

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“ELABORACIÓN DE UNA APLICACIÓN SIG WEB PARA LA CONSULTA DE DATOS DE
MONITOREO FORESTAL Y ASPECTOS FÍSICO-AMBIENTALES EN EL PARQUE NACIONAL
SANTA ROSA, AREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE, COSTA RICA”**

**Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del
Programa de Posgrado en Geografía para optar al grado y título de Maestría Profesional
en Sistemas de Información Geográficas y Teledetección.**

MARÍA NATALIA NAVARRETE FLORES

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2023

Dedicatoria

A mi familia que siempre han estado para apoyarme y motivarme a seguir superando todos mis retos personales y profesionales.

Agradecimientos

A mi familia y seres queridos, por ser mi apoyo y estar ahí para escuchar, aconsejar y motivarme a seguir y superar los retos que se presentaron en este proceso.

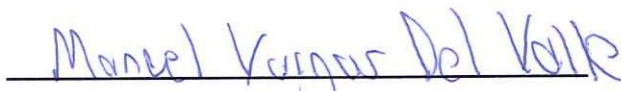
A a mi comité asesor por su valioso tiempo invertido durante del desarrollo de este proyecto. Por estar siempre anuentes a reuniones, solicitudes de requisitos y por todas sus recomendaciones y correcciones.

A los compañeros generación con quienes los términos de bien común y apoyo grupal tuvieron un nuevo significado, he hicieron que el posgrado fuera una gran oportunidad no solo profesional, si no también personal. Gracias por todo lo lindos momentos vivido, los buenos recuerdos y todo el aprendizaje obtenido con ustedes.

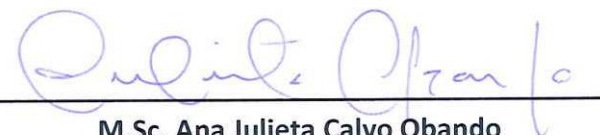
“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Posgrado en Geografía de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Sistemas de Información Geográficas y Teledetección”.



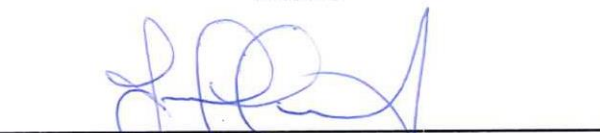
M.Sc. Luis Guillermo Artavia Rodríguez
Representante de la Decana Sistema de Estudios de Posgrado



M.Sc. Manuel Vargas del Valle
Profesor Guía



M.Sc. Ana Julieta Calvo Obando
Lectora



PhD. Julio Calvo Alvarado
Lector



M.Sc. Rubén Martínez Barbachamo
Representante del Director Programa de Posgrado en geografía



María Natalia Navarrete Flores
Sustentante

Tabla de contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Hola de aprobación	iv
Tabla de contenido	v
Resumen	vii
Lista de tablas	viii
Lista de figuras	ix
Lista de abreviaturas	x
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Introducción al tema.....	1
1.2. Justificación del tema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Delimitaciones	4
1.5. Alcances del proyecto	5
1.6. Limitaciones	7
Capítulo 2. Marco Conceptual	8
2.1. Desarrollo de los sistemas de información geográfica	8
2.2. Bases de datos geográficas.....	9
2.3. Normalización de las bases de datos.....	10
2.4. Modelos y diseño de las bases de datos	12
2.3. Sistemas gestores de bases de datos	14
2.4. Servidores geoespaciales y GeoServer	16
2.5. Funcionalidad de las aplicaciones SIG WEB	17
Capítulo 3. Metodología	20
3.1. Tipo de investigación	20

3.2. Instrumentos e insumos	21
3.3. Operacionalización de las variables.	22
3.4. Procedimientos metodológicos.....	23
3.4.1. Diseñar e implementar las bases de datos de información de mediciones forestales del Parque Nacional Santa Rosa y cartografía del Área de Conservación Guanacaste, mediante el sistema gestor de base de datos PostgreSQL/PostGIS. ..	23
3.4.2. Realizar la publicación WEB de las bases de datos provenientes PostgreSQL por medio del geoservidor web de código abierto GeoServer.	36
3.4.3. Crear una aplicación SIG WEB para la consulta y disposición de información tabular de mediciones forestales e información geoespacial del Área de Conservación Guanacaste.	37
Capítulo 4. Resultados	46
4.1. Diseñar e implementar las bases de datos de información de mediciones forestales del Parque Nacional Santa Rosa y cartografía del Área de Conservación Guanacaste, mediante el sistema gestor de base de datos PostgreSQL/PostGIS.	46
4.2. Realizar la publicación WEB de las bases de datos provenientes PostgreSQL por medio del geoservidor web de código abierto GeoServer.....	52
4.3. Crear una aplicación SIG WEB para la consulta y disposición de información tabular de mediciones forestales e información geoespacial del Área de Conservación Guanacaste.	56
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.....	59
5.1. Conclusiones	59
5.2. Recomendaciones.....	61
Referencias bibliográficas	63
Anexos	65

Resumen

El fin de estudio del presente proyecto fue el de apoyar al Proyecto de Monitoreo Forestal de Tecnológico de Costa Rica mediante el desarrollo de una aplicación SIG WEB que facilite el acceso a datos de mediciones forestales correspondientes a parcelas en estudio dentro del Parque Nacional Santa Rosa (PNSR); así como, el poder consultar información cartográfica de características físicas o ambientales del Área de Conservación Guanacaste (ACG).

La posibilidad de trabajar con información proveniente del PNSR dentro del ACG, es de gran relevancia, ya que este sitio además de ser patrimonio de la humanidad conserva la principal mancha de bosque tropical seco de Mesoamérica, conectado a su vez con bosques húmedos, nubosos y lluviosos. Este lugar conserva diversidad de hábitats marino-costeros, por lo que posee una riqueza biológica importante. Adicionalmente, en el Parque se encuentran algunos de los paisajes geológicos más antiguos de Costa Rica, que emergieron del mar hace más de 85 millones de años.

Para una gestión eficiente de los datos y adecuada incorporación de estos dentro de la aplicación SIG WEB, se debió diseñar una base de datos (BD) que a su vez fue administrada mediante el Sistema Gestor de Base de Datos PostgreSQL. El servidor geo - espaciales Geo - Server permitió la publicación WEB de la información proveniente de PostgreSQL, esta publicación de los datos es esencial para su incorporación dentro de la aplicación. Para efectuar propiamente la aplicación, se requirió del uso de archivos con extensiones HTML, JavaScript y CSS, estos archivos se utilizan, respectivamente, para establecer los elementos dentro de la aplicación, definir estilos y añadir características dinámicas e interactiva a los elementos de la página web. Asimismo, preciso el uso de bibliotecas o complementos, tal es el caso de la biblioteca Leaflet, la cual permite el desarrollo de mapas interactivos.

Lista de tablas

Tabla 1 Operacionalización de las variables.....	22
Tabla 2 Relaciones entre entidades y su cardinalidad.....	27
Tabla 3 Descripción de los atributos de cada entidad de la base de datos.....	48

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.....	5
Figura 2. Modelo Entidad Relación (MER) de la BDG.....	28
Figura 3. Creación de entidades y atributos.....	31
Figura 4. Creación de entidades.....	32
Figura 5. Creación de relación entre entidades.....	32
Figura 6. Visualización del mapa interactivo usando la biblioteca Leaflet.....	42
Figura 7. Uso del complemento Mini mapa de la biblioteca Leaflet.....	43
Figura 8. Diseño de la Aplicación SIG WEB para el monitoreo Forestal.....	45
Figura 9. Reestructuración de los datos para la aplicación SIG WEB.....	47
Figura 10. Diseño físico de la base de datos.....	49
Figura 11. Visualización de los principales elementos de la BD en PostgreSQL.....	50
Figura 12. Visualización del resultado de la consulta para los primero 20 registros de la entidad de especies ordenados según el género.....	52
Figura 13. Visualización de la capas almacenadas en GeoServer	53
Figura 14. Atributos resultantes de la vista SQL para unión de las entidades.	54
Figura 15. Previsualización en formato OpenLayers de la Entidad Sectores del ACG.	55
Figura 16. Simbología de las entidades geográficas.....	56
Figura 17. Visualización aplicación SIG WEB.	57

Lista de abreviaturas

ACG: Área de Conservación Guanacaste.

ASP: Área Silvestre Protegida.

BD: Bases de Datos.

CSS: Cascading Style Sheets.

CSW: Catalog Service for the Web

FN: Forma Normal.

1FN: Primera Forma Normal.

2FN: Segunda Forma Normal.

3FN: Tercera Forma Normal.

FNBC: Norma Normal de Boyce-Codd

4FN: Cuarta Forma Normal.

5FN: Quinta Forma Normal.

GPKG: GeoPackage

HTML: HyperText Markup Language.

HTTP: Hypertext Transfer Protocol

JS: JavaScript.

ME: Modelo Relacional.

MER: Modelo Entidad Relación.

SGBD: Sistema Gestor de Bases de Datos.

SIG: Sistema de Información Geográfica.

OGC: Open Geospatial Consortium

PNSR: Parque Nacional Santa Rosa.

TEC: Tecnológico de Costa Rica.

WGS84: World Geodetic System of 1984.

SLD: Styled Layer Descriptor.

SQL: Structured Query Language.

WCS: Web Coverage Service.

WFS: Web Feature Service.

WMS: Web Map Service.

WPS: Web Processing Service.

WMTS : Web Map Tile Service.

Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción al tema

Desde la existencia de la vida humana, esta ha sido influenciada por diferentes aspectos o circunstancias que la han llevado a su progreso constante. Sin duda alguna son los avances tecnológicos los que en las últimas décadas se han convertido en un factor determinante de la evolución de la vida humana. Estas tecnologías innovan día con día, e influyen en la forma como el ser humano realiza las actividades cotidianas y cómo este se desarrolla y percibe su ambiente.

En estos avances tecnológicos, el manejo de la información cumple un papel trascendental, sobre todo cuando se requiere para una adecuada toma de decisiones. Cuando las decisiones tienen un carácter ambiental cobran aún más relevancia, principalmente considerando que el estado de la biodiversidad del planeta es vulnerable, especialmente para aquellas acciones humanas que deterioran el entorno ambiental en el que se encuentran. En países como Costa Rica, las áreas protegidas cumplen un rol importante de conservación. Esto se debe a que en un territorio relativamente pequeño con un área continental de 51 085 Km², se acoge a más del 4% de la biodiversidad mundial de especies de flora y fauna, esto hace que sea considerado un país megadiverso. (Gámez et al., 2021)

De este modo, el país ha intentado salvaguardar su gran biodiversidad con un sistema de áreas protegidas, las cuales resguardan cerca del 25% del territorio nacional (Vargas, G. 2009). Dentro de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) se encuentran diversas categorías de manejo. Entre las categorías de manejo se encuentran la de Parque Nacional y entre los Parque Nacionales encontramos propiamente el Parque Nacional Santa Rosa (PNSR), el cual forma parte del Área de Conservación Guanacaste (ACG). EL

ACG es de gran importancia ya que se le considera la cuna de recuperación del Bosque Seco Tropical a nivel de Mesoamérica; además, este sitio es el único lugar en el mundo donde se encuentra una población natural de *Ate leía herbert-smithii* , una planta biológicamente muy particular debido a que es una de las pocas leguminosas del mundo que es polinizada por el viento. (Área de Conservación Guanacaste, 2022)

Motivo de los aspectos anteriores, se puede considerar la importancia de diversos proyectos o estudios cuyo objetivo es el aporte a la producción del conocimiento para la gestión de las áreas protegidas, como fuentes de gran valor para la conservación de la biodiversidad mundial. El impacto positivo que estos estudios puede verse acrecentado con la ayuda de las tecnologías emergentes, que día con día, agilizan y potencian operaciones como la obtención, análisis y publicación de la información.

1.2. Justificación del tema

La información es uno de los recursos más preciados que un individuo u organización puede tener; sin embargo, es común encontrar como muchas instituciones, empresas, organizaciones o investigadores poseen gran cantidad de información, que, a pesar de estar relacionada entre sí, tiene una incorrecta estructuración, administración y poca o nula estandarización. Lo anterior ocasiona que la información adquirida no se aproveche de manera eficiente e incluso parte de ella se pueda perder. En un mundo donde cada vez es más necesario contar con información constante, fiable y comprensible para la toma de decisiones este tipo de problemas es altamente perjudicial.

La posibilidad de trabajar con información proveniente del PNSR dentro del ACG, es de gran relevancia, ya que este sitio además de ser patrimonio de la humanidad conserva la principal mancha de bosque tropical seco de Mesoamérica, conectado a su vez con bosques húmedos, nubosos y lluviosos. Este lugar conserva diversidad de hábitats

marino-costeros, por lo que posee una riqueza biológica importante. Adicionalmente, en el Parque se encuentran algunos de los paisajes geológicos más antiguos de Costa Rica, que emergieron del mar hace más de 85 millones de años. (SINAC, s.f.)

El poder ligar datos tabulares al componente espacial es cada vez más indispensable, debido a que se permite un análisis y entendimiento completo de gran cantidad de variables con su entorno. No obstante, el proceso se convierte en muchas ocasiones en un verdadero reto, debido a la magnitud de los datos. La búsqueda de la estandarización de datos, el poder relacionar Bases de Datos (BD) alfanuméricas con las geográficas por medio de Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD) como PostgreSQL y desarrollar una aplicación web donde el usuario pueda consultar dichos datos, se ha convertido en el reto de esta investigación. Así mismo, se pretende desarrollar este proyecto utilizando software libre, ya que cada vez se constituye cómo son una herramienta valiosa para el manejo de datos, conservando una adecuada o muy buena calidad en su desempeño y reduciendo gastos económicos, que, en ocasiones sobrepasan las probabilidades de muchos usuarios. El poder optimizar de esta manera los datos puede permitir de manera positiva la toma de decisiones más acertadas y un mayor desarrollo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar una aplicación SIG WEB que facilite el acceso de datos de mediciones forestales en el periodo comprendido entre los años 2015 al 2018, de parcelas con una hectárea de extensión, en el Parque Nacional Santa Rosa; y, así mismo, facilite la consulta de información de características físicas o ambientales del Área de Conservación Guanacaste.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar e implementar las bases de datos de información de mediciones forestales del Parque Nacional Santa Rosa y cartografía del Área de Conservación Guanacaste, mediante el sistema gestor de base de datos PostgreSQL/PostGIS.
- Realizar la publicación WEB de las bases de datos provenientes de PostgreSQL por medio del geo servidor web de código abierto GeoServer.
- Crear una aplicación SIG WEB para la consulta y disposición de información tabular de mediciones forestales e información geoespacial del Área de Conservación Guanacaste.

1.4. Delimitaciones

El presente proyecto considera como delimitación espacial los datos cartográficos de clima, suelo, geología, zonas de vida, senderos, vegetación y sectores del ACG en donde se encuentra inmerso el PNSR (figura 1).

A su vez, el presente trabajo contempla únicamente los datos correspondientes a dos de las parcelas del Proyecto de Monitoreo Forestal del Instituto Tecnológico Costarricense (TEC), las cuales se encuentran dentro del PNSR. Estas parcelas comparten características semejantes, como la extensión de una hectárea, división de subparcelas preestablecida con anterioridad, observaciones constantes de los individuos presentes en la misma, y cada una corresponde a un estadio vegetativo según las características propias de la vegetación presente en las mismas, ya sea temprano o tardío. Asimismo, se contemplan exclusivamente los datos de mediciones forestales de las observaciones hechas para cada individuo, en el periodo comprendido entre el año 2013 al 2018.

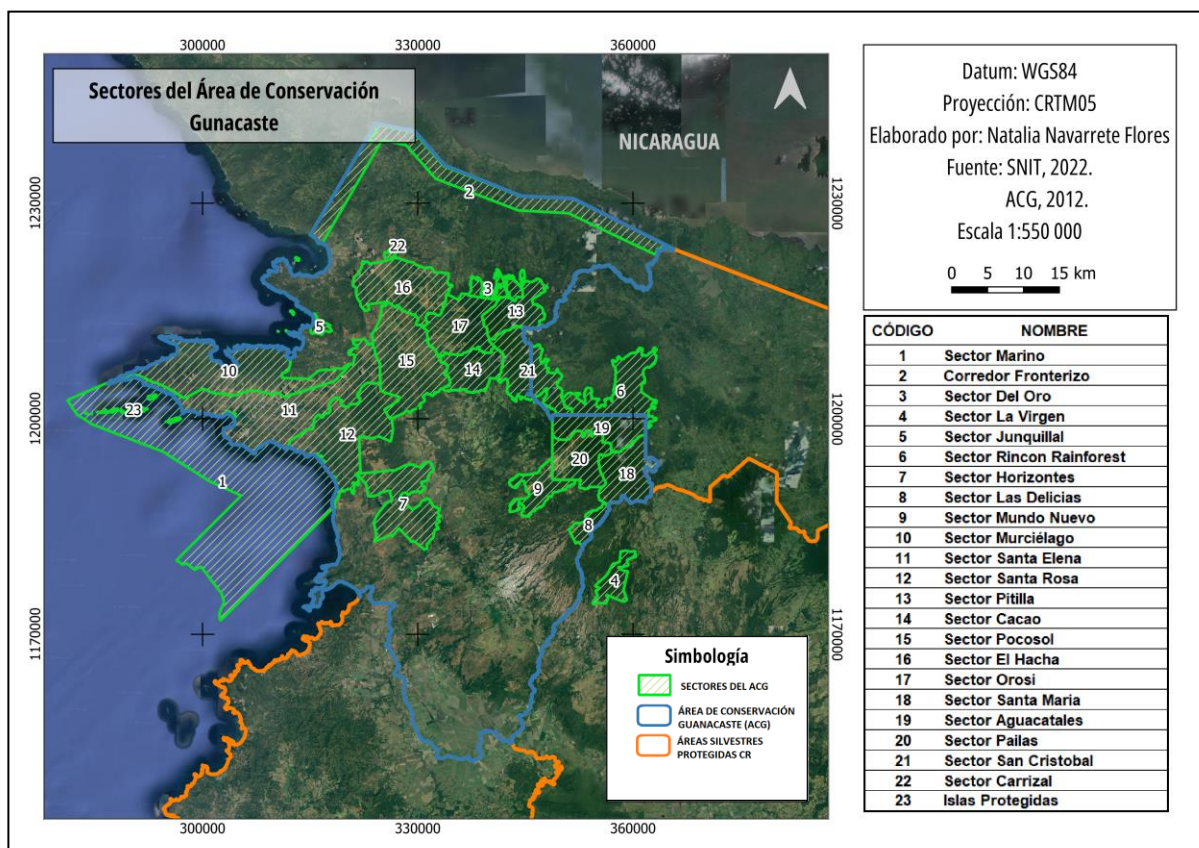


Figura 1. Área de estudio, Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica.

