:** Representa los marcadores geoespaciales que identifican las ubicaciones de las Iguanas Marinas. Esta entidad se relaciona con GPG_STATE,

que define los estados (e.g., salud, comportamiento) de las iguanas, y con GPG_AGE_CLASSIFICATION, que clasifica a las iguanas según su edad.

- GPG_STATE y GPG_AGE_CLASSIFICATION: Estas entidades complementan la información de las iguanas, permitiendo su clasificación por estado y edad a través de las relaciones con GPG_IGUANA.
- GPG_STATISTICS: Esta entidad almacena estadísticas generadas a partir del análisis de datos geoespaciales. Se relaciona con GPG_SHAPEFILES mediante la tabla intermedia GPG_STATS_SHAPEFILE, lo que permite asociar las estadísticas con zonas geográficas específicas.

La estructura de la base de datos está diseñada para ser escalable y eficiente, facilitando una gestión detallada de los datos espaciales. Esto incluye la capacidad para almacenar y gestionar múltiples tipos de datos geoespaciales, así como la administración de usuarios y permisos, lo que es esencial para controlar el acceso y la manipulación de los recursos dentro de los espacios de trabajo. Esta arquitectura permite una organización coherente y lógica de los datos, optimizando tanto la visualización como el análisis geoespacial para apoyar la conservación de las Iguanas Marinas en las Galápagos.

Diagrama Entidad Relación - Base de Datos

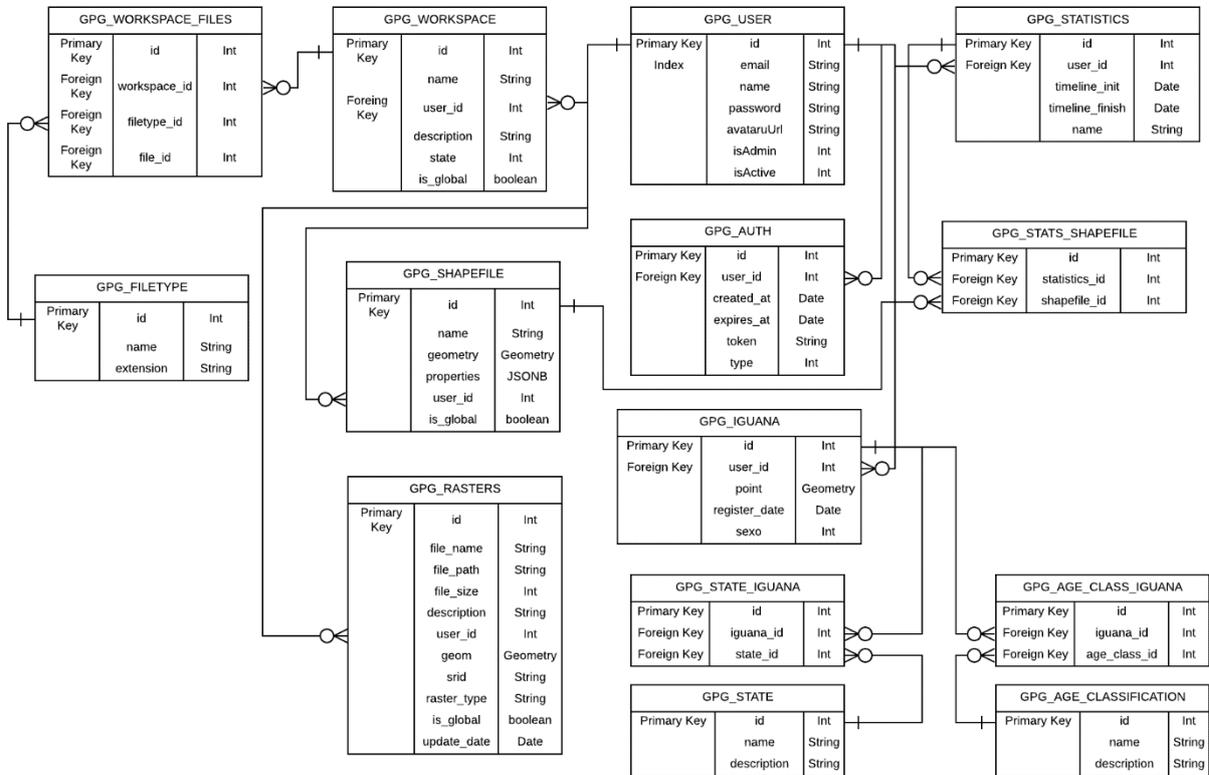


Ilustración 6. Diagrama de Entidad Relación (autoría propia)

2.7.3 Prototipo de la Solución

Con esta información presente, para obtener una visión inicial de las funcionalidades necesarias para el desarrollo del proyecto, se utilizó la herramienta Figma. Figma permite la colaboración en tiempo real, facilitando la interacción y revisión de múltiples usuarios simultáneamente.

2.7.3.1 Visualización de Capas

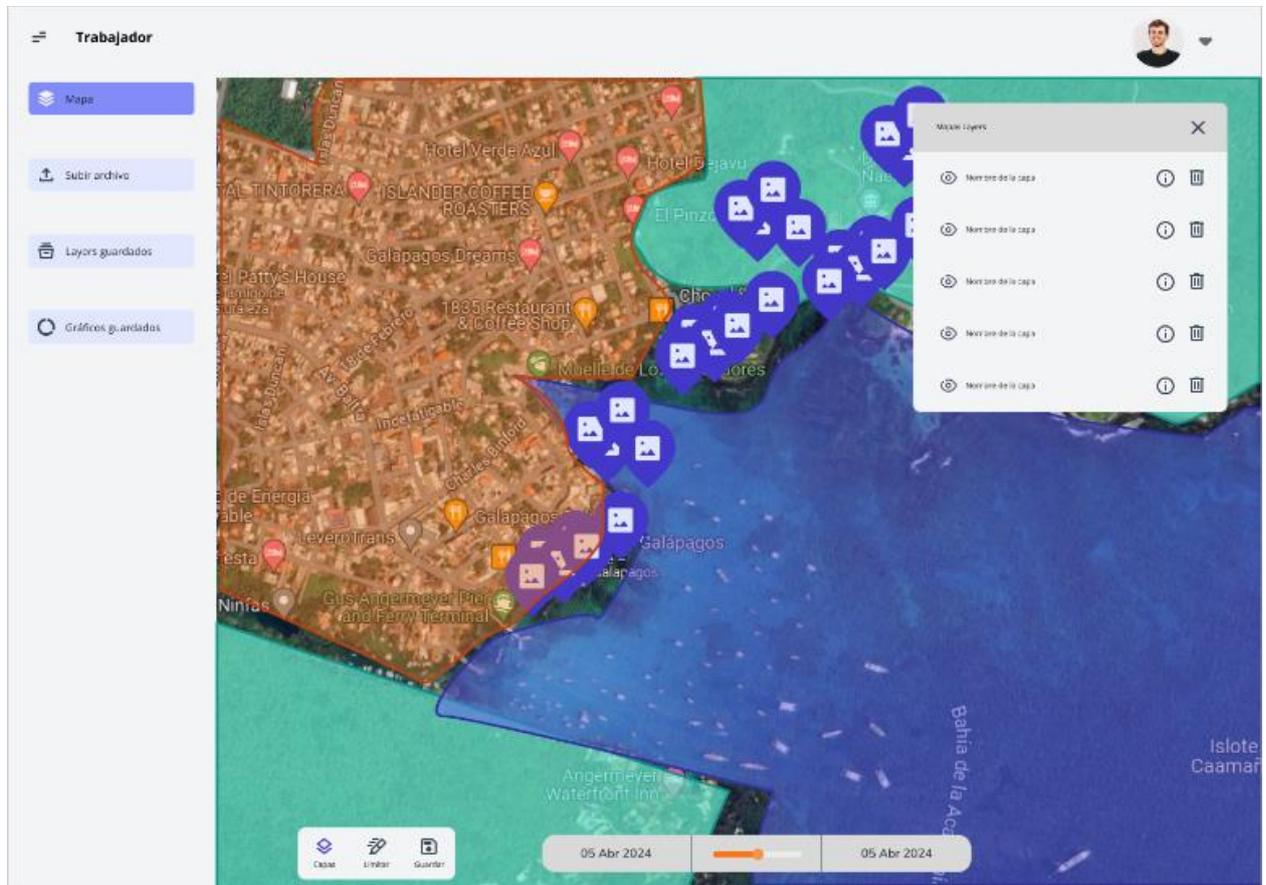


Ilustración 7. Prototipo de Manipulación de Capas (autoría propia)

En la ilustración número 11, en la parte inferior y en la superior derecha se muestran las herramientas tentativas para manejar rasters y las diferentes opciones de manipulación de capas, como activar/desactivar capas, agregar una nueva capa y limitar zonas de interés.