1.5. Alcances del proyecto

El desarrollo de la aplicación SIG WEB crea una herramienta cuyo propósito es colaborar a la gestión eficiente de la información del proyecto de monitoreo forestal, permitiendo el acceso a datos actualizados a los miembros del equipo de trabajo. Además, la aplicación permite realizar un análisis primario de la información espacial ya que permite visualizar la capa de información categorizada según su principal atributo, si el usuario requiere de un análisis más complejo, la aplicación brinda el enlace de conexión

a los servicios Web Feature Service (WFS) y Web Map Service (WMS), para acceder a la totalidad de los atributos de la capa geográfica desde software como QGIS. Al mismo tiempo, la información de las observaciones de monitoreo forestal tiene la opción de descargar la totalidad de los datos o bien se puede hacer uso de una serie de condicionantes que ayudan a filtrar la información que el usuario requiere. Ambas opciones se pueden exportar en formato Excel.

La estructura de la BD está diseñada para una fácil incorporación de los nuevos datos por parte del administrador, sin tener la necesidad de poseer un amplio conocimiento en programación o similar. Asimismo, la BD se diseñaron de tal forma que permita una eficiente actualización y mantenimiento de estas, ya que la totalidad de los datos se encuentran estandarizados y/o normalizados, reduciendo de esta manera los posibles errores al introducir información, así como la redundancia de datos.

Si bien el presente proyecto abarca dos de las parcelas en estudio en el PNSR, la estructura de la BD está considerada para permitir la incorporación posteriormente de la información de las demás parcelas o información cartográfica que los usuarios consideren conveniente incluir de acuerdo con las necesidades del equipo de trabajo del Proyecto de Monitoreo Forestal.

El uso de herramientas, software o aplicaciones de código abierto y/o con carácter gratuito, fue un factor determinante en el desarrollo del presente proyecto, ya que corrobora la posibilidad de desarrollar una aplicación SIG WEB exitosa usando exclusivamente herramientas con estas características. De igual modo, se considera que lo anterior influye en una considerable reducción de los posibles costos económicos al desarrollar un proyecto de esta índole, ya que no se requiere pagar licencias o equipo especializado para el uso de las herramientas.

1.6. Limitaciones

El Proyecto de Monitoreo Forestal del TEC contempla varias parcelas según el estadio vegetativo y las dimensiones de las parcelas. Cada una de las parcelas posee observaciones para sus individuos, la cantidad de observaciones se incrementa cada año. Estos datos requieren ser revisados antes de ser incorporados en la BD, con el fin que estos se ajusten a la estructura propuesta. A su vez, se revisa que no posea incoherencias como celdas combinadas, datos incompletos, erróneos o faltantes. Este proceso de revisión conlleva un tiempo prudencial, por lo que el presente proyecto contempla únicamente las observaciones comprendidas entre el año 2013 al año 2018, para dos de las parcelas en estudio.

Una de las principales limitantes, fue el de desarrollar cada uno de los diferentes procesos para la gestión de la información y desarrollo la aplicación SIG WEB con herramientas de código abierto y/o acceso gratuito, para garantizar el acceso de los usuarios y facilitar su mantenimiento. Algunas de las herramientas que se utilizaron en el presente proyecto son Visual Studio Code, QGIS, PostgreSQL y GeoServer.

Otra limitante fue el tener que instalar, almacenar y procesar todo se hizo a nivel local, en otras palabras, la computadora donde se desarrollan las diferentes etapas funcionó como almacén o servidor local. Lo anterior debido a que el Proyecto de Monitoreo Forestal no cuenta con servidores propios y para acceder a uno se debe hacer la tramitología correspondiente ante las entidades pertinentes dentro del TEC.

Capítulo 2. Marco Conceptual

Para mayor comprensión se designa este capítulo a la compilación de una serie de conceptos relevantes sobre las temáticas por tratar en el desarrollo del presente proyecto.

2.1. Desarrollo de los sistemas de información geográfica

Si bien los Sistemas de Información Geográficos (SIG) se dieron a conocer a partir de los años 80's su origen ronda los años 60's. Esto se debe principalmente a la aparición de los primeros computadores, así como a la creciente necesidad de información geográfica y la optimización en su gestión y uso. Las primeras experiencias relacionadas a los SIG se dan en el año de 1959, cuando Waldo Tobler define los principios de un sistema denominado MIMO (MAP in–MAP out), donde se establece los principios básicos para la creación de datos geográficos, su codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado; de este modo, se inicia a asociar el uso de los ordenadores al campo de la cartografía. (Olaya, 2020)

El primer SIG formalmente desarrollado aparece en Canadá (Canadian Geographic Information System), desarrollado en los años 70's con el objeto de gestionar los bosques y superficies marginales de Canadá. Para entonces ya se trabajaban los datos con estructuras rásters y vectoriales para generar cartografía; del mismo modo, se logró realizar una variedad de análisis como estudios sobre volumen maderable, pistas de extracción, informes de explotación para la administración forestal del país, entre otros. (Domínguez, 2000)

Los SIG han evolucionado a través del tiempo hasta convertirse en un método o técnica de tratamiento de la información geográfica que permite analizar información de manera eficiente y obtener información derivada. Es importante considerar que un SIG

puede comprender diversas fuentes de información, conjunto de herramientas informáticas (hardware y software) e incluso el personal o técnico responsable de su implantación y desarrollo. Cada uno de sus componentes cumplen un papel determinado dentro del SIG, el cual se caracteriza fundamentalmente por su naturaleza integradora, ya que permite realizar la captura, almacenamiento, manejo, análisis, modelización y presentación de diversidad de datos referenciados espacialmente. (Domínguez, 2000)

Actualmente, con los avances tecnológicos especialmente en los SIG, estos dejan de ser sistemas simples y pasan a ser plataformas adaptables con la capacidad de solucionar necesidades particulares; por ende, los SIG logran ser una herramienta base en gran variedad de disciplinas (Olaya, 2014). Asimismo, las características de potencialidad y la versatilidad de los SIG hacen que estos cumplan un papel de extrema relevancia en la resolución de problemas complejos de planificación y gestión.

2.2. Bases de datos geográficas

Las Bases de Datos (BD) son un elemento fundamental en el entorno informático, aplicado a un sinnúmero de disciplinas o áreas de aplicación en las que exista una necesidad de gestionar datos. Una BD puede ser entendida como un conjunto de datos numéricos, alfanuméricos o espaciales, estructurados y almacenados de forma sistemática con objeto de facilitar su posterior utilización. (Olaya, 2014)

La importancia de trabajar con BD radica en aspectos como el poder contar con una mayor protección de la información, ya que el acceso a los datos se realiza de manera centralizada, a la vez que existe una sincronización de las modificaciones. Otra de las ventajas de una debida gestión de las BD es el de reducir la redundancia, dando un mayor valor informativo del dato; a su vez, la información se encuentra almacenada en una única estancia, lo que reduce el volumen de datos y aumenta la rapidez de acceso.

Con un adecuado manejo de las BD es posible una mayor eficiencia en la captura, codificación, reutilización y entrada de datos, a la vez que se acrecienta la coherencia y calidad de los datos. (Olaya, 2014)

Además, las BD son manipuladas en diversos campos del conocimiento, entre ellos la geografía; específicamente, se han desarrollado Base de Datos Geográfica (BDG) o Geo data base. La elaboración de una BDG conlleva la abstracción del complejo mundo real a una representación simplificada, que pueda ser interpretada por las computadoras y permita trabajar con la información espacial de manera rápida y sencilla (Radilla, F. 2008). Un BDG es una base de datos que almacena toda la información relativa a un conjunto de entidades espaciales como: geometría, topología, identificadores, datos temáticos, entre otros. Estos términos y tipos de bases de datos han experimentado en los últimos años una mayor expansión en el mundo de los SIG. Sin embargo, la incorporación de información espacial a los registros de las BD presenta una complejidad adicional que requiere de nuevos planteamientos para poder seguir trabajando de una forma similar a como sucede cuando se trabaja con los datos habituales. (Olaya, 2020)

2.3. Normalización de las bases de datos

La normalización es el proceso de organizar los datos de una BD, se crean tablas para cada entidad y se establecen las relaciones entre ellas según reglas diseñadas. Este proceso tiene como objetivo la protección de los datos, haciendo que la BD sea más flexible al eliminar la redundancia, las ambigüedades, anomalías en operaciones de modificación de datos y las dependencias incoherentes. La normalización permite la transformación de las vistas de usuario y almacén de datos complejas a estructuras más pequeñas y estables.

El proceso de normalización de BD se realiza al aplicar una serie de formas normales (FN). Las FN corresponden a una teoría de normalización iniciada por Edgar Frank Codd y continuada por otros autores (entre los que destacan Boyce y Fagin). En 1970 se define la primera forma normal, desde ese momento aparecieron la segunda, tercera, la Boyce-Codd, la cuarta y la quinta forma normal (Sánchez, 2004). Una FN corresponde propiamente a las reglas que sirven para ayudar a los diseñadores a desarrollar un esquema que minimice los problemas de lógica. Conforme aumenta el número de la FN, aumenta el nivel restrictivo, siempre tomando en cuenta las restricciones de la FN anterior, por ejemplo, la quinta forma normal cumple todas las FN anteriores; por tanto, una tabla puede encontrarse en primera forma normal y no en segunda forma normal, pero no al contrario.

Para aplicar la primera forma normal (1FN) inicialmente se eliminan todos los campos o atributos repetidos, en segundo, se asegura la atomicidad de los campos, en caso de existir atomicidad, se evalúa la creación de una nueva tabla, en tercer, cada tabla debe tener una llave primaria, y cuarto, se asegura una dependencia funcional respecto a la llave primaria (Mendoza & López, 2018).

La segunda forma normal (2FN) inicialmente establece que deben cumplir con la 1FN, al mismo tiempo, todas las dependencias parciales (aquellos datos que no dependen de la clave de la tabla para identificarlos) se deben eliminar y separar dentro de sus propias tablas (Mendoza & López, 2018). Al cumplirse esta FN se puede disfrutar de algunas de las ventajas de las bases de datos relacionales, como el poder añadir nuevas columnas a una determinada tabla sin afectar las demás tablas, lo mismo aplica para las otras tablas. Al alcanzar este nivel de normalización, se permite que los datos se acomoden de una manera natural dentro de los límites esperados y se han resuelto la mayoría de los problemas de lógica.

En la tercera forma normal (3FN) además de cumplir con la 2FN, no deben existir dependencias transitivas, lo quiere decir que ningún campo debe depender de un campo no llave y el valor de esta columna debe depender de la clave (Mendoza & López, 2018). Al cumplir con esta FN se tendrá más flexibilidad y se prevenirán los errores de lógica cuando se insertan o borran registros. Cada columna en la tabla está identificada de manera única por la clave, y no hay datos repetidos. De esta manera, se proporciona un esquema limpio y refinado, que es fácil de trabajar y expandir. Usualmente el proceso de normalización se realiza hasta esta FN.

La Forma Normal de Boyce-Codd (FNBC) igualmente se debe cumplir con la FN anterior, así como cumplir que todo determinante debe ser una clave candidata. En esta FN se debe tener cuidado al descomponer ya que se podría perder información por una mala descomposición. En la Cuarta Forma Normal (4FN) se cumple con la FNBC, además, toda dependencia multivaluada es una dependencia funcional, en otras palabras, las dependencias multivaluadas independientes deben ser correctas y eficientemente representadas en un diseño de base de datos. En la Quinta Forma Normal (5FN) se eliminan la redundancia en BD relacionales que registran hechos de valores múltiples al aislar relaciones múltiples relacionadas semánticamente. Es considerada la más compleja y polémica de las FN, ya que no está claro en muchas ocasiones que sea una solución mejor que el no llegar a este nivel de normalización. No obstante, es poco común encontrarse este tipo de problemas cuando la normalización llega a 4FN. (Sánchez, 2004)

2.4. Modelos y diseño de las bases de datos

Para una adecuada gestión de la BD es crucial un adecuado diseño de esta, y se logra al desarrollar un modelo. El fin del modelado es el de realizar una abstracción de las BD para facilitar el aprovechamiento y optimizar el almacenamiento para obtener el mejor

rendimiento en las consultas. El modelo de datos más habitual es el de las bases de datos jerárquicas, bases de datos en red, bases de datos relacionales o bases de datos orientadas a objetos, a continuación, se describe brevemente cada uno de ellos:

Primeramente, tenemos el modelo de BD jerárquicas, en el cual los datos se aglomeran mediante una estructura basada en nodos interconectados. Cada nodo puede tener un único padre y cero, uno o varios hijos que dependen de su padre. Este modelo presenta algunas deficiencias, principalmente la escasa independencia de sus registros, redundancia de datos, complejidad para almacenar o modificar los datos. Por otro lado, el modelo de BD en red soluciona los problemas de redundancia del modelo de jerárquicas, al permitir la presencia de ciclos en la estructura de la BD, es decir, no ha de existir un único padre para cada nodo. No obstante, presenta otros problemas, siendo el más importante de ellos su gran complejidad, lo que hace difícil la administración de la BD. (Olaya, 2014)

Asimismo, existe el modelo de BD relacionales, este es de los más utilizados en la actualidad, debido a que soluciona los problemas asociados a las BD jerárquicos y en red. En este modelo se utiliza un esquema basado en tablas, que contienen un número dado de registros, así como campos (columnas). El uso de estos elementos da lugar a una correcta estructuración y acceso eficiente de la información. A la vez que resulta una estructura más simple de comprender y fácil de utilizar para el análisis y la consulta de los datos. (Olaya, 2014)

Finalmente, está el modelo de BD orientadas a objetos, derivado directamente de los paradigmas de la programación orientada a objetos. El modelo supera las capacidades del modelo de BD relacionales, ya que pueden contener objetos, lo que permite una integración más fácil con la propia arquitectura de los programas utilizados. El uso de

este modelo se ha expandido notablemente en ciertas áreas en las cuales resultan más ventajosas que el modelo relacional, siendo los SIG una de ellas. (Olaya, 2014)

Por otro lado, el diseño de una BD implica codificar en formato digital ciertos aspectos del mundo real. Primeramente, se realiza la etapa del diseño conceptual, cuyo objetivo es describir el contenido de la información de la BD sin llegar a las estructuras de almacenamiento. En esta etapa se construye un esquema conceptual que en la gran mayoría de los casos es creado mediante el Modelo Entidad Relación (MER). El MER busca representar los elementos contenidos en el diseño conceptual de manera gráfica mediante entidades, atributos y relaciones.

La segunda etapa corresponde al diseño lógico, este proviene del esquema conceptual y da como resultado un esquema lógico, siendo este una descripción de la estructura de la base de datos para ser procesada en un Sistema Gestor de Bases de Datos (SGBD). En este punto se normaliza la información para evitar redundancia, además es el paso del MER al modelo relacional. (Radilla, F. 2008)

La tercera etapa es el diseño físico, este consiste en elaborar la representación digital, a partir de la creación de registros, archivos, métodos de acceso y restricciones de seguridad. Es hasta esta etapa en que la BD se materializa digitalmente.

2.3. Sistemas gestores de bases de datos

Los SGDB representan un componente intermedio entre la información de la BD y los programas que facilitan el uso de la información (Olaya, 2014). Tienen como objetivo principal el suministrar un adecuado y eficiente ambiente que permita a los usuarios del sistema recuperar y almacenar la información (Silberschatz et al., 2002). Mantener las características propias de un SGBD en el contexto de los datos espaciales no es sencillo, y tampoco lo es integrar esa base de datos dentro de un SIG que permita que este

aproveche la potencia de dicho BD de la mejor manera posible. En el campo geográfico propiamente, los SGBD permiten unir el SIG con la BD en la que se almacenan los datos espaciales con los que este va a trabajar.

Según Olaya (2014) para que un SGBD sea útil debe perseguir cuatro principales objetivos. Inicialmente, se debe tener acceso transparente a los datos, por tanto, el sistema requiere crear una abstracción de los datos de manera que le facilite al usuario el trabajo con los datos, sin que este se percate de aquellos aspectos que no son relevantes para dicho trabajo, por ejemplo, cómo los datos se almacenan y mantienen. En el caso específico de los SIG, el acceso transparente no consiste en acceder directamente a los datos por medio del SGBD sino, en la conexión con el SGBD y las consultas que está conexión permite hacer de los datos por medio del SIG.

Otro objetivo es el de la protección de los datos, donde dependiendo del carácter o la sensibilidad de los datos, el sistema debe controlar el acceso a la misma, restringiendo el acceso de acuerdo con el tipo de usuario o administrador cuando corresponda e implementando los mecanismos de protección necesarios. El tercer objetivo es el de la eficiencia, la gestión de los datos debe ser fluida en especial cuando el volumen de estos es significativo. La gestión de transacciones ya sea para añadir o eliminar registros es el último de los objetivos de los SGBD. Cabe mencionar que además de los anteriores objetivos, los SGBD cumplen con las características propias de las DB, mencionadas en apartados anteriores, como reducir la redundancia los datos.

Un ejemplo de un SGBD es “PostgreSQL”, el cual es un sistema administrador de bases de datos objeto-relacional (ORDBMS, Object-Relational Data base Management Systems) basado en PostgreSQL. Es considerado como uno de los mejores gestores de bases de datos de software libre. Además, PostgreSQL cuenta con una extensión “PostGIS” que permite el uso de objetos geográficos que aparecen en la especificación

OpenGIS (Open Geospatial Consortium), como puntos, líneas, polígonos, multilíneas, multipuntos y colecciones geográficas. (Radilla, F. 2008)

2.4. Servidores geoespaciales y GeoServer

Un servidor web tiene como principal objetivo devolver información cuando recibe peticiones por parte de los usuarios, lo cual se puede ver reflejado en una página web en el navegador. Diaz, et al. (2015) categoriza los tipos de servidores geoespaciales según su funcionalidad. Primeramente, se encuentran los servidores de mapas, estos se encargan de renderizar datos vectoriales o ráster en diferentes estilos y proyecciones cartográficas, en general cumpliendo el estándar WMS de Open Geospatial Consortium (OGC). También se encuentran los servidores de teselas que son una variante del anterior tipo de servidor, pero, brindan la cartografía renderizada únicamente en juegos de teselas con un número limitado de resoluciones, bajo los estándares TMS y el Servicio de teselas de mapas web (WMTS) de OGC; usualmente, este tipo de servidores requieren emplear sistemas de almacenamiento intermedio (caches).