2.7.3.2 Segmentación de Áreas

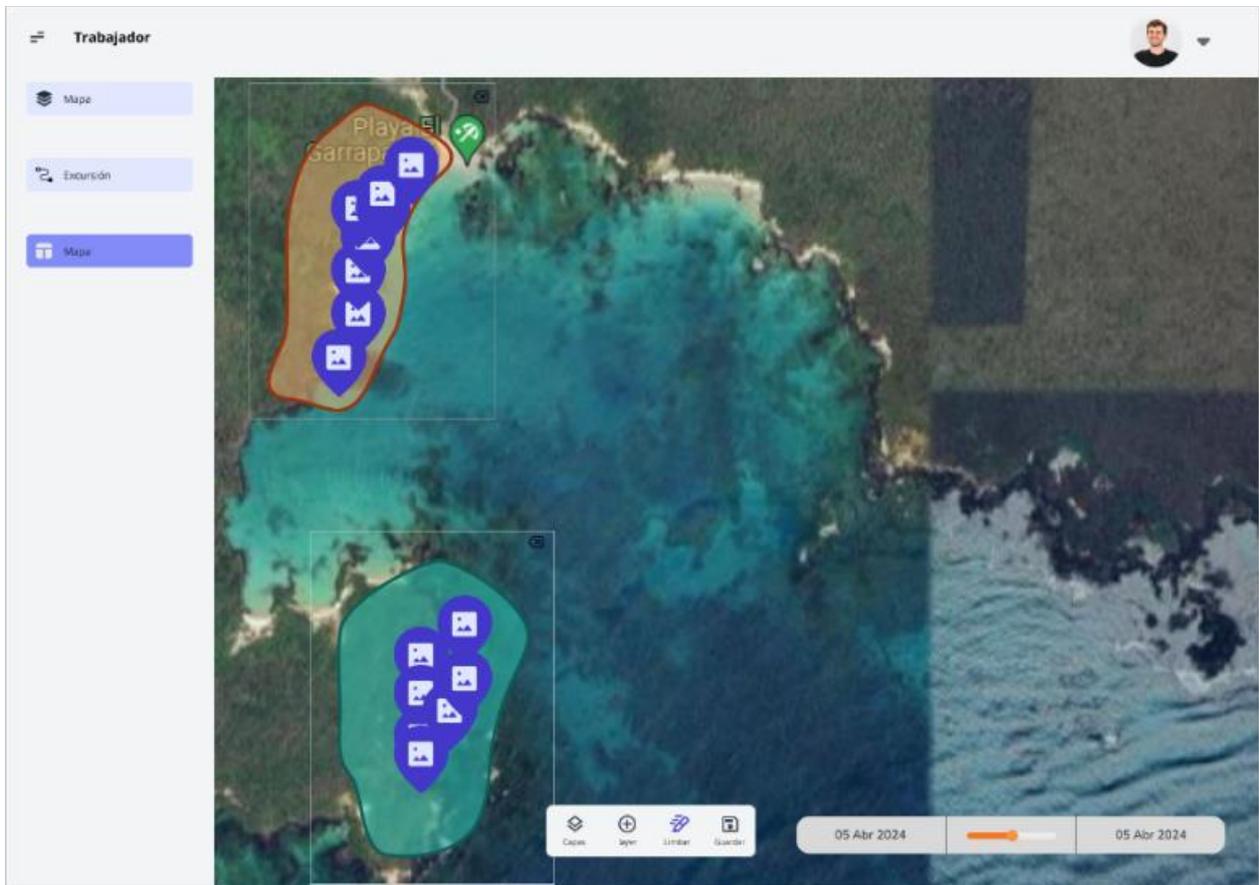


Ilustración 12. Prototipo para delimitar áreas de interés (autoría propia)

En la ilustración número 12 se muestra la segmentación por zonas de interés para un análisis posterior. Todo esto se realizará con la posibilidad de manipular el historial de datos mediante una barra de progreso, también conocida como línea de tiempo.

2.7.3.3 Información Almacenada

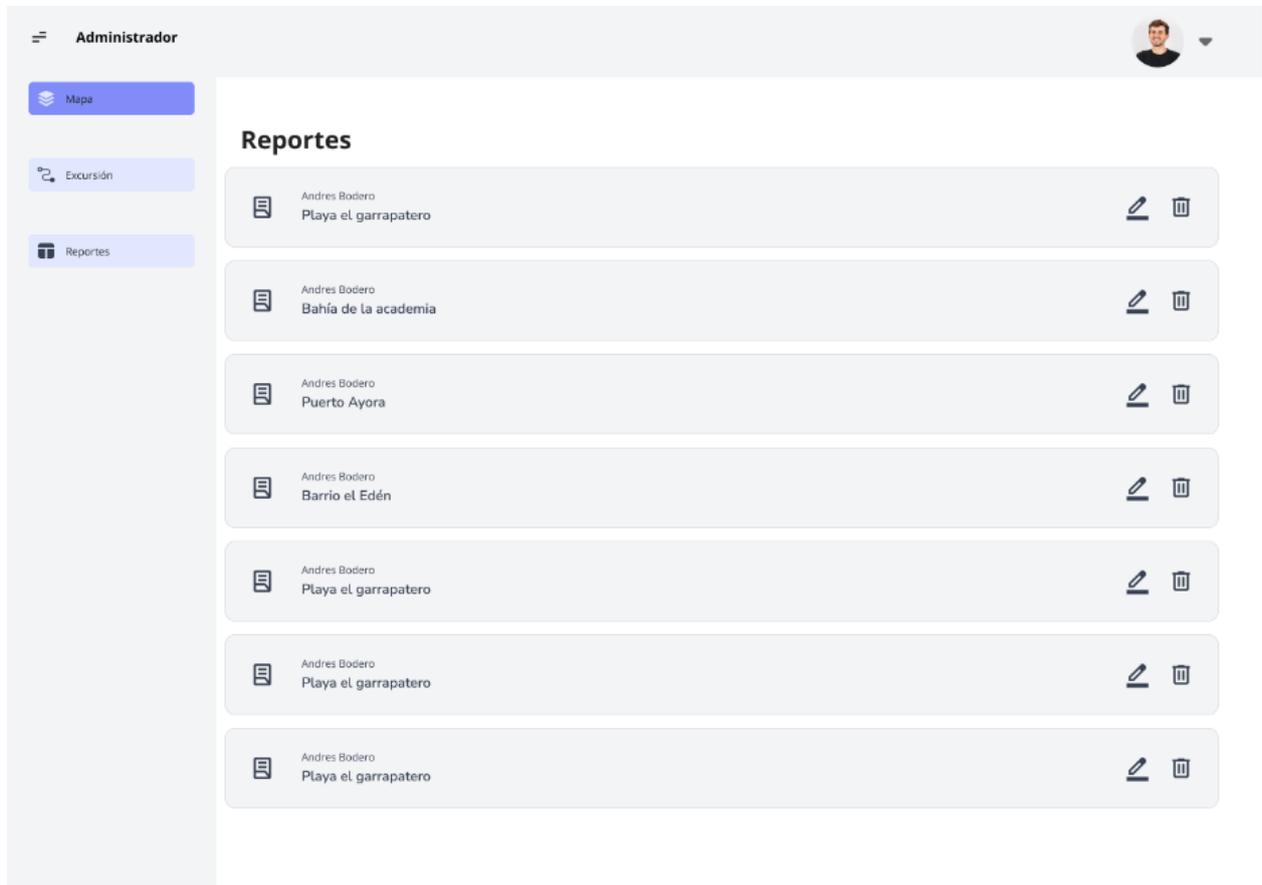


Ilustración 13. Prototipo Histórico de Registros Guardados (autoría propia)

En la ilustración número 13 administrador también tiene la posibilidad de guardar las modificaciones de rasters y shapefiles para tener un registro de eventos importantes, estadísticas, etc.