La tercera categoría son los servidores de datos brutos, estos ofrecen cartografía vectorial o ráster en formatos que luego deben ser procesados por los clientes, tanto para el análisis como para la visualización. Utilizan los estándares de comunicación WFS y Web Coverage Service (WCS) respectivamente para datos vectoriales y ráster. La cuarta categoría corresponde a los servidores de metadatos, mediante estos servidores usuarios y otros componentes pueden encontrar juegos de datos y otros servicios mediante protocolos estandarizados como Catalog Service for the Web (CSW). Estos servidores son el corazón de las Infraestructuras de Datos Espaciales. La última categoría son los servidores de geo procesos, los cuales exponen operaciones de análisis con datos directamente disponibles en el servidor o bien acceder a otros servidores de datos brutos para encadenar servicios que realicen flujos de geoprocésamiento de todo

tipo. El estándar de OGC para geoprocesamiento es el Servicio de procesamiento web (WPS).

Por otro lado, GeoServer es un servidor que permite a los usuarios compartir y editar datos geoespaciales, es un servidor de código abierto escrito en Java y está diseñado para la interoperabilidad, publica datos de las principales fuentes de datos espaciales cumpliendo con los estándares OGC WMS, WFS y WCS. A su vez, GeoServer brinda una interfaz web de usuario que permite gestionar todos los contenidos del servidor (conexiones, capas, estilos, metadatos) de forma gráfica, facilitando la gestión de los contenidos sin que el usuario requiera un amplio conocimiento informático, puesto que no requiere editar ficheros de configuración o utilizar la línea de comandos. Geoserver, además, permite simbolizar, filtrar y decorar los datos a voluntad. (García et al., 2013)

2.5. Funcionalidad de las aplicaciones SIG WEB

Las aplicaciones SIG WEB les permiten a los usuarios tener acceso a funcionalidades SIG desde un ambiente basado en Web y de este modo poder publicar, hacer búsquedas, analizar, desplegar, modelar y procesar información geoespacial. Así mismo, las aplicaciones SIG Web mejoran las capacidades de los usuarios al tener acceso a datos espaciales de forma interactiva y dinámica, siendo una herramienta de comunicación visual y de apoyo en la toma de decisiones. Además, este tipo de aplicaciones busca incentivar la colaboración y cooperación tanto al interior como al exterior de una organización o departamento, ganando eficiencia, reduciendo costos y evitando duplicidad de esfuerzos. (Yanza, 2013)

Este tipo de aplicaciones permite recolectar información geoespacial de manera voluntaria por parte de diversos tipos de usuarios, ya sean profesionales en el área de la geografía o no; a su vez, la información puede ser tomada en campo, incorporada y distribuida de forma gratuita para quien la necesite. Por otro lado, existe la posibilidad

de establecer una serie de restricciones para obtener información con determinados estándares. Algunas de las restricciones pueden ser el contar con datos que provengan de fuentes verificadas y con contenido autorizado, de manera que se asegure la confiabilidad y exactitud del levantamiento o adquisición de los datos. (Yanza, 2013).

Yansa (2013) describe una aplicación SIG WEB como el resultado de una aplicación Web tradicional más los componentes geográficos. El flujo básico al utilizar una aplicación inicia con la solicitud del usuario al servidor a través de Internet vía Hypertext Transfer Protocol (HTTP), el usuario puede realizar esta consulta mediante un navegador, un programa de escritorio o una aplicación móvil. Posteriormente, el servidor retorna los datos necesarios de la base de datos geográfica y procesa la petición, dicha petición puede ser la elaboración de un mapa, realizar una consulta o llevar a cabo una tarea de análisis. El resultado es enviado al servidor y de allí a la aplicación vía HTTP. Finalmente, la aplicación despliega el resultado al usuario, completando el ciclo de petición-respuesta. Para la funcionalidad de la aplicación SIG WEB es de suma importancia el Internet y la Web, ya que permiten acceso instantáneo a la información, sin importar distancia y tiempo.

Al comparar las aplicaciones SIG WEB con las tradicionales o de escritorio, se pueden encontrar una serie de ventajas de las primeras respecto a las segundas; entre ellas, un mayor alcance global al ampliar la accesibilidad, debido a que la aplicación se puede utilizar a través de su computador o de dispositivos móviles. A su vez, incrementa la cantidad de usuarios utilizando la aplicación de manera simultánea, esta cantidad puede variar desde decenas hasta cientos. Otra de las ventajas es que se puede desarrollar en múltiples plataformas, ya la mayoría de los clientes SIG Web son navegadores, los cuales ofrecen diferentes versiones y cumplen con estándares de HTML y JavaScript. (Yanza, 2013)

De igual forma, una aplicación SIG WEB aventaja a las tradicionales en el costo de esta, según el número de usuarios; ya que, si una institución u organización requiere de su uso para su personal, pueden optar por este tipo de sistema para ser compartido por todos desde el sitio de trabajo, en el hogar o en campo, lo que reduce los costos de compra de licencias y mantenimiento. Además, este tipo de aplicaciones tienen la versatilidad de estar destinadas a un sinnúmero de usos, ya sean formales o sofisticados hasta informales y con propósitos personales o comunitarios. Debido al diseño de estas aplicaciones donde predomina la simplicidad, intuición y comodidad, puede ser utilizada con facilidad por los usuarios de esta. Finalmente, este tipo de sistemas se caracterizan por su actualización unificada, siendo un proceso más fácil, automático y en el que se ahorra tiempo, debido a que los cambios en los programas y datos se realizan en el servidor y se reflejan al instante en los clientes. (Yanza, 2013)

Capítulo 3. Metodología

3.1. Tipo de investigación

El fin primordial de una investigación es indagar y promover conocimiento de manera organizada, imparcial y sistemática; por ello, su importancia en la obtención de información verídica y actualizada en las diferentes áreas de conocimiento. Según Vargas (2009) en el transcurso de una investigación, el investigador o investigadora se cuestiona, especula y procede sobre un hecho histórico, social o problemática específica, a partir de esto se forma su propio criterio fundamentado científicamente. De este modo el criterio de investigador podrá generar beneficios e incitará la creación novedosa de estrategias y métodos de intervención, el aumento de la calidad de la investigación, el rendimiento y respeto de la figura profesional.

Así mismo, Vargas (2009) también menciona como hay variedad de tipos de investigaciones, entre ellas se encuentra la investigación aplicada, cuyo objetivo se basa en la resolución de problemas prácticos, con un margen de generalización limitado. Este tipo de investigación se caracteriza por buscar la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren nuevos, al efectuar y sistematizar la práctica basada en investigación. Como resultado de este tipo de investigación, se obtiene una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. Dado que el presente proyecto pretende desarrollar una aplicación SIG WEB para el monitoreo forestal, poniendo en práctica muchos de los conocimientos adquiridos en el transcurso del postgrado, se determina que la investigación aplicada es el tipo de investigación adecuada para el desarrollo del presente proyecto.

3.2. Instrumentos e insumos

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se requirió de una serie de insumos, existiendo dos principales fuentes de información: primeramente, el Proyecto de Monitoreo Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del Tecnológico de Costa Rica, quienes brindaron dos documentos Excel con datos forestales, correspondientes a dos de sus parcelas en estudio. Por otro lado, se hace uso de la información cartográfica de aspectos ambientales y físicos en formato ShapeFile del Área de Conservación Guanacaste, disponibles en su página oficial, entre la que se encuentra información del Clima, Geología, Zonas de vida, Sectores del área protegida, Suelos, Senderos y Vegetación.

Conjuntamente, se requieren una serie de software, aplicaciones o plataformas que posibiliten el desarrollo de las diferentes tareas. Se utiliza el “pgModeler”, la cuál es una herramienta de código abierto para modelar bases de datos que combina los conceptos clásicos de diagramas de relación de entidad con características específicas que sólo implementa PostgreSQL. Además, el sistema gestor de base de datos que se utiliza es el de “PostgreSQL” por medio de “pgAdmin”, la cual es una plataforma de administración y desarrollo de código abierto para PostgreSQL y sus sistemas de administración de bases de datos relacionados.

Igualmente, se hace uso del servidor para datos geográfico denominado “Gesoserver”, el cual fue diseñado para la interoperabilidad y publicación de información de las principales fuentes de datos espaciales, usando estándares abiertos. Así mismo, se utiliza el software libre y de código abierto “QGIS” debido a su versatilidad para desarrollar diferentes tareas y su compatibilidad con otras plataformas como PostgreSQL y Gesoserver.

Finalmente, se hizo uso del software “Visual Studio Code” para el desarrollo de la aplicación web, este es un editor de código fuente que se establece en el escritorio y está disponible para Windows, macOS y Linux, permitió el trabajar con archivos HyperText Markup Language (HTML), JavaScript y Cascading Style Sheets (CSS).

3.3. Operacionalización de las variables.

La operacionalización de las variables tiene como objetivo convertir un concepto abstracto en uno empírico, capaz de ser medido a través de la aplicación de un instrumento. La operacionalización permite al investigador tener de forma clara y certera los pasos o tareas que se deben cumplir para poder alcanzar un objetivo. En la tabla 1, se muestra la operacionalización de las variables para el presente proyecto; inicialmente, se observa el objetivo general, y de él surgen los tres objetivos específicos representados por sus ejes temáticos (Bases de datos, Servidor Web o Aplicación SIG WEB). Para cada uno de los objetivos se establecen las variables, sus dimensiones e indicadores, estos últimos hacen referencia a las diversas tareas que se deben desarrollar para cumplir con cada objetivo.

Tabla 1: Operacionalización de las variables.

<i>Ejes temáticos</i>	<i>Variable</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Indicadores</i>
Base de datos geográficas	Diseño conceptual	Modelo entidad relación	Identificación las entidades, atributos y cardinalidad de la base de datos geográfica
			Construcción del diagrama de los elementos del modelo
	Diseño Lógico	Modelo Relacional	Normalización de los datos tabulares y geográficos
			Establecer las características, restricciones, llaves primarias y foráneas de las entidades o sus atributos
	Diseño Físico	Implementación del modelo relacional	Diseño de la estructura de la bases de datos geográfica con la herramienta pgModeler
			Importación de estructura y datos a Postgres
Servidor WEB	Geoservidor	Publicación de datos alfanuméricos y vectoriales	Importar datos tabulares y vectoriales en Geoserver
			Publicación de capas espaciales con estilos preestablecidos y datos tabulares mediante los servicios WFS o WMS
			Establecer y definir los estilos específicos para los principales atributos de los datos geográficos
Aplicación SIG WEB	Aplicación SIG WEB	Diseño y programación de la aplicación	Desarrollo del código HTML, CSS Y Java Script.
		Manejo de datos dentro de la aplicación	Capacidad para interactuar y analizar la información disponible

3.4. Procedimientos metodológicos

En este apartado se explican detalladamente los procedimientos que se deben realizar para cumplir con los objetivos específicos propuestos. Primeramente, se realiza la adquisición de datos e información requerida, el personal del Proyecto de Monitoreo Forestal facilitó información alfanumérica almacenada en dos archivos Excel con datos forestales. Cada archivo pertenece a una de las parcelas en estudio del Proyecto de Monitoreo Forestal, estas dos parcelas tienen una extensión de una hectárea y se diferencian según su etapa de crecimiento (temprano o tardío). Conjuntamente a la información anterior, se obtuvo información cartográfica proveniente del sitio oficial del ACG. Asimismo, se realiza la consulta a diversas fuentes especializadas en bases de datos y desarrollo de aplicaciones SIG WEB.

3.4.1. Diseñar e implementar las bases de datos de información de mediciones forestales del Parque Nacional Santa Rosa y cartografía del Área de Conservación Guanacaste, mediante el sistema gestor de base de datos PostgreSQL/PostGIS.

Preparación de datos

En cada uno de los archivos Excel hay información referente a las características de cada parcela, datos de diferentes tipos de mediciones por año entre el 2013 y 2018, y datos de las especies con sus características. Dado que estos archivos de datos no tienen un diseño adecuado (anexo 1) para ser parte del sistema, ya que hay registros en blanco, celdas combinadas, redundancia de información, hay datos de diferentes temas, entre otras.

Primeramente, se realiza la normalización de los datos de las mediciones forestales para mejorar su desempeño y evitar redundancia en la información. Para llevar a cabo este proceso se reorganizan los registros de las dos parcelas, reestructurando los datos en tablas o entidades según la categoría o subcategoría a la que pertenecen. Se generó una tabla para datos de las especies (SPECIES), en la que se almacenaron las características o atributos de cada especie, siendo estos: código, nombre, familia, género, autor, entre otros. Paralelamente, se estableció una tabla exclusiva para los datos de los individuos (INDIVIDUALS), donde se encuentran datos como su código, número de placa y datos de su ubicación dentro de la subparcela.

Igualmente, se creó una tabla que a su vez se ligó a una capa espacial para las subparcelas (SUBPLOT) en donde hay información propia de la subparcela como su código, código de parcela, etapa de crecimiento, las líneas y subparcelas, estos dos últimos atributos corresponde a las filas y columnas de la cuadrícula de la parcela que los contiene. Posteriormente, se generó una tabla para los datos de las mediciones (MEASURE) que se requieren para llevar el control de las parcelas, entre los atributos de la tabla se encuentra el nombre de la medición, la descripción y las unidades de medida de esta. Por último, se generó una tabla para las observaciones propias para cada individuo (OBSERVATIONS), con su correspondiente código, el valor de la medida, año en el que se hizo la observación y comentarios.

La reestructuración de los datos forestales permitió eliminar la redundancia de información, así como los espacios vacíos que no aportan información alguna y se producían debido al mal diseño de estas. Adicionalmente, se revisan los registros de las diferentes tablas para lograr estandarizar los datos y evitar diferentes errores como errores ortográficos, celdas combinadas o datos erróneos.

Por otro lado, se revisan los datos geográficos disponibles, estos deben tener la información, deben cumplir con criterios cartográficos correctos, así como con las formas normales para BD. Los datos corresponden a información de Clima, Geología, Zonas de visa, Sectores del Área de Conservación Guanacaste, Suelos, Senderos o Vegetación. Finalmente, se genera un ID para cada entidad (tabla o capa geográfica) que funcionará como llave primaria, entiéndase como llave primaria al valor único que identifica cada dato de la entidad y con el cual pueda relacionarse a otra entidad siendo a su vez un atributo. Cabe destacar que en la medida de lo posible se respetaron algunos criterios utilizados en las bases de datos originales como el idioma de algunos de los datos, siglas o códigos.

Una vez obtenidos los datos se continuó con el diseño de la BDG a nivel relacional, para cumplir con este objetivo requiere desarrollar un diseño conceptual, un diseño lógico y un diseño físico. Seguidamente, se detalla los procesos a seguidos para efectuar cada una de estas etapas y finalmente tener una base de datos geográfica bien estructurada.

Diseño Conceptual

En la fase de diseño conceptual se diseña un modelo entidad/relación (MER) donde se reflejan las entidades y las posibles relaciones entre ellas. Este modelo puede ser continuamente validado por sus usuarios para confirmar y ajustar dichas entidades de información según el modelo. Para realizar el diseño conceptual se debe definir la capa o tabla que corresponde a una entidad, se le asigna un nombre representativo que no contenga espacios ni caracteres especiales. A continuación, se detallan las entidades junto a su descripción tomados en cuenta para el presente proyecto:

- SOIL: Representa el tipo de suelo presente en el Área de Conservación Guanacaste.
- SUBPLOT: Representa las subparcelas de las parcelas en estudio dentro del Parque Nacional Santa Rosa.
- CLIMATE: Representa el clima presente en el Área de Conservación Guanacaste.
- GEOLOGY: Representa la geología presente en el Área de Conservación Guanacaste.
- VEGETATION: Representa la vegetación presente en el Área de Conservación Guanacaste.
- LIVE_ZONE: Representa la zona de vida presente en el Área de Conservación Guanacaste.
- TRAIL: Representa los senderos dentro del Área de Conservación Guanacaste
- SECTORS_ACG: Representa los sectores dentro del Área de Conservación Guanacaste.
- SPECIES: Representa las especies presentes en las parcelas en estudio.
- INDIVIDUALS: Representa los individuos presentes en las parcelas en estudio.
- MEASURES: Representa los tipos de mediciones que se realizan en las observaciones forestales.
- OBSERVATIONS: Representa las observaciones de los individuos presentes en las parcelas en estudio.

Una vez establecidas las entidades a tomar en cuenta, se definen las relaciones existentes entre las mismas, junto a su cardinalidad, como se muestra en la tabla 2. Entiéndase a la cardinalidad como la cantidad de entidades relacionadas a otra entidad, las posibles opciones de cardinalidad es el de "1:1" una relación uno a uno donde una entidad se relaciona con otra entidad, una cardinalidad "1: N" uno a muchos, donde una entidad puede estar relacionada a varias entidades o una cardinalidad "N:M" muchos a muchos, donde varias entidades pueden estar relacionadas con otras varias entidades.

Tomando lo anterior en cuenta, la interpretación de la primera relación de la tabla sería una subparcela tienen relación con múltiples individuos.

Tabla 2: Relaciones entre entidades y su cardinalidad.

<i>Entidad</i>	<i>Cardinalidad</i>	<i>Entidad</i>
SUBPLOT	1:N	INDIVIDUALS
SPECIES	1:N	INDIVIDUALS
MEASURE	1:N	OBSERVATIONS
INDIVIDUALS	1:N	OBSERVATIONS

Una vez establecidas las entidades con sus debidos atributos y sus relaciones con su cardinalidad, se esboza el MER como se aprecia en la figura 2. En el MER las entidades de tipo tabular se representan en colores amarillos y las entidades de tipo geográficas en color morado, los atributos que se deben representar con círculos se representan en óvalos debido a la disponibilidad de espacio. Las palabras conectoras se muestran en rombos celestes y evidencian la relación entre las entidades; además, se muestra la cardinalidad de estas relaciones. También, en cada entidad se colocó un símbolo según el tipo de datos al que hace referencia, para los datos vectoriales se usó el símbolo de polígono o línea y para los datos tabulares un símbolo de tabla.

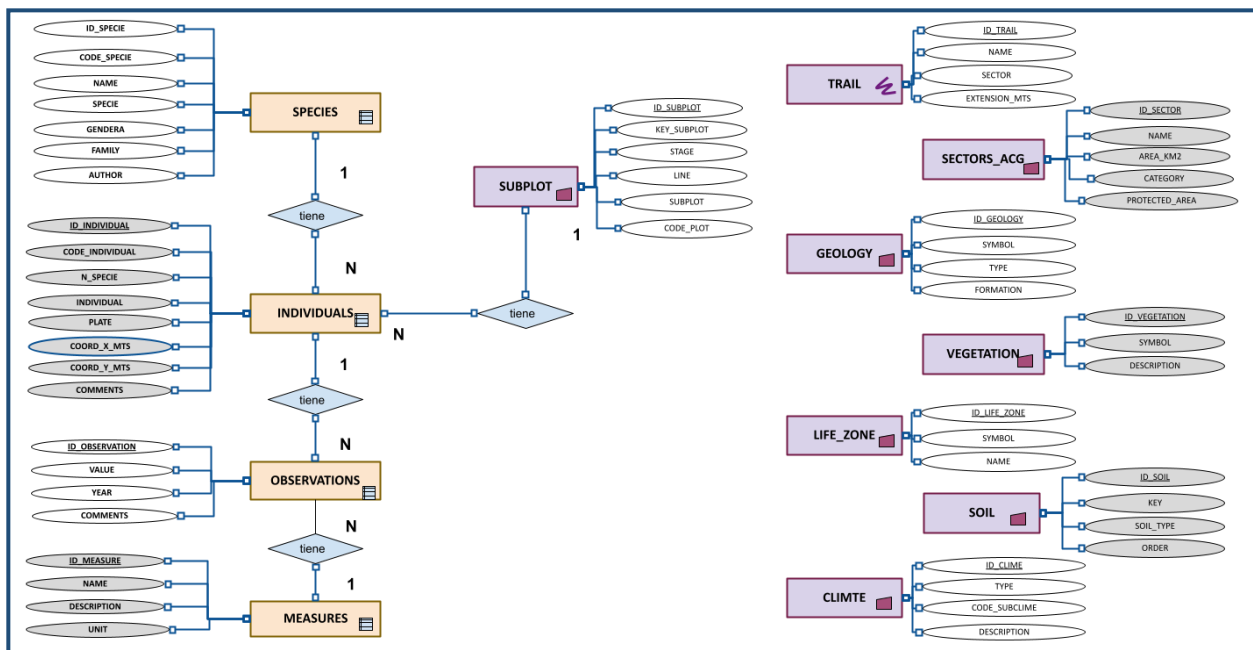


Figura 2. Modelo Entidad Relación (MER) de la BDG.

Cabe mencionar que de las entidades geográficas solo las subparcelas están conectadas a los datos tabulares, ya que es la entidad clave para relacionar los datos tabulares espacialmente y con las demás entidades geográficas. No se crean las relaciones entre datos espaciales debido al relacionar dichos datos las relaciones suelen ser a relaciones “N:M” (muchos a muchos) y es más eficiente hacer la consulta de manera espacial.

Diseño Lógico

Si bien en el diseño conceptual se realiza el esquema de la BD, es en el diseño lógico cuando se transforma la BD en estructuras lógicas como tablas, campos, claves primarias y foráneas, sin redundancia y garantizando que los datos no se relacionen con otro dato de otra entidad, sin que este último existe en la geodatabase (normalización).

En esta etapa se especifican los atributos de cada entidad con sus características, se detalla su nombre, tipo de campo, descripción, longitud, si acepta datos nulos y las restricciones que pueden tener.

A su vez, en las relaciones entre entidades del MER es primordial determinar cuál es la llave primaria, correspondientes al identificador único de cada dato de la entidad, y también identificar la llave foránea de cada relación. Esta última llave concierne a una columna duplicada del identificador (llave primaria) de otra la tabla y de esta manera permite relacionar ambas tablas que contengan el mismo dato identificador; conjuntamente, la ubicación de la llave foránea dependerá del tipo de cardinalidad existente entre las relaciones de las entidades.

Diseño Físico

Una vez identificados, caracterizados y estructurados los datos según las entidades atributos, relaciones, cardinalidad, llaves primarias y foráneas, se procede a realizar el diseño físico, el cual consiste fundamentalmente en expresar en tablas el modelo lógico de datos, contemplando todos los aspectos de diseño para poder graficarlo. Para el desarrollo de esta fase se utiliza la herramienta gratuita “pgModeler-PostgreSQL” que permite construir el diseño de bases de datos de manera eficiente y poder exportar el diseño a un sistema SGBD compatible, como es el caso de “pgAdmin”, herramienta gratuita indispensable para gestionar y administrar PostgreSQL.

Al ingresar a la herramienta hay dos opciones principales a considerar, la primera es la opción “New model” que abre el entorno de trabajo donde se construye el nuevo diseño del modelo. Con la segunda opción “Open model” se puede abrir un modelo ya creado y guardado, esta opción se usa en las ocasiones donde no se pudo concluir la

totalidad del modelo al momento y se retoma posteriormente; también, con esta opción permite abrir un modelo anterior que ocupé ser modificado o actualizado.

Al iniciar el modelo hay que considerar que en este programa la entidad se mapea como tabla y los atributos como columnas. Al igual que en BD, no se debe usar ningún tipo de caracteres como tildes, ñ, ", y/o demás caracteres especiales para los nombres de las columnas o tablas. Teniendo estos aspectos en cuenta, el modelo se inicia al crear un esquema, que es donde se almacenan las entidades, atributos y relaciones. Entre las propiedades a definir para crear el esquema se encuentra el nombre y el propietario, para este proyecto en concreto se le asigna el nombre "SIG" y el propietario se deja por defecto "Postgres".

Posteriormente, se crean las tablas que correspondería a las entidades, es importante especificar la ubicación de la nueva entidad en el esquema "SIG". A la vez que se crean las entidades se pueden crear los atributos de esta, donde se detallan las propiedades y restricciones de la misma, como se muestra en la figura 3.

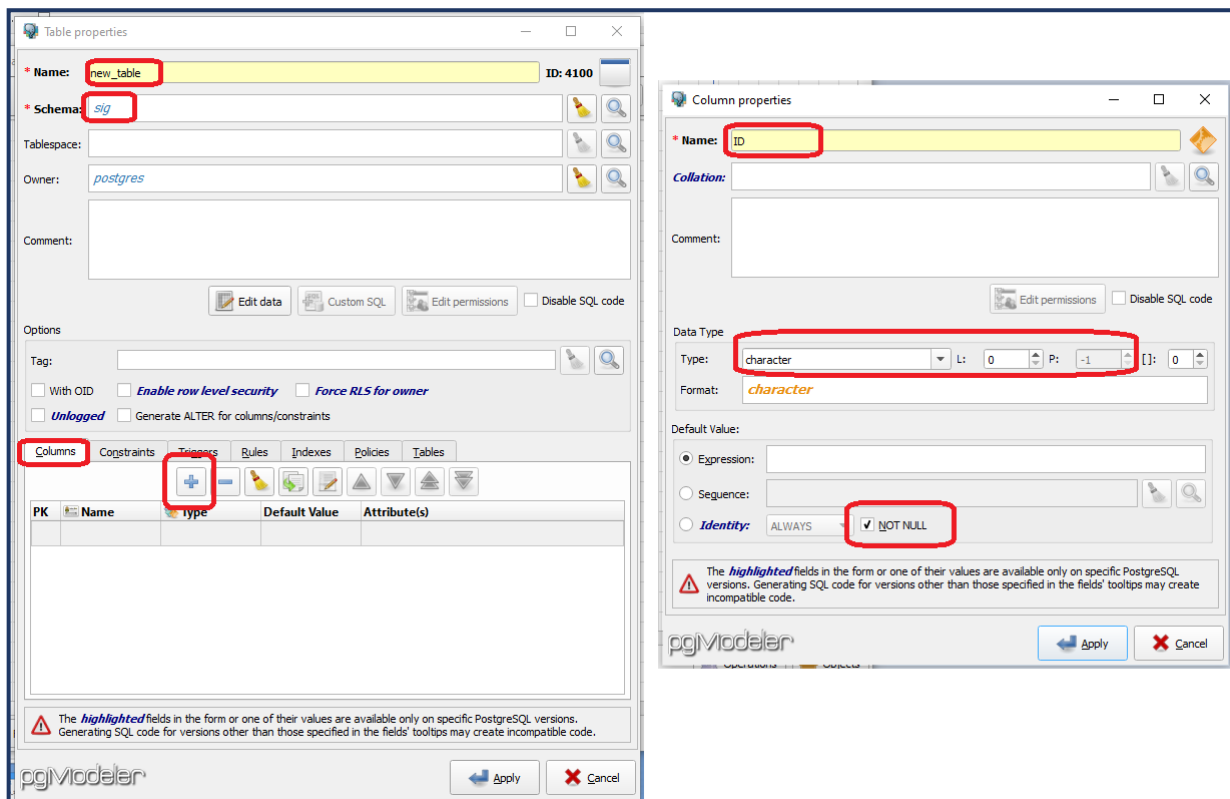


Figura 3. Creación de entidades y atributos.

Una vez creados los atributos se deben asignar la llave primaria para cada entidad en la sección “Constraints”, si se tuviera alguna otra restricción se incluirían en esta sección. Al finalizar, cada entidad se mostrará una tabla de la entidad con varias columnas de atributos y una pequeña sección en la parte inferior donde se ubica las restricciones como la llave primaria (figura 4).

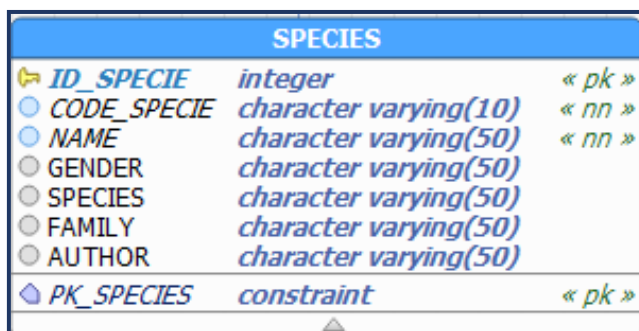


Figura 4. Creación de entidades.

Cuando se han creado todas las entidades se procede a crear las relaciones entre las mismas (figura 5), para este procedimiento se debe ser consciente del tipo de relación que se debe crear y la orientación de esta. Una vez listo el modelo, este se debe exportar en un formato “SQL file” lo cual permitirá abrir el modelo en PostgreSQL.

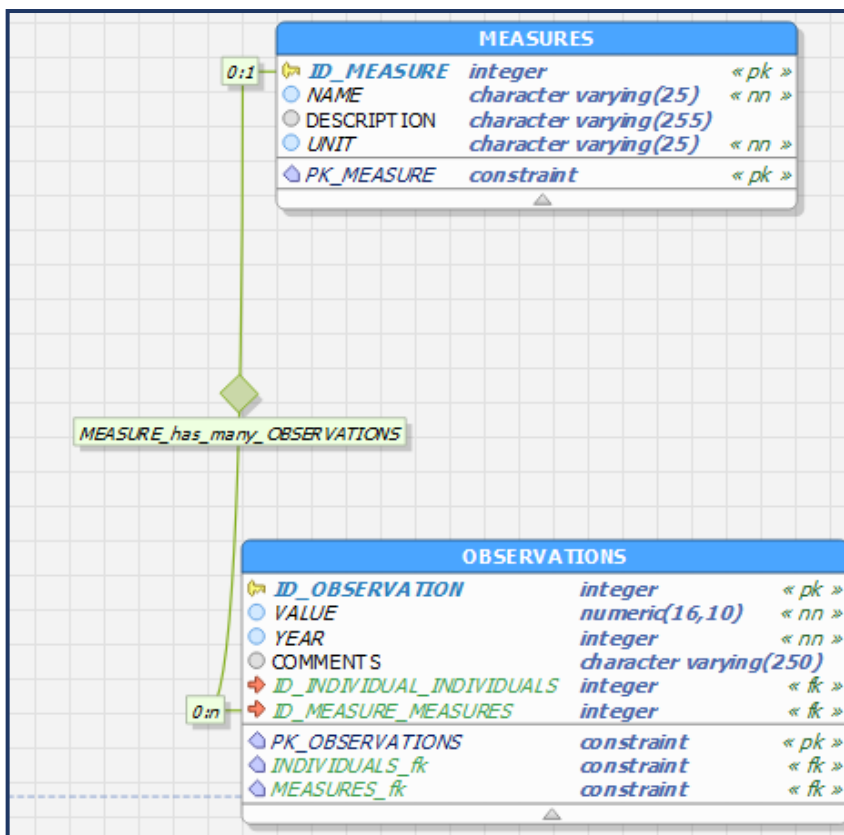


Figura 5. Creación de relación entre entidades.

Sistema gestor de base de datos

Como se mencionó anteriormente “PostgreSQL” es un sistema de gestión de bases de datos relacional orientado a objetos que se considera es la mejor opción para manejar en el presente proyecto. La aplicación utilizada para la gestión y administración este es “pgAdmin 4”, una vez instalada la aplicación en el equipo, se empieza por crear una base de datos nombrada “monitoreo forestal”. Es importante tomar en cuenta que, para asignar nombres a las BD, es preferible usar todos los caracteres en minúsculas y que el propietario se establece por defecto como “Postgres”.

Para que PostgreSQL tenga la capacidad de trabajar bases de datos geográficas se debe crear su extensión a PostGIS, esta extensión le permite a PostgreSQL almacenar, gestionar y dar mantenimiento a datos espaciales. Posteriormente, se procede a cargar los datos del archivo SQL creado con el pgModeler. Primeramente, se abre el archivo con el modelo físico en un editor de texto de preferencia, se copia la información y se pega en la ventana de consulta en pgAdmin y se ejecuta, creando de esta manera el esquema “SIG” todas las características asignadas en el proceso del diseño de la BD.

Para las entidades cartográficas se crea el atributo de geometría, este puede variar según el tipo de vector que requiera la información. Para crear este atributo se debe poner el comando adecuado en la ventana de consulta, en este comando se puede asignar su vez, el sistema de referencia que tiene el archivo geográfico, para ello se debe poner en la sintaxis del comando el código del EPSG, para este caso en específico se asigna el código “5367” que corresponde a la al sistema proyección oficial para Costa Rica (CR05 / CRTM05). Se utilizaron los siguientes comandos para la creación de dichos atributos para las entidades geográficas:

- TRAIL: `SELECT Add GeometryColumn('SIG', 'TRAIL', 'the_geom', 5367, 'MultiLineString', 2);`

- LIFE_ZONE: SELECT Add GeometryColumn('SIG', 'LIFE_ZONE', 'the_geom', 5367, 'MULTIPOLYGON', 2);
- CLIME: SELECT Add GeometryColumn ('SIG', 'CLIME', 'the_geom', 5367, 'MULTIPOLYGON', 2);
- SUBPLOT: SELECT Add GeometryColumn('SIG', 'SUBPLOT', 'the_geom', 5367, 'MULTIPOLYGON', 2);
- SOIL: SELECT Add GeometryColumn ('SIG', 'SOIL', 'the_geom', 5367, 'MULTIPOLYGON', 2);
- SECTORS_ACG: SELECT AddGeometryColumn('SIG', 'SECTORS_ACG', 'the_geom', 5367, 'MULTIPOLYGON', 2);
- VEGETATION: SELECT AddGeometryColumn('SIG', 'VEGETATION', 'the_geom', 5367, 'MULTIPOLYGON', 2);
- GEOLOGY: SELECT AddGeometryColumn('SIG', 'GEOLOGY', 'the_geom', 5367, 'MULTIPOLYGON', 2);

Previo a cargar los datos en PostgreSQL, se debe crear una conexión entre QGIS y PostGIS, donde se debe especificar el puerto del servidor local “5432” y asignar el nombre a la conexión. En esta parte, es importante activar la opción de “Listar también tablas sin geometría” para poder acceder a las entidades tabulares que no tienen información espacial.

Establecida la conexión, se importan los datos por medio de la herramienta de QGIS “Administrador de BBDD”. Se debe importar entidad por entidad y en cada proceso se debe definir la tabla de interés, los atributos que corresponde a la clave primaria, la geometría y el sistema de referencia (EPSG: 5367”). Estos datos se importarán de QGIS a PostgreSQL, pero en el esquema “public”, donde solo está la información almacenada sin la estructura adecuada de la BD.

Se transfieren los datos de esquema “public” al esquema “SIG”, este proceso se hace se hace por comando en la ventana de consultas. El comando tiene la siguiente sintaxis:

```
INSERT INTO "esquema que recibe". "tabla/entidad" atributo 1", "atributo 2", "
atributo 3", " atributo 4") select "atributo 1", " atributo 2", " atributo 3",
"DESCRIPTION", "atributo 1"... from "esquema de donde sale la información".
tabla/entidad ";
```

Al asignar los atributos es importante que concuerden el orden de estos en ambos esquemas, para que la información transferida sea la correcta. Por ejemplo, se usa el siguiente comando para transferir los datos de la tabla de clima entre el esquema “public” y “SIG”:

```
INSERT INTO "SIG"."CLIME" ("ID_CLIME", "TYPE", "CODE_SUBCLIME",
"DESCRIPTION", "the_geom") select "ID_CLIME", "TYPE", "CODE_SUBCLIME",
"DESCRIPTION", "geom" from "public". "CLIME";
```

Una vez transferida la información por medio de los comandos anteriores tanto de las tablas o entidades geográficas como las tablas que no corresponden a datos espaciales, la información ya estaría siendo gestionada por un sistema gestor de bases de datos.

3.4.2. Realizar la publicación WEB de las bases de datos provenientes PostgreSQL por medio del geo servidor web de código abierto GeoServer.