2.7.3.4 Estadísticas



Ilustración 8. Prototipo para generar estadísticas (autoría propia)

En la ilustración número 14 se muestran las estadísticas disponibles hasta el momento de los datos que el sistema podrá manipular, tales como las edades de las iguanas y su estado

Capítulo 3

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detalla el proceso de evaluación de la aplicación web GIS desarrollada para mejorar la conservación de la Iguana Marina de las Galápagos. El objetivo de estas evaluaciones no solo es medir el rendimiento técnico y la usabilidad de la aplicación, sino también verificar si la plataforma cumple con su propósito fundamental: facilitar a los biólogos marinos y otros investigadores la toma de decisiones informadas y precisas para la conservación de la especie.

3.2 OBJETIVOS DE LAS PRUEBAS Y LAS MÉTRICAS

Cada una de las pruebas planificadas tiene objetivos específicos que se alinean con los desafíos actuales enfrentados por los investigadores del Parque Nacional Galápagos. Se evaluará la aplicación en base a las siguientes métricas:

1. Rendimiento en la carga y manipulación de geometrías geoespaciales: Se medirá el tiempo necesario para cargar y manipular archivos raster y shapefiles.
2. Eficiencia en la integración de vistas y capas: Se evaluará la capacidad de la aplicación para integrar y visualizar múltiples capas de datos geoespaciales de manera efectiva, con un enfoque en la usabilidad y la facilidad de navegación.
3. Precisión en el control de la línea temporal y en la segmentación de áreas: Las pruebas medirán cuán intuitivo y efectivo es el uso de la línea temporal y las herramientas de segmentación de áreas en comparación con los métodos tradicionales.
4. Capacidad de retomar estados guardados y manejo de interacciones previas: Se evaluará la facilidad con la que los usuarios pueden guardar y retomar sus progresos en el análisis, asegurando la continuidad de su trabajo sin pérdida de datos importantes.

La necesidad de estas evaluaciones radica en la importancia crítica de disponer de herramientas tecnológicas que apoyen la conservación de especies en peligro como la Iguana Marina. Las pruebas permitirán identificar no solo si la aplicación funciona correctamente desde un punto de vista técnico, sino si realmente contribuye a mejorar el proceso de conservación. Se busca validar que la plataforma no solo sea funcional, sino que también sea una herramienta esencial en la gestión sostenible de la biodiversidad en las islas galápagos.

3.3 PLANIFICACIÓN

Estas evaluaciones se realizaron entre el 12 y el 16 de agosto, y se estructuraron en una sesión. Los participantes fueron seleccionados en función de su experiencia con plataformas GIS, asegurando una evaluación representativa de usuarios con distintos niveles de competencia.

El perfil de los usuarios de prueba incluye personas con conocimientos básicos sobre plataformas GIS y usuarios generales. Para recopilar retroalimentación, se utilizaron encuestas breves, que permitieron recolectar datos cuantitativos y cualitativos. Estos datos incluyeron tiempos de carga y manipulación, número de errores encontrados, y opiniones detalladas sobre la experiencia de usuario. Durante la semana de pruebas, cada actividad de evaluación tuvo su propia sección de preguntas tomadas por el evaluador durante la evaluación respectiva, asegurando así el ingreso correcto de los resultados críticos de las pruebas. Esta información fue crucial para analizar el rendimiento actual de la aplicación y realizar las correcciones necesarias en futuras versiones.

Al finalizar las pruebas, se llevó a cabo una encuesta final en Google Forms para obtener una retroalimentación global sobre la experiencia de uso de la aplicación, incluyendo comentarios sobre la facilidad de uso, la funcionalidad general y cualquier otra observación que los usuarios consideren relevante. Esta encuesta final permitió consolidar la información recolectada durante las evaluaciones individuales y proporcionar una visión integral del desempeño de la aplicación desde la perspectiva de los usuarios. Los resultados de esta encuesta serán analizados en conjunto con los datos recolectados durante las pruebas para identificar patrones, validar hallazgos previos y definir los próximos pasos en el proceso de mejora continua de la aplicación.

A continuación, se muestra una tabla con la lista de perfiles voluntarios interesados en participar en la semana de pruebas de la aplicación.

Código	Estudios	Perfil
1	Ingeniero	Profesor de ESPOL para Teledetección (Itinerario)
2	Biólogo	Trabajador del Parque Nacional Galápagos
3	Ingeniero	Profesional experto en sistemas GIS (cuenta con una maestría) y más de 10 años de experiencia en sistemas GIS
4	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
5	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
6	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
7	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
8	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
9	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
10	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
11	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
12	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
13	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
14	Estudiante (ESPOL)	Cursa Actualmente la materia Itinerario de Teledetección
15	Diseñadora Gráfica	Usuario general

16	Director Técnico (Fútbol)	Usuario General
17	Ingeniera Mecánica	Usuario con conocimiento general sobre sistemas GIS

Tabla 2. Listado de voluntarios para pruebas

También se presenta la tabla de actividades de evaluación planificadas para ejecutarse durante la semana de pruebas, junto con los datos que se recolectarán en cada actividad.

#	Evaluación	Actividad	Datos Recolectados
1	Facilidad de Navegación	Solicitar a los usuarios navegar por la aplicación y completar tareas comunes	Tiempo para completar las tareas, Feedback sobre la interfaz, Errores cometidos.
2	Identificación de áreas críticas	Evaluar la capacidad de la aplicación para identificar y marcar áreas críticas de conservación	Feedback sobre precisión y facilidad de uso.
3	Controlar Línea temporal	Solicitar a los usuarios que utilicen la línea temporal para visualizar activaciones de marcadores	Eficiencia en el uso de la línea temporal, Feedback sobre la funcionalidad.
4	Rasters: Cargar archivos sin problemas	Solicitar a los usuarios cargar y manipular archivos raster	Tiempos de carga y manipulación, Número de errores encontrados
5	Shapefiles: Generar Geometrías	Solicitar a los usuarios generar geometrías a partir de shapefiles	Precisión en la generación de geometrías, Feedback sobre la facilidad de uso