Para poder cumplir con el objetivo de publicar en la web las bases de datos geográficas se hace uso de “GeoServer”, el cual es un servidor de código abierto para datos espaciales, escrito en Java. Por medio de este geo servidor los usuarios tienen la oportunidad de editar y publicar datos de cualquier fuente de datos espaciales utilizando estándares abiertos en la web, como los son el WFS, WMS, WCS, WPS o WMTS. Para poder publicar los datos geográficos y tabulares de la BD de monitoreo forestal se requiere crear un “Espacio de trabajo” que contendrá las capas o almacenes de datos, este espacio de trabajo es un contenedor usado para agrupar capas similares y generalmente se establece uno por proyecto para tener bien definida y separada la información.

Una vez creado el espacio de trabajo, se procede a hacer el “Almacén de datos” donde se establecerá la conexión a la base de datos en PostgreSQL por medio de una conexión “PostGIS – PostGIS Data base”. En la configuración se escoge el espacio de trabajo antes creado e igualmente que, para PostgreSQL, se establece como anfitrión “localhost” y el puerto “5432”, ya que se está trabajando en el almacenamiento local del equipo en el que se desarrolla el proceso. Además, debido a que es una conexión con PostgreSQL, se debe escoger la base de datos (monitoreo forestal) y el esquema (SIG) que contenga la información.

Aunque la conexión con PostgreSQL le permite tener acceso a toda la base de datos, se debe cargar capa por capa a GeoServer para posteriormente hacer la debida publicación de esta. Para la publicación es muy importante establecer el sistema de referencia de coordenadas “EPSG:5367” y en la sección “Encuadre” seleccionar la opción que realiza el encuadre de los datos automáticamente. Posterior a la

publicación, se pueden previsualizar las capas cargadas. GeoServer permite establecer el estilo de una capa geográfica, esto permitirá que cada vez que se publique la información se visualice con un estilo preestablecido y este sea constante en el tiempo. La manera más eficiente de establecer este diseño es definirlo en QGIS y guardar el estilo en formato en formato “SLD”, el código de este archivo se copia en el estilo de Geoserver y se le asigna a la capa correspondiente.

En el caso de los datos tabulares es necesario unificar los datos para que estos posteriormente puedan ser llamados desde la aplicación SIG WEB, se requirió la creación de una “nueva vista SQL”, donde se ejecuta el código permite la unión de los datos (Anexo 2). En el código se indican todos los atributos de las diferentes entidades, y, además, se utilizan las llaves primarias y foráneas para facilitar propiamente la unión.

3.4.3. Crear una aplicación SIG WEB para la consulta y disposición de información tabular de mediciones forestales e información geo espacial del Área de Conservación Guanacaste.

La creación de la aplicación SIB WEB se realizó mediante HTML, entiéndase este no necesariamente como un lenguaje de programación como tal, sino un modo de organizar, interpretar y desplegar el contenido de un documento web mediante etiquetas y atributos que le indican al navegador qué es cada elemento. Este documento se complementa a su vez complementarse de archivos tipo CSS con los cuales se maneja el diseño y presentación del sitio web; además, se requiere de archivos con extensión “.js”, los cuales contienen scripts de “JavaScript”, lenguaje de programación usado para añadir características interactivas al sitio web. Si bien los códigos para el CSS y JavaScript se pueden incorporar en el archivo HTML, usualmente se recomienda manejar los archivos independientes para mayor orden y claridad de

estos. Para la gestión de estos archivos, se utilizó el software “Visual Studio Code”, ya que este facilitaba el manejo y edición de los códigos.

Se realizaron 2 archivos extensión “.HTML” el archivo nombrado “índice” (anexo 3) que concierne a la página principal de la aplicación web con sus diferentes elementos; igualmente, se crea un archivo donde se detalla el gráfico que sirve como guía de distribución de la parcela con sus subparcelas. Algunos de los principales elementos para desarrollar la estructura del documento tipo HTML se describen a continuación:

- Etiqueta “<HTML>”, le indica al navegador que el documento es un archivo HTML y este lo interpretara como tal. Todo el contenido de la página irá ordenadamente dentro de la etiqueta <HTML>, por ello, ¡es lo primero que se debe escribir en el documento con la declaración “<!DOCTYPE HTML>”. En general, cada elemento del documento inicia y finaliza con la misma etiqueta, solo que la etiqueta del cierre se debe agregar un slash, por ejemplo: “</html>”.
- Etiqueta “<head>” corresponde al encabezado del código, esta sección contiene elementos que ayudan a que la página funcione correctamente, como son los enlaces a los documentos de tipo “.css”, donde se establecen los diferentes estilos propios, incluso los estilos de algunos complementos usados o códigos para labores en específico que han sido puestos a disposición en la WEB por desarrolladores. El siguiente es un ejemplo de enlace a un archivo de estilos propio: “<link rel="stylesheet" href="css/estilos.css"/> “. En esta sección también se incorpora los enlaces a los documentos de tipo “.js”, que son los que ofrecen la funcionalidad de algunos elementos de la página, igualmente a los archivos “.css”, hay archivos “.js” propios y otros de los complementos. El siguiente es un ejemplo de enlace a un archivo JavaScript: “<script SRC="js/scripts.js"></script> “.

- La etiqueta “<title>”, con ella se establece el título de la página, el cual será visible en la pestaña de los navegadores, pero no será visible en el cuerpo de la página. Para este proyecto en específico, se definió el título del siguiente modo “<title>Proyecto de Monitoreo Forestal</title>”.
- Etiqueta “<body>” concierne al cuerpo del documento donde están los diferentes elementos que se visualizarán en la página, ya sea mapa, texto, imágenes, datos, tablas, listas, párrafos, títulos entre otros.
- Etiqueta “<div>” define las divisiones o bloques de la página web, se puede usar para centrar bloques de contenido, crear efectos de columna y crear diferentes áreas de color, entre otras posibilidades. Estos bloques se utilizan dentro del cuerpo (body) del documento, en este caso en específico las principales divisiones agregadas en la aplicación son el mapa interactivo, la simbología de las diferentes capas incorporadas y la tabla con los datos de las observaciones del monitoreo forestal.

Por otra parte, para el archivo con extensión .css se utiliza un lenguaje de hojas de estilo, con el cual se asigna un estilo específico a los diferentes elementos de la página, esto se logra al establecer una serie de reglas con sintaxis simple. En el presente proyecto se creó una sola hoja de estilo (anexo 4) capaz de vincularse a varias páginas web, lo que permite que estas guarden concordancia entre sí, a la vez que agiliza el desarrollo de un sitio web, al facilitar la actualización y mantenimiento de estos. Algunos de los principales elementos para la sintaxis CSS se describen a continuación:

- El selector es un elemento HTML al que se le aplica el estilo o regla css determinada. Alguno de los tipos de selectores puede ser: “p”, “h1”, “body”, “a: link”, “manythings”, “#onething”, “#mapid”, “”, “*.box p”, “.tab button”, entre otros.

- La declaración es cada una de las reglas establecidas para los estilos de un elemento, conformada por la propiedad y su valor, usando los dos puntos “:” entre estos ellos, por ejemplo “margin-left: 50 px “donde se establece el tamaño del margen izquierdo de 50 pixeles. Para cada elemento puede haber una o varias declaraciones separadas entre sí por un punto y coma “;” a su vez, este conjunto de declaraciones debe ir entre llaves “{...}”.
- Las propiedades son las características del elemento al que se le está estableciendo un estilo. Puede ser el color, tamaño, fondo, estilo de letra, márgenes, transparencia, bordes, alineación, entre otros.
- El valor de la propiedad es el valor que se define para cada propiedad de un elemento y es antecedido por los dos puntos “:”, pueden ser caracteres para propiedades cualitativas, como si se desea ubicar un objeto elemento a la derecha o izquierda, o bien podría ser valores numéricos para propiedades cuantitativas para porcentajes o exenciones de una determinada característica.

Por otro lado, el JavaScript permite añadir características dinámicas e interactiva a los elementos de la página web, mejorando la interacción entre el sitio web y el usuario, por medio de animaciones, ayudas de navegación, efectos de estilo dinámicos, manejo de mapas interactivos, respuestas a las pulsaciones de botones, carga o descarga de información o producción de elementos gráficos. El tag <script> se utiliza para incluir un script en JS dentro del código o hacer una referencia a un archivo. Para este caso en específico, el documento JavaScript (anexo 5) igualmente al CSS se mantienen como un archivo externo al archivo HTML para mayor facilidad.

Algunos de los elementos presentes en un código JavaScript son las variables, las cuales sirven como contenedores en los que se almacenan valores, estas variables pueden

comenzar con una letra, números, un guion bajo (_) o un signo de dólar (\$). Después de la variable o identificador, debe ir el operador “=” y al definir cada sentencia o instrucción ejecutable se debe poner “;”. La declaración o declaraciones se pueden agrupar en bloques de código para ejecutar de forma conjunta, para definir el bloque se debe colocar las declaraciones entre corchetes “[...]”. Además, se pueden crear eventos, los cuales son fragmentos de código que se activan con la ocurrencia de sucesos como por partes del navegador o del usuario, por ejemplo: terminar la carga de una página web, llenar un campo de entrada de datos o presionar un botón. Para el presente proyecto, se crearon dos archivos tipo JavaScript en el primer archivo se encuentran todos los comandos para la aplicación en general y en el segundo (“bd”) los comandos para la sección que contiene los controles de la tabla de los datos de monitoreo forestal.

Para el desarrollo de la aplicación además de crear los anteriores tipos de archivos, se requirió del uso de algunas bibliotecas y sus debidos complementos, los cuales contienen diferentes funciones, métodos u objetos para realizar prácticas dentro de la aplicación. Por ejemplo, se hizo uso de “Leaflet” (figura 6), una de las principales bibliotecas JavaScript de código abierto para desarrollo de mapas interactivos, que, junto a sus complementos, están diseñados para tener simplicidad, rendimiento y facilidad de uso para los usuarios. También, se utiliza el complemento “MiniMap-master” (figura 7) para incorporar en la esquina inferior el mapa interactivo un pequeño mapa de ubicación a una escala diferente al mapa general, esto ayuda a mejorar la experiencia de la navegación en el mismo. Este mini mapa a su vez, tienen la opción de minimizarlo o expandirlo dependiendo de la preferencia del usuario.

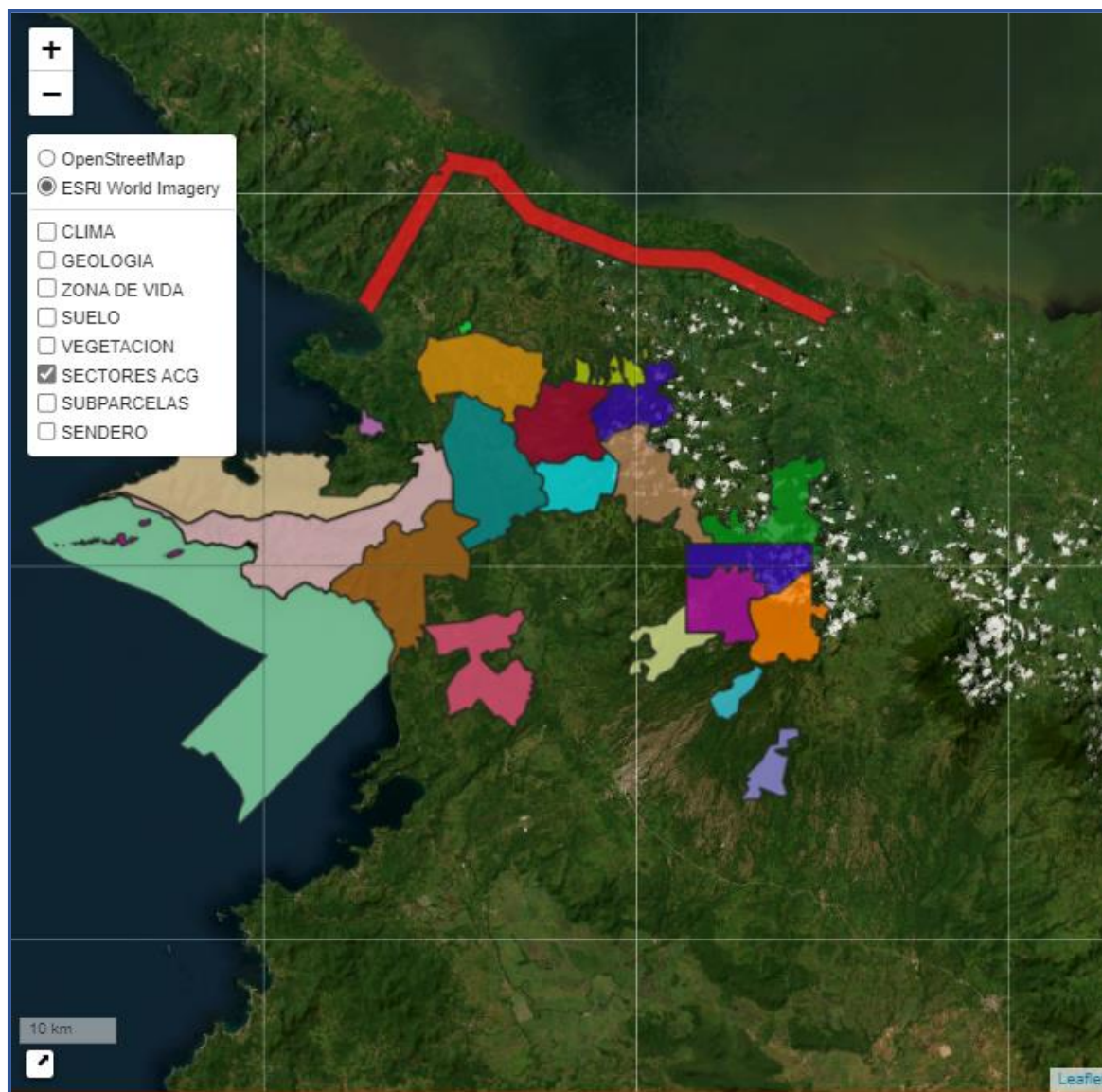


Figura 6. Visualización del mapa interactivo usando la biblioteca Leaflet.

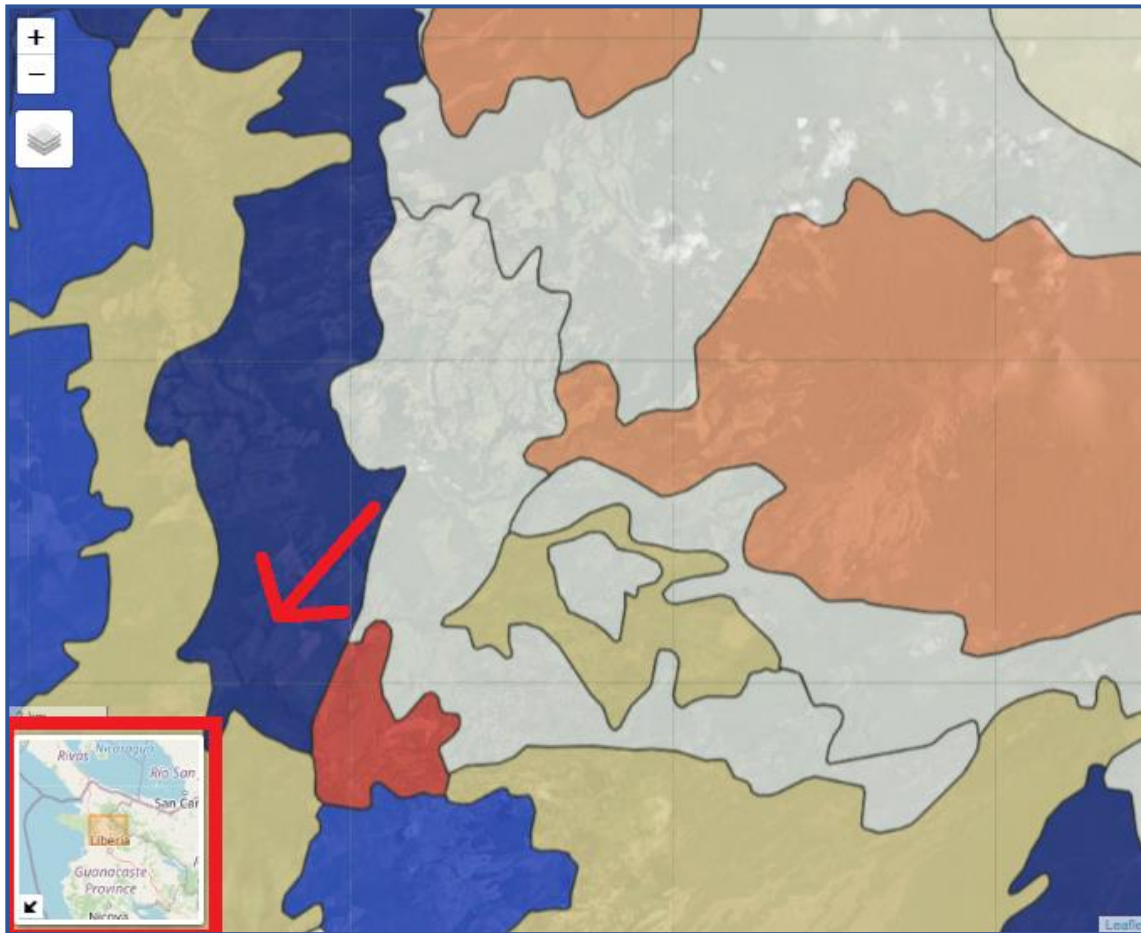


Figura 7. Uso del complemento Mini mapa de la biblioteca Leaflet.

Para incluir la información de estas estas bibliotecas o complementos dentro de la aplicación, se deben poner el enlace al link o dirección de los archivos adicionales en el documento HTML en la sección “head”.

Para el diseño de la aplicación (figura 8) primeramente se toma en cuenta una pequeña sección introductoria a la información que va a estar a disposición del usuario, seguida esta sección se contempla otra sección para el mapa general, donde es posible

seleccionar tanto el mapa base como las distintas capas geográficas incorporadas a la BD. Siendo conscientes que uno de los principales elementos de interés para el usuario son las parcelas, se desarrolla un controlador que facilite la navegación hacia la parcela de interés. Contiguo al mapa base, se contempla una sección para la simbología de los atributos principales de las diferentes capas geográficas. Adicionalmente, se observa una sección donde se incluye la información de los enlaces WFS o WSM para que el usuario pueda acceder a la totalidad de la información cartográfica desde algún otro SIG.