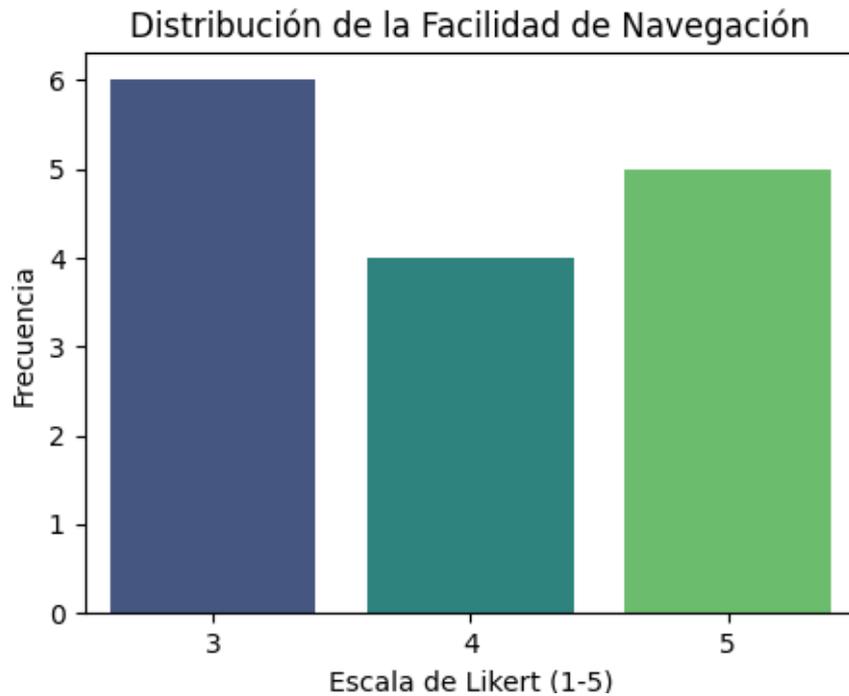
6	Marcadores de Iguanas: Añadir y Trabajar	Solicitar a los usuarios añadir y trabajar con marcadores dentro de la aplicación	Facilidad para añadir y manipular marcadores, Feedback sobre la funcionalidad
7	Estadísticas: Generación Clara y Precisa	Solicitar a los usuarios generar estadísticas basadas en los datos disponibles	Claridad y utilidad de las estadísticas, Feedback sobre la precisión de los datos
8	Comparación de Preguntas Clave	Generar un análisis comparativo de preguntas clave para evaluar la facilidad de navegación y la satisfacción general	Distribución de respuestas en la escala de Likert, Comparación e satisfacción.

Tabla 3. Listado de Actividades para pruebas

3.4 RESULTADO Y ANÁLISIS

3.4.1 Facilidad de Navegación

En cuanto a la facilidad de navegación, los usuarios proporcionaron sus valoraciones en una escala de Likert (donde 1 representa “nada intuitivo” y 5 “muy intuitivo”). Los resultados indican que la mayoría de los usuarios calificaron la navegación como “intuitiva” o “muy intuitiva”, con una concentración notable de respuestas en los niveles 3, 4 y 5. El gráfico de barras a continuación muestra la distribución de las respuestas de esta categoría



**Ilustración 15. Distribución de respuestas respecto a la facilidad de navegación
(autoría propia)**

3.4.2 Identificación de Áreas Críticas

La distribución de las respuestas sobre la Identificación de Áreas Críticas muestra que la mayoría de los usuarios valoran altamente la utilidad de la aplicación en este aspecto, con una concentración significativa en los niveles 4 y 5 de la escala de Likert. Esto indica que la aplicación es percibida como una herramienta efectiva para identificar áreas prioritarias para la conservación de la Iguana Marina, cumpliendo con uno de los objetivos principales de este proyecto. Estos resultados son un indicador positivo del impacto de la herramienta en la toma de decisiones de conservación.

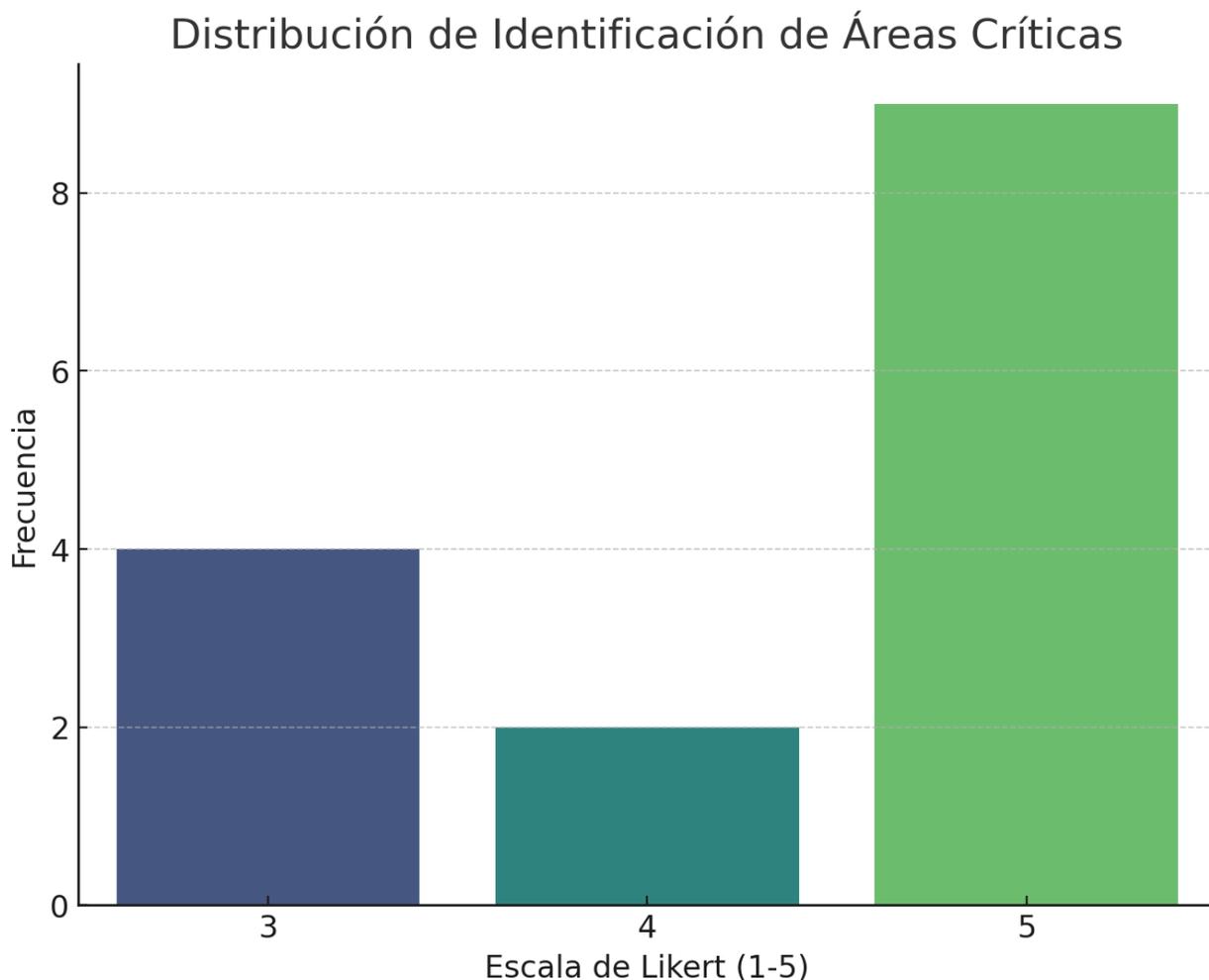


Ilustración 16. Gráfico de barras de la distribución en la Identificación de Áreas Críticas (autoría propia)

3.4.3 Comparación de Preguntas Clave

Para obtener una visión comparativa de las respuestas a distintas preguntas de la escala de Likert, se generó un gráfico de barras apiladas que muestra la frecuencia de las respuestas en las categorías de Facilidad de Navegación y Satisfacción General. La mayoría de las respuestas se concentraron en los niveles 4 y 5, lo que sugiere un nivel general de satisfacción adecuado. Los niveles bajos indican una baja satisfacción general y una poca facilidad de navegación, en cambio, los niveles más altos indican una respuesta más positiva respecto al rendimiento de la aplicación, alta facilidad de navegación y satisfacción general más alta.