La sección inferior de la aplicación está destinada propiamente para los datos de monitoreo forestal que pueden ser visualizados a través de una tabla de datos. Para agilizar y hacer más eficiente el proceso de selección de aquellos datos que son requeridos por el usuario, se añadió una serie de controles que generan condicionantes que cumplen la función de filtros para la información. De esta manera, el usuario tendrá disponible sólo la información que es de su interés y no tendrá que trabajar con la totalidad de los datos. Asimismo, se crea un botón que le permite al usuario descargar en formato Excel aquellos datos seleccionados.

Actualización y Mantenimiento

La estructura de la BD está diseñada para una incorporación fácil y ágil de nuevos datos para cada una de las entidades desde el programa QGIS, siendo un software previamente usado por varios de los futuros usuarios de la aplicación. Como se mencionó anteriormente, por medio de la extensión de PostGIS, es posible manipular la BD desde QGIS, con la ventaja que este software brinda una interfaz más amena, y no le exige al usuario un conocimiento previo en programación o similar. Cabe recordar que, si bien por medio de QGIS se pueden actualizar tanto los datos tabulares como

espaciales, estos deben respetar la estructura del modelo de BD preestablecido, sobre todo cuando existen llaves foráneas; además, se debe seguir el adecuado orden para poder introducir los datos, ya que de lo contrario no será posible la incorporación a la BD.



Figura 8. Diseño de la Aplicación SIG WEB para el monitoreo Forestal.

Capítulo 4. Resultados

4.1. Diseñar e implementar las bases de datos de información de mediciones forestales del Parque Nacional Santa Rosa y cartografía del Área de Conservación Guanacaste, mediante el sistema gestor de base de datos PostgreSQL/PostGIS.

Estructura de los datos

Debido a la estructura inicial de los datos designados para incluir en el proyecto, se hace una reestructuración de estos (figura 9). Los datos iniciales consistían en dos archivos Excel con datos de mediciones forestales según el estadio de la parcela (temprano o tardío), esos datos se reformaron en cuatro tablas Excel según la temática de la información contenida: mediciones, individuos, especies y observaciones; además, se elaboró un archivo GEOPACKAGE (GPKP) para la información de subparcelas a la que se le graficaron espacialmente los límites de cada subparcela.

Conjuntamente, se agrega información cartografía de aspectos físicos o ambientales del ACG con el propósito de complementar el análisis de las parcelas con información del entorno donde se encuentran. Esta información hace referencia a siete archivos tipo GPKP con información de suelos, senderos, geología, vegetación, clima, zonas de vida y sectores del ACG. Estos datos igualmente se le hace un control de calidad tanto para las tablas de atributos asociadas como los objetos espaciales. Cada GPKP se le definió el sistema de referencia oficial para el país (CR05/CRTM05) cuyo EPSG es el 5367. La mayoría de las capas geográficas corresponden a polígonos a excepción de los senderos que su geometría son líneas.

En la figura 9, se observan los dos archivos Excel iniciales que luego del proceso de estructuración resulta en cuatro tablas representadas en color verde claro, más una tabla adicional en verde oscuro ya que la información de las subparcelas deja de ser simplemente datos tabulares y pasan a tener además información espacial. Asimismo, a la BD se le incorporan las siete capas geográficas que se mencionaron anteriormente.

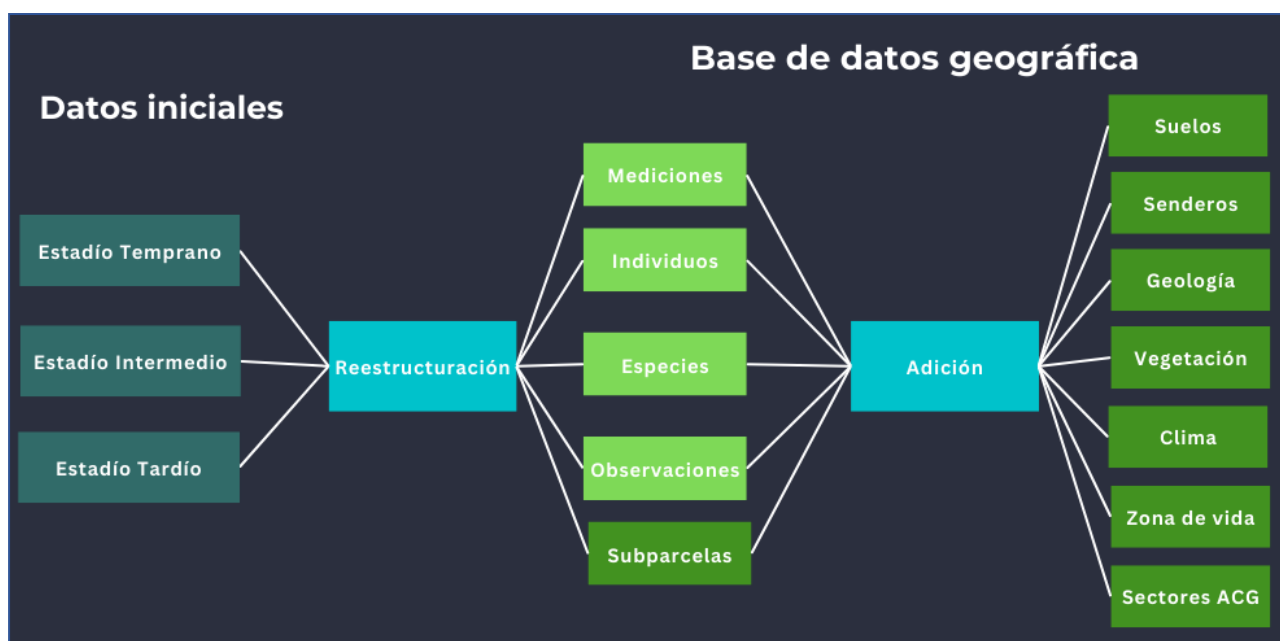


Figura 9. Reestructuración de los datos para la aplicación SIG WEB.

Modelado de las entidades de la base de datos.

Tras el diseño de la BD se observa que las relaciones entre las diferentes entidades presentan una cardinalidad "1: N" lo que quiere decir que un elemento de una entidad puede tener mucha cantidad de elementos de otra entidad, por ejemplo, una

subparcela puede tener muchos individuos. Esta cardinalidad también indica cuál de las entidades es la que debe tener la llave foránea (llave primaria de la entidad con la que está relacionada), para estos casos en concreto, son las entidades que corresponde a la parte de la cardinalidad “N” la llave foránea, además de su propia llave primaria.

En la etapa del modelo lógico se caracterizaron cada entidad y sus atributos (tabla 3), se identifica el tipo de dato (texto o numérico), la descripción de la información del atributo, su longitud máxima, si puede haber datos nulos para este atributo, y si tienen alguna restricción, incluida si corresponde a una llave a la llave primaria de la entidad.

Tabla 3: Descripción de los atributos de cada entidad de la base de datos.

Entidad	Nombre	Tipo	Descripción	Longitud	Nulos	Restricciones
CLIMATE	ID_CLIME	Entero	Representa el identificador del clima		NO	Llave candidata
	TYPE	Texto	Representa el nombre del tipo de clima presente en el lugar	25	NO	
	CODE_SUBCLIME	Texto	Representa el código del subclima presente en el lugar	10	NO	
	DESCRIPTION	Texto	Representa una breve descripción del tipo de clima	255	NO	
GEOLOGY	ID_GEOLOGY	Entero	Representa el identificador de la geología		NO	Llave candidata
	SYMBOLGY	Texto	Representa el código de la geología presente en el lugar	10	NO	
	TYPE	Texto	Representa tipo de formación geológica presente en el lugar	50	NO	
	FORMATION	Texto	Representa el nombre y/o descripción de la formación presente en el lugar	255	SI	
INDIVIDUALS	ID_INDIVIDUAL	Entero	Representa el identificador del individuo		NO	Llave candidata
	CODE_INDIVIDUAL	Texto	Representa el código del individuo	10	NO	
	N_SPECIE	Entero	Representa el número de especie del individuo		SI	
	INDIVIDUAL	Entero	Representa el número del individuo		SI	
	PLATE	Texto	Representa el número de placa del individuo	10	NO	
	COORD_X_MTS	Número	Representa la coordenada X del individuo	7,2	SI	
	COORD_Y_MTS	Número	Representa la coordenada Y del individuo	7,2	SI	
COMMENTS	Texto	representa otros comentarios del individuo	255	SI		
LIVE_ZONE	ID_LZ	Entero	Representa el identificador de la zona de vida		NO	Llave candidata
	SYMBOL	Texto	Representa el código de la zona de vida presente en el lugar	10	NO	
	NAME	Texto	Representa el nombre de la zona de vida presente en el lugar	255	NO	
MEASURES	ID_MEASURE	Entero	Representa el identificador de la medición forestal		NO	Llave candidata
	NAME	Texto	Representa el nombre de la medición forestal	25	NO	
	DESCRIPTION	Texto	Representa la descripción de la medición forestal	255		
	UNIT	Texto	Representa la unidad de la medición forestal	25		
OBSERVATIONS	ID_OBSERVATION	Entero	Representa el identificador de la observación		NO	Llave candidata
	VALUE	Número	Representa el dato de medición correspondiente a la observación	16,1	NO	
	YEAR	Entero	Representa el año en el que se toma la observación		NO	
	COMMENTS	Texto	Representa los comentarios de las observaciones hechas	255		
SECTORS_ACG	ID_SECTOR	Entero	Representa el identificador del sector del ACG		NO	Llave candidata
	NAME	Texto	Representa el nombre del sector	150	NO	
	CATEGORY	Texto	Representa la categoría de protección para el sector	150		
	PROTECTED_AREA	Texto	Representa el área de protección al que pertenece cada sector	150		
	AREA_KM2	Número	Representa el área en Kilometros cuadrados del sector	10,2	NO	
SOIL	ID_SOIL	Entero	Representa el identificador del tipo de suelo		NO	Llave candidata
	KEY	Texto	Representa el código del suelo presente en el lugar	10	NO	
	SOIL_TYPE	Texto	Representa el tipo de suelo presente en el lugar	50	NO	
	ORDER	Texto	Representa el orden del tipo de suelo presente en el lugar	10	NO	
SPECIES	ID_SPECIE	Entero	Representa el identificador de la especie		NO	Llave candidata
	CODE_SPECIE	Texto	Representa el código de la especie	10	NO	
	NAME	Texto	Representa el nombre científico de la especie	50	NO	
	GENERA	Texto	Representa el género de la especie	50	SI	
	SPECIE	Texto	Representa al tipo de especie a la que pertenece	50	SI	
	FAMILY	Texto	Representa la familia a la que pertenece la especie	50	SI	
	AUTHOR	Texto	Representa al nombre del autor que descubrió la especie	50	SI	
SUBPLOT	ID_SUBPLOT	Entero	Representa el identificador de la subparcela		NO	Llave candidata
	KEY_SUBPLOT	Texto	Representa el código de la subparcela según el estadio, línea y subparcela	25	NO	
	STAGE	Texto	Representa el estado de estadio de las parcela	25	NO	
	LINE	Entero	Representa código de la columna en las parcela		NO	
	SUBPLOT	Entero	Representa el código de fila en las parcela		NO	
	CODE_PLOT	Texto	Representa el código de parcela según su estadio	10	NO	
TRAIL	ID_TRAIL	Entero	Representa el identificador del sendero		NO	Llave candidata
	NAME	Texto	Representa el nombre del sendero presente en el sector	50	SI	
	SECTOR	Texto	Representa el sector en el que se encuentra el sendero	50	NO	
	EXTENSION_MTS	Número	Representa la extensión en mts del sendero	10,2	NO	
VEGETATION	ID_VEGETATION	Entero	Representa el identificador de la vegetación		NO	Llave candidata
	SYMBOL	Texto	Representa el código de la vegetación presente en el lugar	25	NO	
	DESCRIPTION	Texto	Representa la descripción de la vegetación presente en el lugar	255	NO	

El modelo físico se realizó con la ayuda del programa pgModeler el cual permite graficar la estructura de la BD siguiendo los criterios construidos en el modelo conceptual y modelo lógico. En la figura 10 se muestra el resultado del modelo físico generado por el software, se observa cómo a diferencia del MER (Figura 2) del modelo conceptual en el modelo físico se le incorpora gran parte de la caracterización hecha en el modelado lógico. Cada atributo indica su tipo de datos, su extensión, se muestran las restricciones como la ausencia o presencia de datos nulos y si el dato corresponde a la llave primaria de la entidad. Adicionalmente, esta herramienta hace una sección donde indica la llave primaria de la entidad y la llave foránea(s) producto de las relaciones con otras entidades.

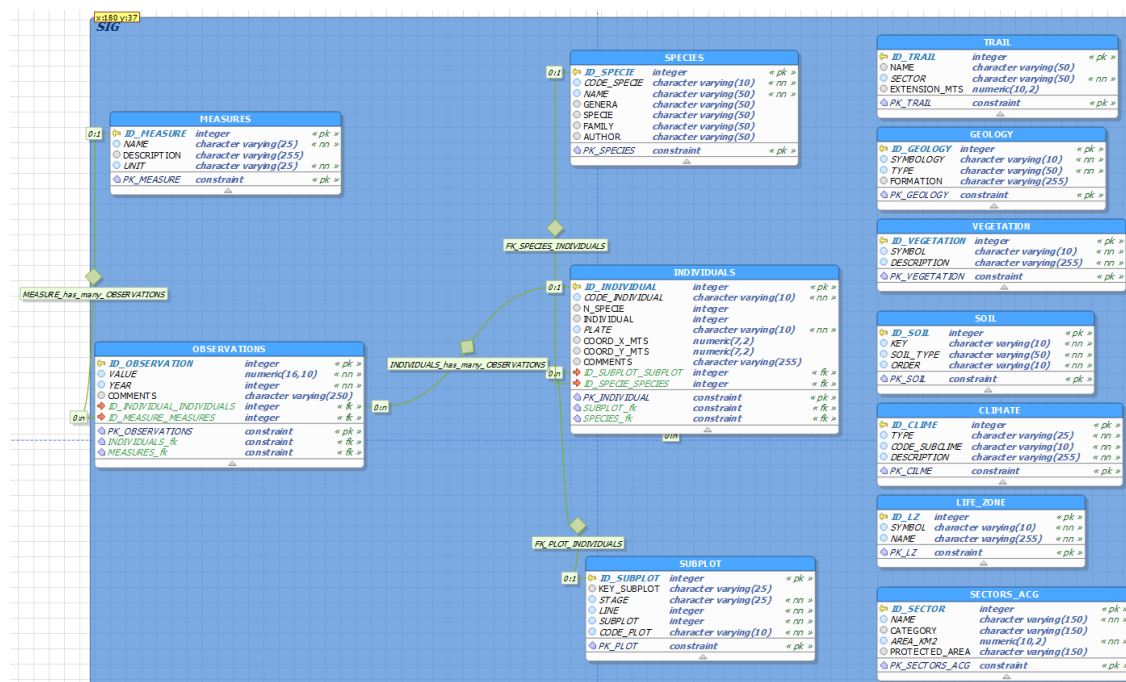


Figura 10. Diseño físico de la base de datos.

Igualmente, en la figura 10 se puede observar como las entidades tabulares requieren tener relaciones donde se generen llaves foráneas para poder vincular las entidades, lo cual es indispensable en la base de datos. El caso específico de la entidad de Subparcelas (SUBPLOT) siendo una entidad geográfica sirve de enlace entre la información tabular y los demás datos geográficos, por ello su llave primaria sirve de llave foránea en la entidad de individuos (INDIVIDUALS). Las relaciones entre entidades geográficas no se establecen como tal en la BD, ya que estas generan relaciones con cardinalidad “N:M” (muchos a muchos) y es más factible realizar la relación de las entidades geográficas por consulta espacial con software como QGIS.

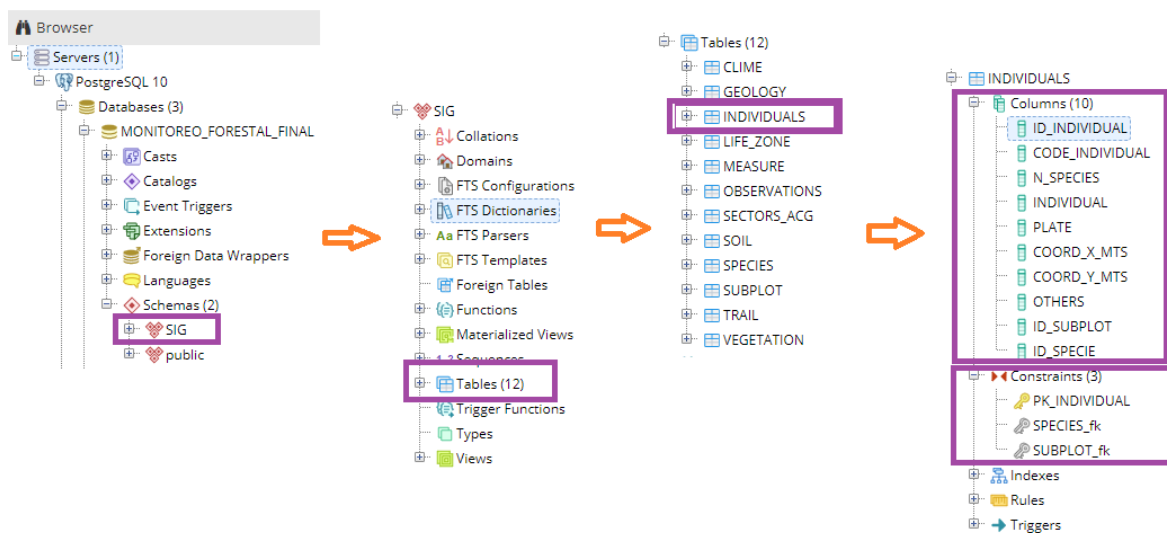


Figura 11. Visualización de los principales elementos de la BD en PostgreSQL.