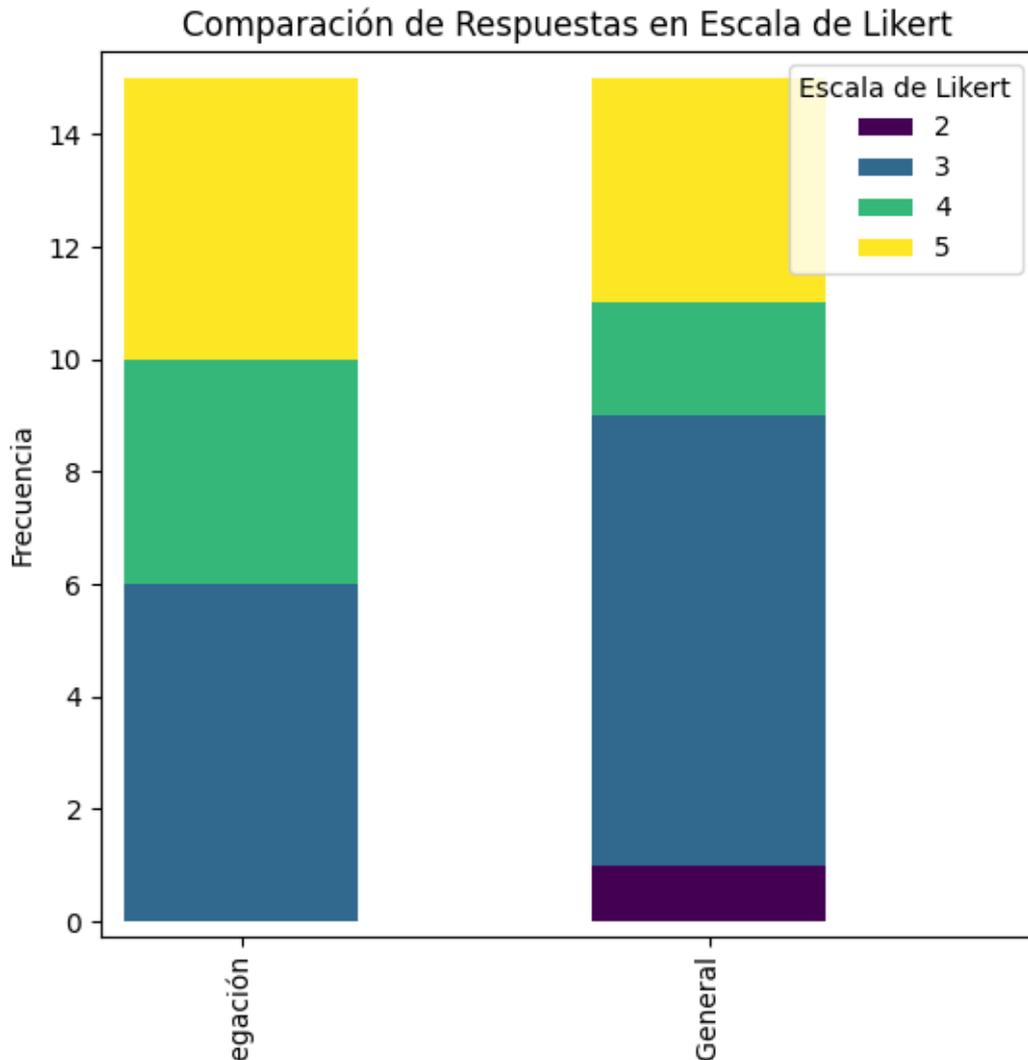


Ilustración 17. Satisfacción General vs Facilidad de Navegación, gráfico de barras apiladas en Escala de Likert (autoría propia)

3.4.4 Línea de Tiempo: Intuitivo

Se realizó una evaluación de la intuitividad de la función de Línea de Tiempo, los resultados indican que la mayoría de los usuarios encontraron esta funcionalidad intuitiva y fácil de usar, lo que es fundamental para la correcta visualización de los datos temporales y la activación de los marcadores a lo largo del tiempo. Este aspecto es crucial para el análisis de tendencias y patrones en los datos geoespaciales, especialmente en el monitoreo de poblaciones de iguanas marinas.

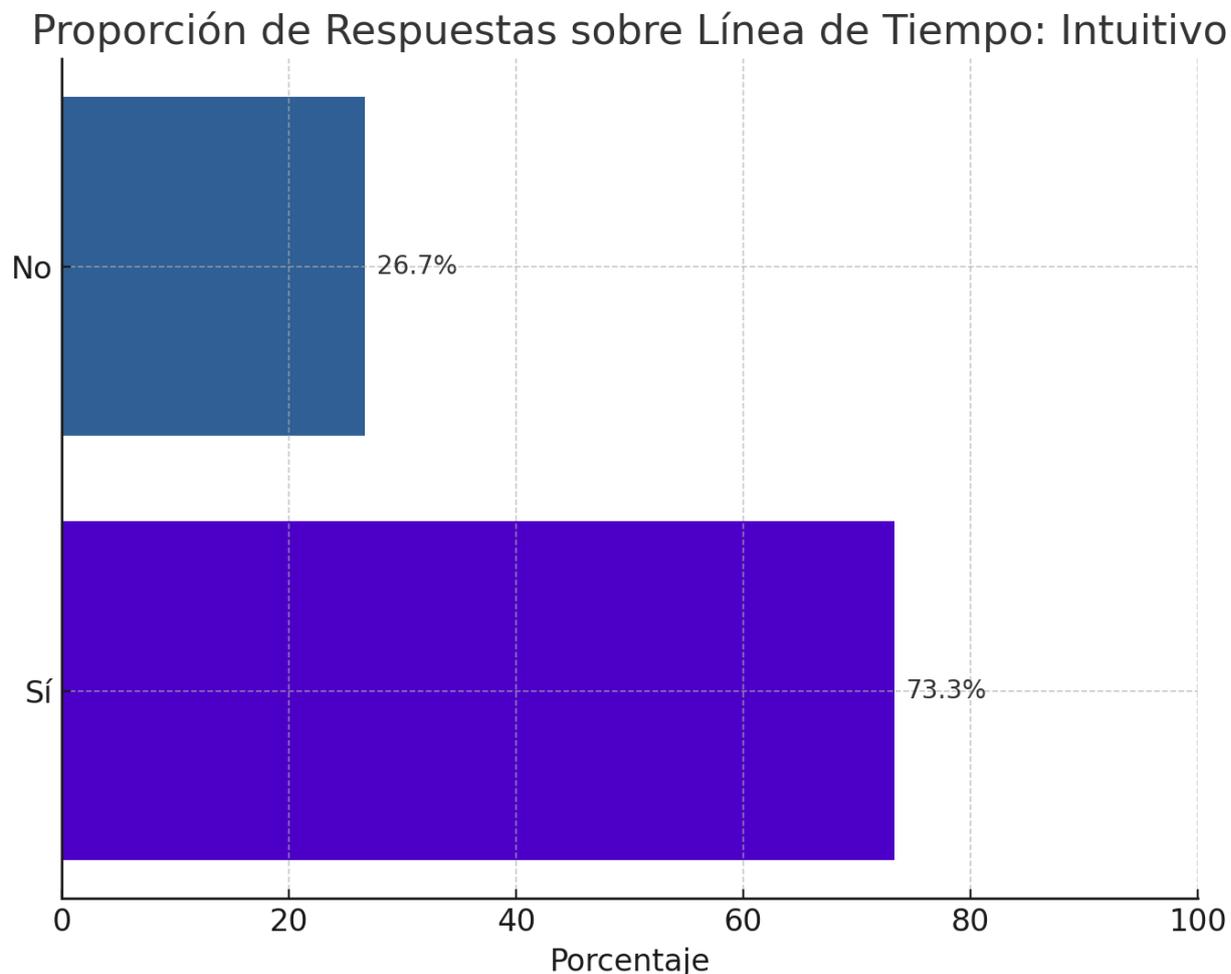


Ilustración 18. Correlación entre experiencia y satisfacción general con el uso de la aplicación (autoría propia)

3.4.5 Rasters: Cargar Archivos sin Problemas

La carga de archivos rasters fue evaluada para verificar su eficiencia y fiabilidad. Los resultados muestran que la mayoría de los usuarios pudieron cargar archivos rasters sin problemas, aunque algunos reportaron casos donde la carga no fue tan fluida como se esperaba. Esto sugiere que, si bien la funcionalidad es sólida, podrían realizarse mejoras adicionales para garantizar una experiencia de usuario más consistente.

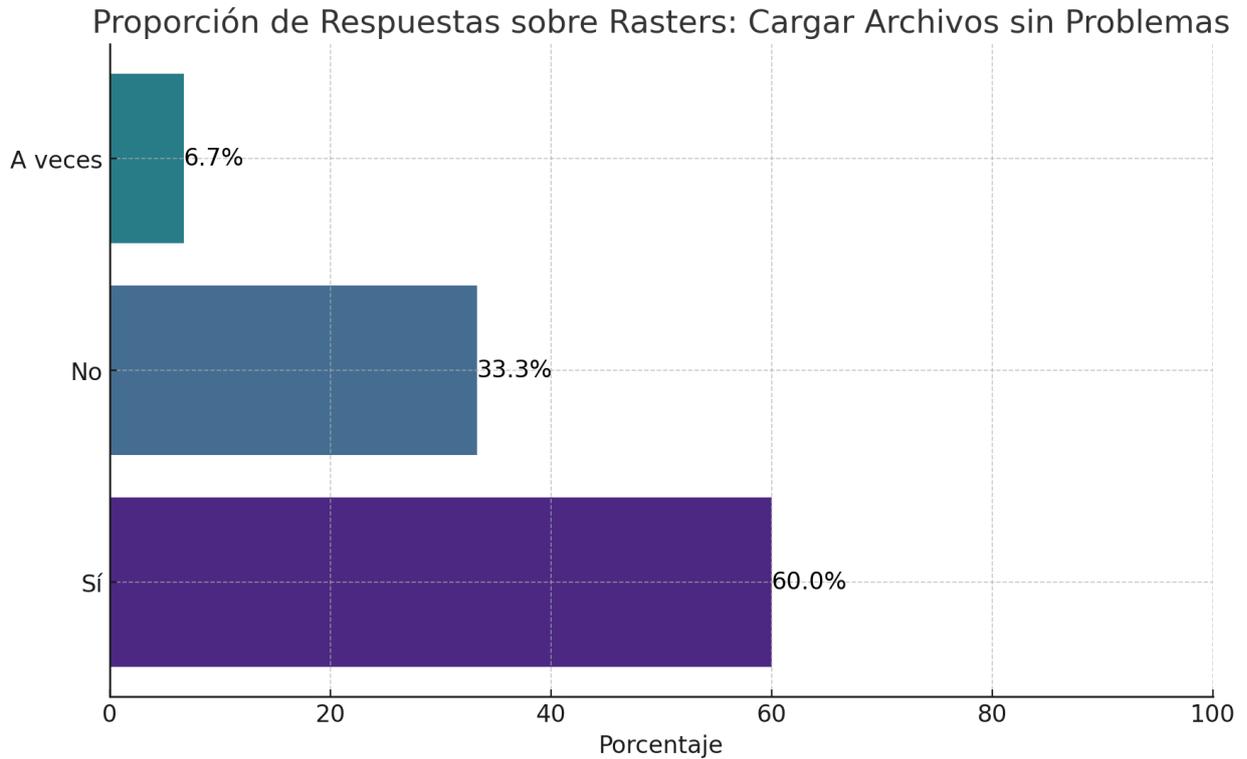


Ilustración 19. Proporción de Carga de Archivos Rasters sin problemas (autoría propia)

3.4.6 Shapefiles: Generar Geometrías

Se llevó a cabo una evaluación sobre la capacidad de la aplicación para generar Geometrías a partir de Shapefiles. Los usuarios en su mayoría lograron generar las geometrías necesarias, aunque algunos indicaron que el proceso podría beneficiarse de una interfaz un poco más intuitiva o de un mayor soporte durante el proceso. Estos hallazgos apuntan a la necesidad de simplificar la experiencia para usuarios con menos experiencia en sistemas GIS.

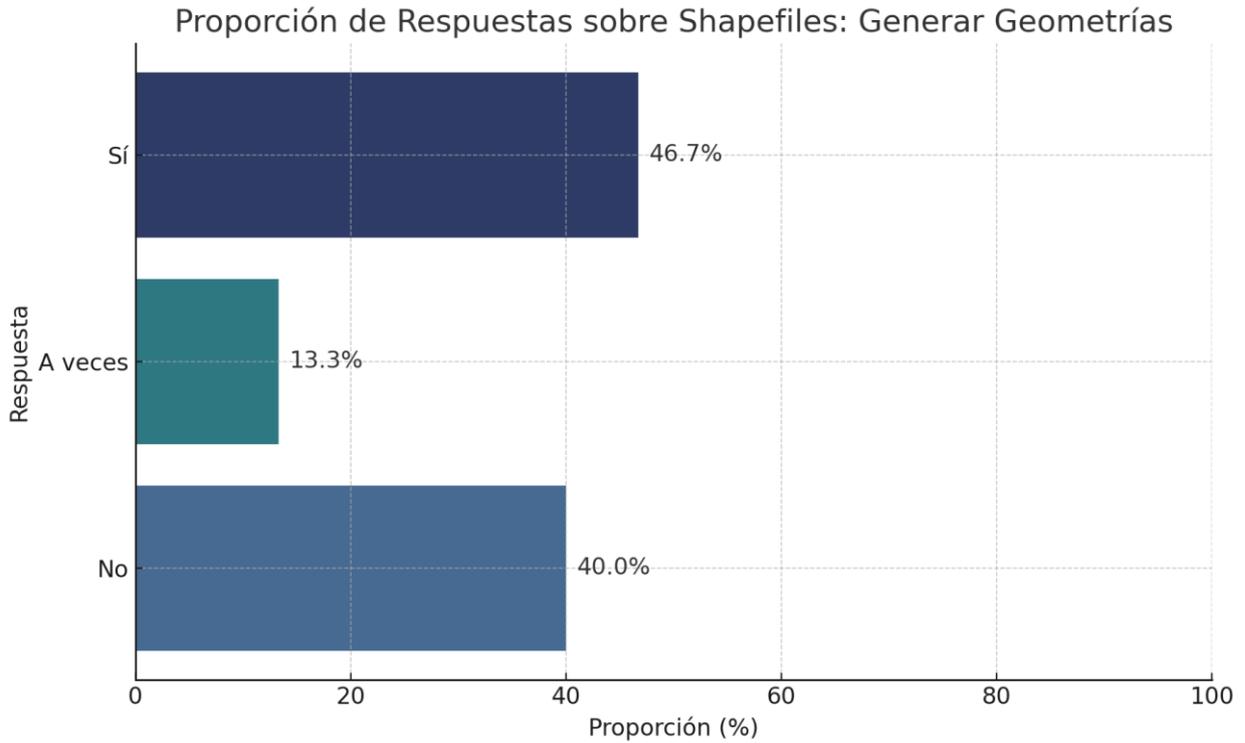


Ilustración 20. Proporción de generación de Geomtrías sin problemas (autoría propia)

3.4.7 Marcadores de Iguanas: Añadir y Trabajar

La funcionalidad de añadir y trabajar con marcadores fue bien recibida por los usuarios, quienes en su mayoría encontraron el proceso sencillo y eficiente. Esta funcionalidad es esencial para el monitoreo de las poblaciones de Iguanas, permitiendo a los biólogos marinos y otros investigadores añadir y manipular marcadores de manera efectiva para el análisis espacial