Para implementar la BD en PostgreSQL se requirió del modelo físico graficado en “pgModeler” y la conexión con QGIS, que permite hacer la transferencia o consulta de

los datos. En la figura 11 se observa algunos componentes relevantes contenidos en el SGBD PostgreSQL, primeramente, se visualiza el esquema "SIG" donde propiamente se encuentran almacenados los datos. Dentro del esquema se pueden seleccionar diferentes opciones, la que concierne propiamente a las 12 entidades de la BD es la sección de "tables". Para cada "table" (entidad) hay varias opciones de selección como la sección "Columns" que corresponden a los atributos de la entidad y en la sección "Constraints" que, para este caso específico, se ubican las llaves primarias y foráneas, las cuales corresponden a las restricciones consideradas en el presente proyecto. Es importante indicar que en las primeras opciones del esquema se ubica la sección de "Extensions" donde se crea la extensión PostGIS que hace posible el enlace entre PostgreSQL con QGIS y Geo Server.

El SGBD PostgreSQL no solo permite almacenar datos, también se puede hacer consulta o editar los datos, por ejemplo, se puede seleccionar los primeros 20 registros de la entidad "SPECIES", a la vez que estos registros deben ser ordenados por el atributo "GENDER" (figura 12): utilizando los siguientes comandos en la ventana de consultas:

```
SELECT * FROM "SIG"."SPECIES"  
ORDER BY "GENDER" ASC LIMIT 20
```

Data Output Explain Messages Notifications Query History						
	ID_SPECIE integer	CODE_SPECIE character varying (10)	NAME character varying (50)	GENDER character varying (50)	SPECIE character varying (50)	FAMILY character varying (50)
1	2	ACCOL	Acacia collinssi	Acacia	collinssi	Fabaceae/Mim.
2	4	ACspFA	Acacia sp	Acacia	sp	Fabaceae/Mim.
3	3	ACPAN	Acosmium panamense	Acosmium	panamense	Fabaceae/Pap.
4	1	ACACU	Acrocomia aculeata	Acrocomia	aculeata	Arecaceae
5	5	ALADI	Albizia adinocephala	Albizia	adinocephala	Fabaceae/Mim.
6	6	ALCOS	Alchornea costaricensis	Alchornea	costaricensis	Euphorbiaceae
7	7	ALEDU	Alibertia edulis	Alibertia	edulis	Rubiaceae
8	8	ALOCC	Allophylus occidentalis	Allophylus	occidentalis	Sapindaceae
9	9	ALspSA	Allophylus sp	Allophylus	sp	Sapindaceae
10	10	AMPAN	Amphilophium paniculat...	Amphilophium	paniculatum	Bignoniaceae
11	11	APMEM	Apeiba membranacea	Apeiba	membranacea	Malvaceae
12	13	APTIB	Apeiba tibourbou	Apeiba	tibourbou	Malvaceae
13	12	APspMA	Apeiba sp	Apeiba	sp	Malvaceae
14	14	ARPAT	Arrabidaea patellifera	Arrabidaea	patellifera	Bignoniaceae
15	16	ASsp	Asteraceae sp	Asteraceae	sp	[null]
16	15	ASGRA	Astronium graveolens	Astronium	graveolens	Anacardiaceae
17	17	ATHER	Ateleia herbert-smithii	Ateleia	herbert-smithii	Fabaceae/Pap.
18	18	ATsp	Ateleia sp	Ateleia	sp	[null]
19	19	BAUNG	Bauhinia unguolata	Bauhinia	unguolata	Fabaceae/Caes.
20	20	BOQUI	Bombacopsis quinata	Bombacopsis	quinata	Malvaceae

Figura 12. Visualización del resultado de la consulta para los primero 20 registros de la entidad de especies ordenados según el género.

4.2. Realizar la publicación WEB de las bases de datos provenientes PostgreSQL por medio del geo servidor web de código abierto GeoServer.

La extensión de PostGIS permitió la exportación de la BD a GeoServer. En la figura 13 se observan en la sección de “Capas” las diferentes entidades tomadas en cuenta en la BD, primeramente, se observa el “Tipo” de capa, estos varían entre tres tipos, capas poligonales como “CLIMATE” o “GEOLOGY”, las capas lineales como “TRAIL” y las capas no vectoriales como “INDIVIDUALS” o “SPECIES”. Asimismo, se indica el nombre de las capas y el almacén donde se alojan, los cuales coinciden con sus correspondientes en la SGBD. Adicionalmente, para cada capa se observa el SRS nativo, las capas vectoriales tienen código EPSG: 5267 el cual corresponde a la proyección oficial para Costa Rica;

por otro lado, las capas no vectoriales por su naturaleza no tienen información espacial asociada, en estos casos, GeoServer al no encontrar información de proyección en sus datos de origen, les asigna por defecto un EPSG: 404000.

The screenshot shows the GeoServer administration interface. The main content area displays a table of layers under the heading 'Capas'. The table has columns for 'Tipo', 'Title', 'Nombre de la capa', 'Almacén', 'Habilitada?', and 'SRS nativo'. The 'joined' layer is highlighted in green, indicating it is selected. The 'SRS nativo' for this layer is 'EPSG:404000', which is the default projection assigned by GeoServer when no projection information is found in the source data.

Tipo	Title	Nombre de la capa	Almacén	Habilitada?	SRS nativo
<input type="checkbox"/>	CLIMATE	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:CLIMATE	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:5367
<input type="checkbox"/>	GEOLOGY	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:GEOLOGY	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:5367
<input type="checkbox"/>	INDIVIDUALS	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:INDIVIDUALS	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:404000
<input type="checkbox"/>	LIFE_ZONE	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:LIFE_ZONE	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:5367
<input type="checkbox"/>	MEASURES	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:MEASURES	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:404000
<input type="checkbox"/>	OBSERVATIONS	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:OBSERVATIONS	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:404000
<input type="checkbox"/>	SECTORS_ACG	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:SECTORS_ACG	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:5367
<input type="checkbox"/>	SOIL	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:SOIL	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:5367
<input type="checkbox"/>	SPECIES	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:SPECIES	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:404000
<input type="checkbox"/>	SUBPLOT	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:SUBPLOT	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:5367
<input type="checkbox"/>	TRAIL	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:TRAIL	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:5367
<input type="checkbox"/>	VEGETATION	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:VEGETATION	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:5367
<input type="checkbox"/>	joined	MONITOREO_FORESTAL_FINAL:joined	MONITOREO_FORESTAL_FINAL	✓	EPSG:404000

Figura 13. Visualización de las capas almacenadas en GeoServer.

En la figura 13 se observa una décimo tercera capa no vectorial que corresponde a la capa resultante al crear la vista SQL para unir las capas no vectoriales entre ellas y con la capa "SUBPLOT". Por otra parte, en la figura 14 se observan los atributos de interés de las diferentes entidades unidas con la sentencia SQL, para cada uno de los atributos se especifica el nombre, tipo de dato y si se permiten datos nulos. Esta vista al igual que las demás capas, se puede publicar en formato WMS, lo que permitirá incorporar los datos en la aplicación SIG WEB desarrollada.

Propiedad	Tipo	Nulo permitido
KEY_SUBPLOT	String	true
STAGE	String	false
LINE	Integer	false
SUBPLOT	Integer	false
DATE	Integer	false
COMMENTS	String	true
MEASURE_NAME	String	false
VALUE	String	true
DESCRIPTION	String	true
CODE_INDIVIDUAL	String	false
N_SPECIES	Integer	true
INDIVIDUAL	Integer	true
PLATE	String	false
COORD_X_MTS	BigDecimal	true
COORD_Y_MTS	BigDecimal	true
OTHERS	String	true
CODE_SPECIE	String	false
SPECIES_NAME	String	false
GENDER	String	true
SPECIE	String	true
FAMILY	String	true
AUTHOR	String	true

Figura 14. Atributos resultantes de la vista SQL para unión de las entidades.

La simbología de las capas vectoriales cumple un papel importante para la comprensión de la información, en GeoServer el estilo de simbología se puede exportar desde QGIS y asignarla a la capa deseada, este estilo se aplicará en la previsualización de las capas, en la figura 15 se observa el resultado de la previsualización en formato OpenLayers de la capa que contiene los sectores del ACG.

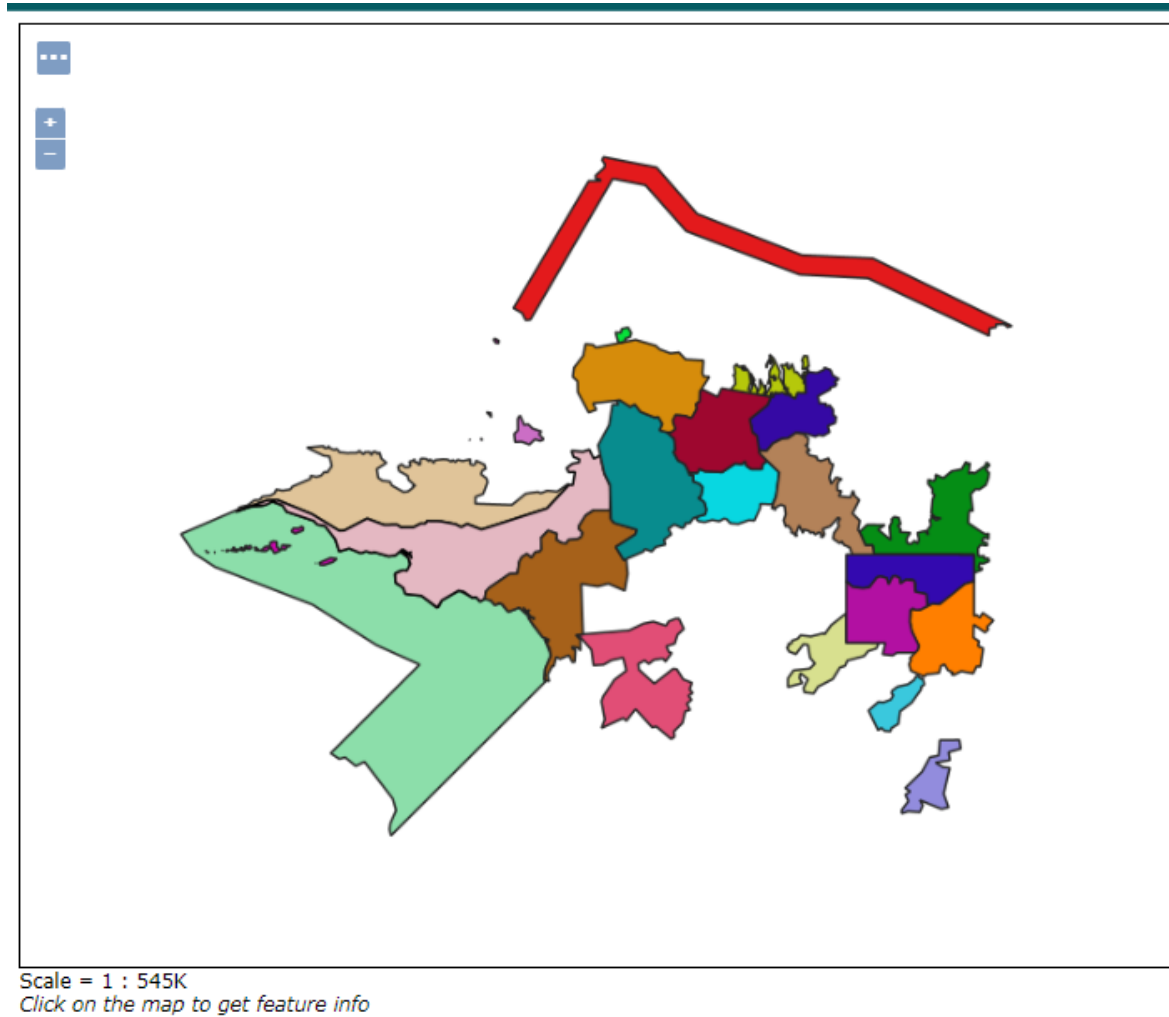



Figura 15. Previsualización en formato OpenLayers de la Entidad Sectores del ACG.

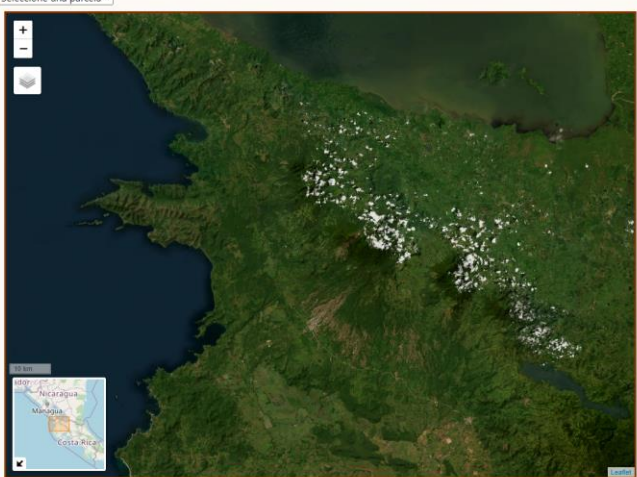
Cabe destacar que al usar la extensión PostGIS para la conexión entre PostgreSQL y GeoServer, toda modificación que se realiza en la primera se puede observar sincrónicamente en la segunda. Finalmente, una vez exportada la información de PostgreSQL a GeoServer, publicadas las capas con su respectivo estilo y creada la unión entre las capas no vectoriales con las subparcelas se procede a diseñar e implementar la aplicación SIG WEB.

En la parte inferior se encuentra la sección destinada para gestionar, visualizar y descargar la información de las subparcelas y datos no vectoriales. Además, se cuentan con una serie de botones y enlaces que facilitan la gestión de la información. En la figura 17, se observa la implementación de la aplicación SIG WEB en donde además de las secciones principales mencionadas anteriormente, están presentes una serie de elementos generados para complementar las secciones principales y hacer más eficiente el proceso de selección o búsqueda de la información del interés del usuario.

Proyecto de monitoreo Forestal 

El Proyecto de Monitoreo Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico Nacional, pone a su disposición datos de las mediciones realizadas en las diferentes parcelas estudiadas en el Parque Nacional Santa Rosa, la cual se es parte de Área de Conservación Guanacaste, en la provincia Guanacaste, Costa Rica.

Seleccione una parcela



Simbología

- Senderos**
 - Cacao
 - Orosi
 - Piñilla
 - San Cristobal
 - Santa Rosa
- Subparcelas**
 - Intermedio
 - Tardío
 - Temprano
- Vegetación**
 - Bosque lluvioso tropical
 - Vegetación tropical
 - Bosque tropical
 - Bosque siempreverde
 - Bosques deciduos
 - Bosques semideciduos
 - Vegetación arbustiva...
 - Sabana
 - Pantanos
 - Manglares
- Suelos**
 - FLUVENTIC DYSTROPEPT
 - FLUVENTIC USTIC DYSTROPEPT
 - FLUVENTIC USTROPEPT
 - HYDRIC DYSTRANDEPT
 - LITHIC DYSTRANDEPT
 - LITHIC USTORTMENT
 - LITHIC USTROPEPT
 - OXIC DYSTROPEPT
 - TYPIC ARGUSTOLL
 - TYPIC DYSTRANDEPT
 - TYPIC DYSTROPEPT
 - TYPIC PELLUSTERT
 - TYPIC TROPOLQUEPT
 - TYPIC USTROPEPT
 - USTIC DYSTROPEPT
 - VERTIC USTROPEPT
- Clima**
 - Clima húmedo
 - Clima muy húmedo
 - Clima subhúmedo húme
 - Clima subhúmedo seco
- Geología**
 - Intrusiva
 - Sedimentaria
 - Volcánica
- Sectores ACG**
 - Corredor Fronterizo
 - Islas Protegidas
 - Sector Aguacatalas
 - Sector Cacao
 - Sector Camonal
 - Sector Del Oro
 - Sector El Hacha
 - Sector Horizontes
 - Sector Junguilla
 - Sector La Virgen
 - Sector Las Delicias
 - Sector Mainio
 - Sector Mundo Nuevo
 - Sector Mucoialago
 - Sector Orosi
 - Sector Pailas
 - Sector Piñilla
 - Sector Pococool
 - Sector Rancón Rainforest
 - Sector San Cristobal
 - Sector Santa Elena
 - Sector Santa María
 - Sector Santa Rosa

Excel

Custom Search Builder

Add Condition

Show 10 entries

Search:

KEY_SUBPLOT	STAGE	LINE	SUBPLOT	YEAR	COMMENTS	MEASURE_NAME	VALUE	DESCRIPTION	CODE_INDIVIDUAL	N_SPECIES	INDIVIDUAL	PLATE	COORD_X_MTS	COORD_Y
CR1E1_L10SP1	EARLY	10	1	2014		Circunference	20.3	Circunferencia del árbol	E-2154	1	1	10-1-1	6	3
CR1E1_L10SP1	EARLY	10	1	2014		Circunference	21.3	Circunferencia del árbol	E-2155	2	2	10-1-2	6.2	4
CR1E1_L10SP1	EARLY	10	1	2014		Circunference	15.4	Circunferencia del árbol	E-2156	2	3	10-1-3	6.2	4
CR1E1_L10SP1	EARLY	10	1	2014		Circunference	18.399999999999999	Circunferencia del árbol	E-2157	3	4	10-1-4	7	7.5
CR1E1_L10SP1	EARLY	10	1	2014		Circunference	16.7	Circunferencia del árbol	E-2158	4	5	10-1-5	7	8.3
CR1E1_L10SP1	EARLY	10	1	2014		Circunference	32.799999999999997	Circunferencia del árbol	E-2159	5	6	10-1-6	6	9.7
CR1E1_L10SP1	EARLY	10	1	2014		Circunference	20.2	Circunferencia del árbol	E-2160	6	7	10-1-7	4.5	9
CR1E1_L10SP1	EARLY	10	1	2014		Circunference	46.5	Circunferencia del árbol	E-2161	7	8	10-1-8	9.6	8

Showing 1 to 10 of 59,427 entries

Figura 17. Visualización aplicación SIG WEB.

En la parte superior se presenta una pequeña sección introductoria de la información disponible. Con el fin de proporcionar mayor eficiencia, se genera en la parte superior del mapa principal un botón donde se puede seleccionar la parcela de interés, una vez seleccionada la parcela, el mapa se ubicará en el punto exacto donde se encuentra la parcela. Si el usuario de la aplicación requiere hacer alguna consulta adicional de los atributos de las capas vectoriales, en la parte inferior de la sección de simbología se encuentran los enlaces para las conexiones WMS o WFS, los cuales se pueden acceder desde SIG como QGIS. También, se encuentra disponible el enlace que redirige al usuario a otra página donde se puede visualizar el diagrama de las parcelas, con el fin de que el usuario tenga presente la distribución de las subparcelas.