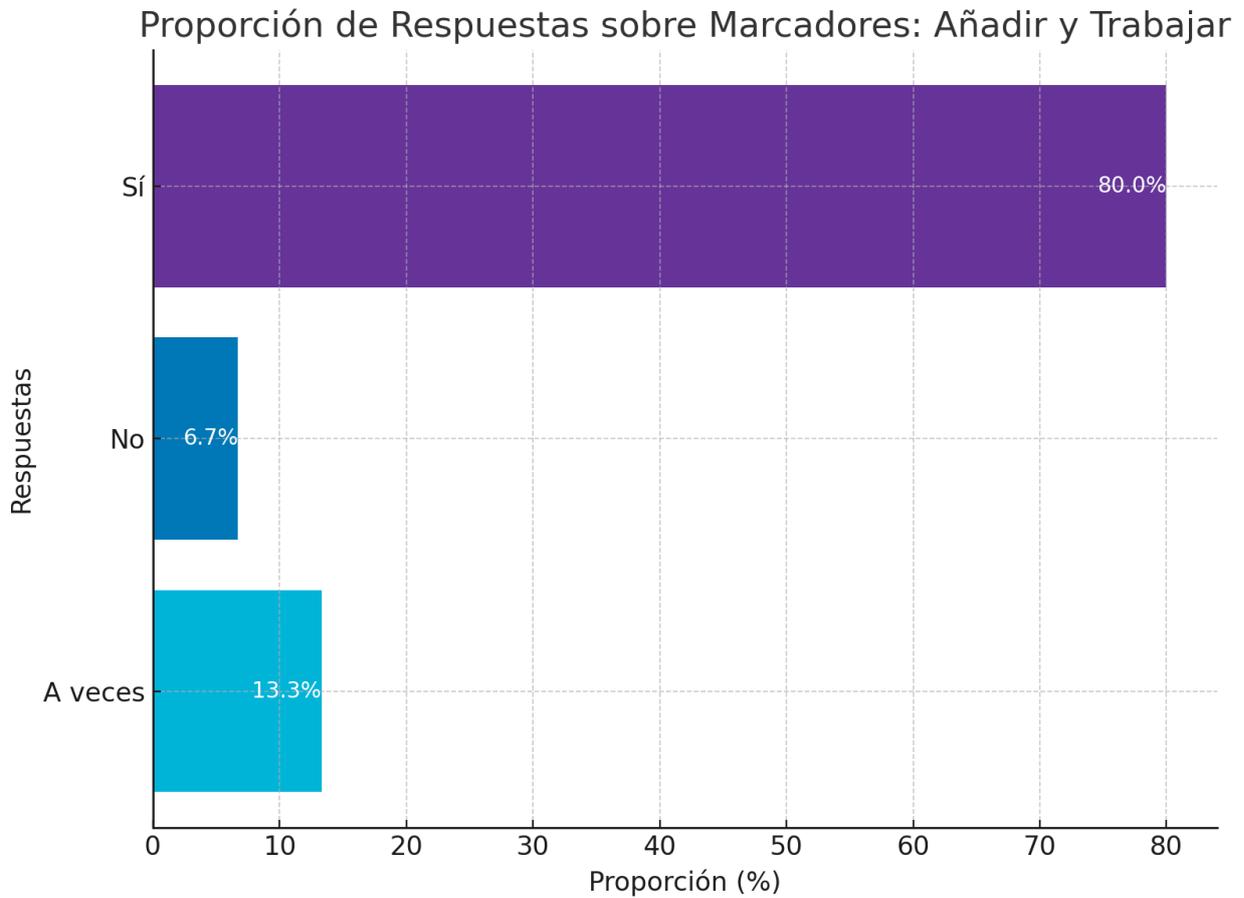


Ilustración 21. Proporción de Añadir y Trabajar con marcadores sin problemas (autoría propia)

3.4.8 Estadísticas: Generación Clara y Precisa

Se evaluó la capacidad de la aplicación para generar estadísticas, de forma clara y precisa. La mayoría de los usuarios confirmaron que las estadísticas generadas cumplían la función de representar los datos en el tiempo para las clasificaciones de Iguanas Marinas, por edad, sexo o estado. Los investigadores tendrán a la mano una potencial herramienta para poder obtener insights visuales, que brindarán información crucial para su análisis y para la toma de decisiones informadas en la conservación de esta especie. Sin embargo, hubo algunas sugerencias sobre la mejora de las estadísticas en casos específicos, por lo que existe una pequeña área de mejora en la representación de los datos.

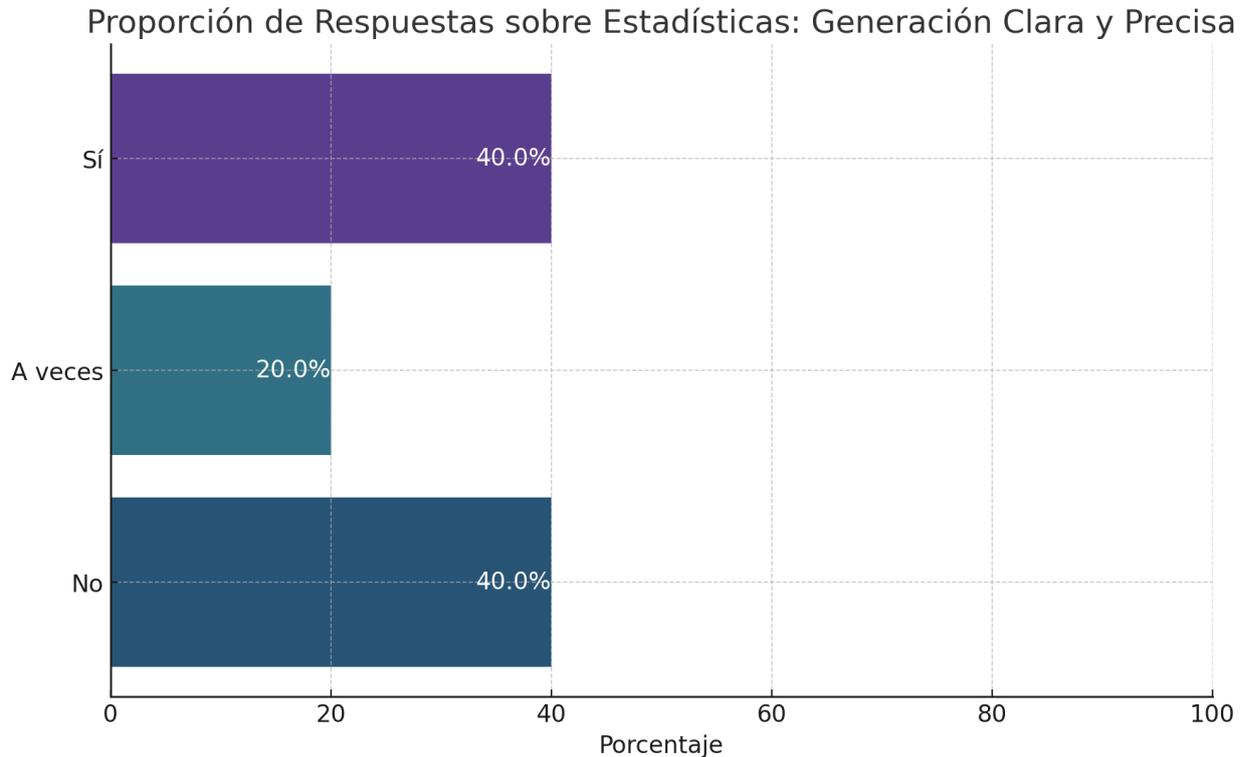


Ilustración 22. Proporción de generación de estadísticas claras y precisas (autoría propia)

3.5 RESUMEN

Se ha detallado el proceso de evaluación de la aplicación web GIS desarrollada para apoyar la conservación de la Iguana Marina de las Galápagos. Con pruebas estructuradas, se midió el rendimiento técnico, la usabilidad y, sobre todo, la aplicación para cumplir su objetivo de facilitar la toma de decisiones informadas por investigadores y biólogos marinos.

Los resultados de las evaluaciones han sido en su mayoría positivos. La aplicación demostró ser una herramienta eficaz para identificar áreas críticas, gestionar datos temporales por la línea de tiempo y generar estadísticas esenciales para analizar las poblaciones de iguanas. Además, la funcionalidad de cargar y manipular archivos raster y shapefiles fue bien recibida, con solo algunos casos de dificultades menores reportadas. Los usuarios también encontraron la navegación y el trabajo con marcadores intuitivos y eficientes, lo que sugiere una interfaz bien diseñada.

Sin embargo, a pesar de los resultados favorables, se identificaron algunas áreas de mejora. La interfaz para la generación de geometrías a partir de shapefiles, aunque

funcional, podría beneficiarse de un diseño más intuitivo y de un soporte adicional para usuarios con menos experiencia en sistemas GIS. Asimismo, aunque la mayoría de las estadísticas generadas fueron claras y útiles, algunos usuarios sugirieron mejoras en la representación de datos en casos específicos, lo que indica que todavía hay margen para optimizar la precisión y claridad de las herramientas estadísticas de la aplicación.

En conclusión, la aplicación web GIS evaluada ha mostrado un desempeño sólido y cumple con su propósito de apoyar la conservación de la Iguana Marina en las Galápagos. Las áreas identificadas para mejoras proporcionan una hoja de ruta clara para futuras versiones, asegurando que la herramienta continúe evolucionando para satisfacer mejor las necesidades de los investigadores y fortalecer su impacto en la conservación de esta especie en peligro.

Capítulo 4

4.1 CONCLUSIONES

La aplicación web GIS desarrollada para apoyar la conservación de la Iguana Marina en las Islas Galápagos ha cumplido con éxito los objetivos planteados. La plataforma ha demostrado ser efectiva para identificar áreas críticas de conservación y gestionar datos temporales, permitiendo un análisis claro y útil para la toma de decisiones en la conservación de esta especie. Los usuarios destacaron la facilidad para navegar por la interfaz y la capacidad de manejar archivos raster y shapefiles, lo que hace que la aplicación sea accesible y útil tanto para expertos como para usuarios menos experimentados en GIS.

No obstante, se identificaron áreas de mejora, como la interfaz de usuario para la generación de geometrías desde shapefiles, que podría beneficiarse de un diseño más intuitivo y soporte adicional. Además, aunque las estadísticas generadas fueron generalmente claras, algunos usuarios sugirieron mejoras en la presentación de los datos para aumentar la precisión en ciertos contextos.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Mejoras en la generación de geometrías a partir de shapefile:

Se sugiere expandir y optimizar las herramientas disponibles para la generación y edición de Shapefiles, añadiendo más opciones avanzadas para que los usuarios puedan trabajar con mayor precisión y versatilidad en la creación de geometrías.

2. Clarificación en la presentación de estadísticas:

Se recomienda revisar y simplificar la presentación de estadísticas en la aplicación, especialmente en pantallas con gran cantidad de datos, para mejorar la usabilidad y evitar confusiones en el análisis.

3. Optimización de la carga y manejo de archivos rasters:

Continuar optimizando la carga y manipulación de archivos raster para asegurar una experiencia de usuario fluida, incluyendo la posibilidad de manejar archivos de gran tamaño sin interrupciones.

4. Expansión de la herramienta para nuevas especies y hábitats:

Evaluar la posibilidad de ampliar las funcionalidades de la plataforma para incluir el monitoreo de otras especies y hábitats, lo que aumentaría el impacto y la aplicabilidad de la herramienta en diversos contextos de conservación.

5. Colaboración con expertos en conservación y ecología:

Fomentar la colaboración continua con expertos en conservación para asegurar que las funcionalidades de la herramienta evolucionen acorde a las necesidades reales del campo, optimizando su utilidad y efectividad.

6. Integración con otras técnicas avanzadas de monitoreo:

Explorar la integración de la aplicación con otras tecnologías de monitoreo como imágenes satelitales y sensores remotos para proporcionar un análisis más integral de los ecosistemas y especies monitoreadas.

Referencias

- [1] iNaturalistEc, «Iguana Marina,» [En línea]. Available: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/35347-Amblyrhynchus-cristatus>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [2] Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), «Marine Iguana,» 1 Dec 2019. [En línea]. Available: <https://www.iucnredlist.org/species/1086/177552193>. [Último acceso: 28 8 2024].
- [3] UICN, «Directrices para la aplicación de las Categorías y Criterios de la Lista Roja de Ecosistemas de UICN,» 2016. [En línea]. Available: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-010-Es.pdf>. [Último acceso: 24 08 2024].
- [4] C. Grenier, «Conservación contra natura,» de *Las Islas Galápagos*, 2002, pp. 103-106.
- [5] Panthera IDS, «Home,» [En línea]. Available: <https://pantheraids.org/index.html>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [6] Esri, «What is GIS?,» [En línea]. Available: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [7] ArcGIS, «Mapping Information Platform Studies Tracker,» [En línea]. Available: <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=6331cc6b45734c4eabfde6102d5fc0b1&extent=-148.9197,13.1588,-46.0876,55.5312>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [8] Esri, «What is data management?,» [En línea]. Available: https://www.esri.com/en-us/capabilities/data-management?srsId=AfmBOoq3lpRQbHD4Uphi0ctdlwtbD4dNitlw-SHUssQuf7_IUTRijN5f. [Último acceso: 28 08 2024].
- [9] M. Gimond, «Intro to GIS and Spatial Analysis,» 15 12 2023. [En línea]. Available: <https://mgimond.github.io/Spatial/introGIS.html#what-is-spatial-analysis>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [1] P. Pedamkar, «Applications of GIS,» 04 07 2023. [En línea]. Available: <https://www.educba.com/applications-of-gis/>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [1] A. M. Muñoz, «Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica,» *CIENCIA Y AMBIENTE*, vol. XII, nº 2, pp. 81-83, 1996.
- [1] MasterGIS, «SIG aplicado a la conservación de la vida silvestre,» 02 03 2021. [En línea]. Available: <https://mastergis.com/blog/sig-aplicado-a-la-conservacion-de-la-vida-silvestre>. [Último acceso: 28 08 2024].

- [1] A. Balova, «What is the link between biodiversity and geospatial intelligence,» 14 03 2023. [En línea]. Available: <https://www.ramboll.com/galago/what-is-the-link-between-biodiversity-and-geospatial-intelligence>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [1] Dian Fossey Gorilla Fund, «Track the Gorillas,» [En línea]. Available: <https://gorillafund.org/learning-fun/track-the-gorillas/>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [1] Global Forest Watch, «Blog,» 19 08 2024. [En línea]. Available: <https://www.globalforestwatch.org/blog/>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [1] eBird, «Ciencia,» [En línea]. Available: <https://science.ebird.org/es-419>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [1] SMART, «¿Qué es SMART?,» [En línea]. Available: <https://smartconservationtools.org/es-es/>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [1] QGIS, «Spatial without Compromise,» [En línea]. Available: <https://www.qgis.org>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [1] ArcGIS, «¿Qué son los datos ráster?,» [En línea]. Available: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>. [Último acceso: 28 08 2024].
- [2] Geoinnova, «Localización de nichos ecológicos de especies con Google Earth Engine,» 29 12 2021. [En línea]. Available: <https://geoinnova.org/blog-territorio/localizacion-de-nichos-ecologicos-de-especies-con-google-earth-engine/>. [Último acceso: 28 08 2024].