En la parte inferior de la aplicación se encuentran una serie de elementos orientados a la gestión de los datos tabulares de la información de monitoreo forestal y subparcelas. Inicialmente, se halla un botón "Excel" para exportar los datos en como una hoja de cálculo de Microsoft Excel, con los datos totales o bien el resultado generado de la búsqueda personalizada utilizando la sección "Custom Search Builder" y los diferentes condicionantes seleccionados a por el usuario según sus necesidades. Los resultados de la búsqueda se actualizan a la vez que el usuario va estableciendo los parámetros que requiere.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Es común que muchos proyectos, investigaciones o instituciones generen gran cantidad de información muy valiosa, pero en ocasiones esta información no puede ser aprovechada en la mejor manera, por causas como una mala gestión, deficientemente almacenamiento, limitado acceso, falta de control de calidad de la información, entre otras. El presente proyecto logró con satisfacción cumplir con los objetivos establecidos, donde el diseño de la BD para monitoreo forestal solventa algunas de las carencias anteriores presente en los datos originales, que limitaban hacer un uso eficiente de la información disponible. Además, esta información se complementó con información cartográfica de aspectos físicos o ambientales del área en el que se encuentran las parcelas en estudio, lo que resultan un buen complemento para comprender el contexto de estas.

El poder desarrollar todo el proceso del diseño a la BD, la publicación web y la aplicación SIG WEB con recursos de libre acceso y gratuitos, demuestra que es posible desarrollar un proyecto de esta índole sin necesidad de depender de software o recursos licenciados. La adquisición este tipo herramienta licencias puede implicar una inversión financiera significativamente mayor, por lo que este aspecto es fundamental al momento de planificar proyectos.

El uso de bibliotecas como Leaflet, sus complementos o códigos para diferentes funciones disponibles en la web, fueron de gran valor para el desarrollo de este proyecto. Este tipo de instrumentos agilizaron el proceso de desarrollar algunos de los elementos de la aplicación; no obstante, el poder emplear cada una de ellas o incorporarlas a la aplicación conlleva un esfuerzo de comprensión y adaptación del

código a las propiedades de datos con los que se está trabajando.

Se cumplió con el propósito tener una aplicación donde el usuario pudie visualizar y acceder ágilmente a información actualizada de tipo tabular y/o cartográfica, permitiéndole realizar un primer análisis general, a la vez que disponen de herramientas para acceder a información más detallada, en caso de requerir realizar un análisis más exhaustivo. Por ejemplo, al ingresar a la aplicación se puede visualizar información cartográfica sobre el tipo de suelos (principal atributo de la entidad suelos), a la vez, se pone a disposición los enlaces para las conexiones WFS y WMS, en caso de que el usuario requiera acceder a la totalidad de la información de esta entidad por medio de software como QGIS. Del mismo modo, al ingresar a la aplicación es posible visualizar la totalidad de los datos de monitoreo forestal; no obstante, el usuario puede agregar una serie de condicionantes que sirven como filtro para obtener únicamente la información que requiera en el momento. Adicionalmente, se tiene la opción de exportar esa información a un archivo tipo Excel y de ser preciso, hacer algún otro análisis más concreto, cómo por ejemplo realizar análisis estadísticos.

La interconexión entre los diferentes software o herramientas con las que se desarrolló el proyecto permite una fácil actualización o mantenimiento de la información desde un software como QGIS, el cual posee una interfaz amigable y no exige un amplio conocimiento del área de la informática. Lo anterior es de gran relevancia, ya que la aplicación sólo contempló dos de las parcelas en estudio y se pretende incluir dentro de la aplicación la información correspondiente a las observaciones de los individuos las parcelas restantes. Del mismo modo, para la información cartográfica, igualmente, el administrador puede manipular y adicionar la información por medio de QGIS según se requiera o se considera necesario.

De este modo el proyecto alcanzó a cumplir con éxitos los objetivos propuestos,

logrando desarrollar una aplicación que proveer a sus usuarios, tanto información cartográfica como tabular de interés. Permitiendo un análisis primario de la información, a la vez que proporciona facilidades en el caso de requerir un análisis más exhaustivo. Finalmente, la aplicación fue planeada para un fácil mantenimiento y actualización por medio de QGIS.

5.2. Recomendaciones

Para el proyecto sólo se contemplaron dos de las parcelas en estudio en el período comprendido entre el año 2013 a 2018, por lo que se requiere la incorporación de los datos de las demás parcelas y años no contemplados. Primeramente, se deben revisar los datos que se desean incluir en la BD, con el fin de que estos no presenten incongruencias con el diseño y estructura de la base de datos. Es recomendable que la persona que se encargue de este proceso de actualización y mantenimiento tenga conocimiento básico de BD, para que pueda solventar los posibles inconvenientes que por alguna razón se den el proceso.

Para que la aplicación funcione de una manera eficiente y pueda ser compartida por más usuarios, el Proyecto de Monitoreo Forestal puede optar por solicitar ante las autoridades pertinentes dentro del TEC, la colaboración para obtener acceso a un servidor donde se almacene los diferentes elementos que hacen posible que la aplicación funcione. El poder optar por un servidor podría suponer una respuesta más rápida antes las solicitudes de los usuarios, así como, tener la oportunidad de poder consultar a la aplicación de manera remota en caso de que el usuario no se encontrase en la oficina. En el caso de no poder tener acceso a un servidor del TEC, es posible tomar en cuenta la adquisición de servidore en la WEB, considerando que día con día aumenta en el mercado la oferta servidores web con costos económicos apenas significativos. Tomando en cuenta lo anterior, el Proyecto de Monitoreo Forestal podría

considerar dentro de su presupuesto la adquisición de un servidor Web.

La aplicación cumple con todos los objetivos planteados para el presente proyecto y puede considerarse como una opción inicial para el sitio web del Proyecto Monitoreo Forestal; sin embargo, es posible evaluar si hay algún otro componente que el proyecto requiera incorporar a la aplicación, con el fin de agilizar, facilitar o aportar en las labores cotidianas de sus colaboradores. Además, se puede considerar la participación que podría brindar un profesional en el área de la informática si se desea perfeccionar los aspectos estéticos o funcionales de la aplicación.

Referencias bibliográficas

Área de Conservación Guanacaste. (2022, 27 junio) *Sector Santa Rosa*.
<https://www.acguanacaste.ac.cr/turismo/sector-santa-rosa/sector-santa-rosa>

Agafonkin, V. (2022). *Leaflet*. <https://leafletjs.com/reference-1.3.4.html>

W3.CSS. (2023a). *CSS Tutorial*. <https://www.w3schools.com/css/>

W3.CSS. (2023b). *HTML Tutorial*. <https://www.w3schools.com/html/default.asp>

Díaz, A; Arias, M; Sanz, J. (2015). Servidores. En OS Geo-es (Ed.), *Panorama SIG Libre Documentation* (Versión 1.0, pp. 5-14). Recuperado el 21 de marzo del 2022, de <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/panorama-sig-libre/latest/panorama-sig-libre.pdf>

Domínguez, J (2000) *Breve introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Recuperado el 1 de mayo del 2019, de <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/38/115/38115075.pdf>

Gómez, R., León, P., Hilje, L. (2021) La biodiversidad de Costa Rica en dos siglos de vida independiente, y una mirada hacia el tricentenario. *Revista del Archivo Nacional de Costa Rica*, 85 (1), 1-44.
<http://www.dgan.go.cr/ran/index.php/RAN/article/view/529/435>

García, M. Font. O y González, V (2013) Geo server, más allá de un servidor WMS (VII Jornadas de SIG libre). El Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Universidad de Girona.

Mendoza, A y López, R. (2018). *Bases de datos*.
URI: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151632>

Olaya, V (2014) *Sistemas de Información Geográfica*. CreateSpace.

Olaya, V (2020) *Sistemas de Información Geográfica*. CreateSpace.

Sánchez, J (2004) *Principios sobre bases de datos relacionales*, Creative Commons. <http://www.jorgesanchez.net/bd/bdrelacional.pdf>

SINAC (s.f.) *Parque Nacional Santa Rosa*. <http://www.sinac.go.cr/ES/ac/acg/pnsr/Paginas/default.aspx>

Silberschatz, A; Korth, S, Sudarshan (2002) *Fundamentos de bases de datos* (4 ed.) Mc Graw-HILL.

Radilla, F (2008) *Modelado de datos para base de datos espaciales. Caso de estudio: sistemas de información geográfica*. [Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica inédita]. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Departamento de Computación. México.

Vargas, G (2009) Turismo y espacios naturales protegidos en Costa Rica: enfrentamiento o concertación. *Revista Ciencias Sociales*, 123-124, 49-78. <https://doi.org/10.15517/rcs.v0i123-124.8814>

Vargas, Z (2009) La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33 (1), 155-165. <https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>

Yanza, A (2013) *Lineamientos para el desarrollo de aplicaciones SIG WEB*. [Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería Informática]. Escuela de Ingeniería. Universidad EAFIT. Colombia.

Anexos

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Archivo Excel brindado por el Proyecto de Monitoreo Forestal.....	67
Anexo 2. Código SQL para la unión de datos tabulares de la base de datos.....	68
Anexo 3. Código de programación del “índex” con extensión. HTML.....	69
Anexo 4. Código de programación del archivo “estilos” con extensión .css.....	72
Anexo 5. Código de programación del archivo “scripts” con extensión .js.....	74
Anexo 6. Código de programación del archivo “bd” con extensión .js.....	77

Anexo 1: Archivo Excel brindado por el Proyecto de Monitoreo Forestal.

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	# Sp	# individuo	Placa	Especie	Familia	Circunferencia_18 (cm)	DBH_18 (m)	Altura_18 (m)	Observaciones_18	Circunferencia_17 (cm)	Observaciones_17	Circunferencia_16 (cm)	DBH_16 (m)	Observaciones_16	Circunferencia_15 (cm)	DBH_15 (m)
532	4	5	4-10-5	Hymenaea courbaril	Fabaceae/Caes.	30,80	0,10			30,80		30,20	0,10		30,1	0,10
533	5	6	4-10-6	Luehea sp	Malvaceae	20,20	0,06			19,60			0,00	No apareció	19,7	0,06
534	6	7	4-10-7	Zuelania guidonia	Flacourtiaceae	32,30	0,10			29,90		28,00	0,09		27,5	0,09
535	7	8	4-10-8	Hymenaea courbaril	Fabaceae/Caes.	33,00	0,11			32,20		31,50	0,10		31,1	0,10
536	8	9	4-10-9	Cordia alliodora	Boraginaceae	22,80	0,07			22,30		22,50	0,07		22,2	0,07
537	1	1	5-1-1	SID		-88,00	-0,28			-88,00		-88,00	-0,28	Bejuco	21,2	0,07
538	2	2	5-1-2	Luehea speciosa	Malvaceae	194,40	0,62					149,40	0,48		149,3	0,48
539	2	3	5-1-3	Luehea speciosa	Malvaceae	107,00	0,34			106,00		105,80	0,34		106,3	0,34
540	4	4	5-1-4	Manilkara sp	Sapotaceae	30,80	0,10			30,00		29,50	0,09		28,6	0,09
541	5	5	5-1-5	Manilkara sp	Sapotaceae	23,00	0,07			22,10		21,30	0,07		21	0,07
542	6	6	5-1-6	Manilkara sp	Sapotaceae	26,20	0,08			26,00		25,00	0,08		24,5	0,08
543	7	7	5-1-7	Zuelania guidonia	Flacourtiaceae	23,90	0,08			23,40		23,00	0,07		22,1	0,07
544	8	8	5-1-8	Castilla elastica	Moraceae	40,10	0,13			31,40		25,00	0,08		23,7	0,08
545	9	9	5-1-9	Zuelania guidonia	Flacourtiaceae	29,60	0,09			26,80		24,20	0,08		23,3	0,07
546	10	10	5-1-10	Zuelania guidonia	Flacourtiaceae	18,00	0,06			16,80		17,00	0,05		16,4	0,05
547	8	11	5-1-11	Castilla elastica	Moraceae	16,10	0,05	7,00								
548	8	12	5-1-12	Castilla elastica	Moraceae	17,00	0,05	6,00								
549	1	1	5-2-1	Hymenaea courbaril	Fabaceae/Caes.	31,70	0,10			31,40		31,40	0,10		31,3	0,10
550	2	2	5-2-2	Manilkara sp	Sapotaceae	30,80	0,10			28,70		27,40	0,09		26,3	0,08
551	3	3	5-2-3	Cordia alliodora	Boraginaceae	34,90	0,11			33,90		31,60	0,10		30,4	0,10
552	4	4	5-2-4	Cordia alliodora	Boraginaceae	-88,00	-0,28			-88,00		-88,00	-0,28		20,4	0,06
553	5	5	5-2-5	Casearia sylvestris	Salicaceae	35,00	0,11			32,10		31,60	0,10		31,5	0,10
554	6	6	5-2-6	Zuelania guidonia	Flacourtiaceae	18,80	0,06			17,40		16,80	0,05		16,6	0,05
555	7	7	5-2-7	Luehea speciosa	Malvaceae	25,70	0,08			24,80		25,00	0,08		24,6	0,08
556	8	8	5-2-8	Zuelania guidonia	Flacourtiaceae	43,40	0,14			40,10		37,20	0,12		36,3	0,12
557	9	9	5-2-9	Castilla elastica	Moraceae	19,10	0,06	8,00								
558	10	10	5-2-10	Brosimum sp	Moraceae	17,30	0,06	7,00								
559	9	11	5-2-11	Castilla elastica	Moraceae	15,90	0,05	7,00								
560	9	12	5-2-12	Castilla elastica	Moraceae	15,20	0,05	9,00								
561	9	13	5-2-13	Castilla elastica	Moraceae	15,90	0,05	7,50								
562	1	1	5-3-1	Zuelania guidonia	Flacourtiaceae	26,10	0,08			24,10		22,90	0,07		22,3	0,07
563	2	2	5-3-2	Cupania guatemalensis	Sapindaceae	35,30	0,11			32,50		32,20	0,10		30,8	0,10
564	3	3	5-3-3	Luehea speciosa	Malvaceae	23,00	0,07			23,50		23,70	0,08	Con rebrotes	23,3	0,07
565	3	4	5-3-4	Luehea speciosa	Malvaceae	51,80	0,16			50,70		50,00	0,16		50,6	0,16
566	4	5	5-3-5	Guarea sp.	Meliaceae	28,20	0,09			26,80		26,60	0,08		26,5	0,08
567	5	6	5-3-6	Zanthoxylum	Rutaceae	26,60	0,08			27,00		28,20	0,08	Con rebrotes	27,7	0,08

Anexo 2: Código SQL para la unión de datos tabulares de la base de datos.

```

SELECT
"SUBPLOT"."KEY_SUBPLOT",          "SUBPLOT"."STAGE",          "SUBPLOT"."LINE",
"SUBPLOT"."SUBPLOT",          "OBSERVATIONS"."DATE",          "OBSERVATIONS"."COMMENTS",
"MEASURE"."NAME"
as
"MEASURE_NAME",          "OBSERVATIONS"."VALUE",          "MEASURE"."DESCRIPTION",
"INDIVIDUALS"."CODE_INDIVIDUAL",          "INDIVIDUALS"."N_SPECIES",
"INDIVIDUALS"."INDIVIDUAL", "INDIVIDUALS"."PLATE", "INDIVIDUALS"."COORD_X_MTS",
"INDIVIDUALS"."COORD_Y_MTS", "INDIVIDUALS"."OTHERS",          "SPECIES"."CODE_SPECIE",
"SPECIES"."NAME"
as
"SPECIES_NAME",          "SPECIES"."GENDER",          "SPECIES"."SPECIE",          "SPECIES"."FAMILY",
"SPECIES"."AUTHOR"
From          "SIG"."OBSERVATIONS"          JOIN          "SIG"."INDIVIDUALS"          ON
"SIG"."OBSERVATIONS"."ID_INDIVIDUAL" = "SIG"."INDIVIDUALS"."ID_INDIVIDUAL" JOIN
"SIG"."SPECIES" ON "SIG"."INDIVIDUALS"."ID_SPECIE" = "SIG"."SPECIES"."ID_SPECIE" JOIN
"SIG"."SUBPLOT" ON "SIG"."INDIVIDUALS"."ID_SUBPLOT" = "SIG"."SUBPLOT"."ID_SUBPLOT"
JOIN          "SIG"."MEASURE"          ON          "SIG"."OBSERVATIONS"."ID_MEASURE"          =
"SIG"."MEASURE"."ID_MEASURE"

```

Anexo 3: Código de programación del “índice” con extensión. HTML.

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="es">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <link      rel="stylesheet"      href="https://unpkg.com/leaflet@1.5.1/dist/leaflet.css"
  integrity="sha512-
  xwE/Az9zrjBlphAcBb3F6JVqxf46+CDLwflMHloNu6KEQCAWi6HcDUbeOfBlptF7tcCzusKFjFw2
  yuvEpDL9wQ==" crossorigin=""/>
  <link rel="stylesheet" href="css/estilos.css"/>
  <script src="js/scripts.js"></script>
  <script src="js/bd.js"></script>
  <script      src="https://unpkg.com/leaflet@1.5.1/dist/leaflet.js"      integrity="sha512-
  GffPMF3RvMeYyc1LWMHtK8EbPv0iNZ8/oTtHPx9/cc2ILxQ+u905qlwdpULaqDkyBKgOaB57Q
  TMg7ztg8Jm2Og==" crossorigin=""></script>
  <script src="js/scripts.js"></script>
  <script      src="https://code.jquery.com/jquery-3.3.1.min.js"      integrity="sha256-
  FgpCb/KJQlLNfOu91ta32o/NMZxltwRo8QtmkMRdAu8="      crossorigin="anonymous">
  </script>
  <script src="js/leaflet-providers.js"></script>
  <script      src="https://code.jquery.com/jquery-3.3.1.min.js"      integrity="sha256-
  FgpCb/KJQlLNfOu91ta32o/NMZxltwRo8QtmkMRdAu8="      crossorigin="anonymous">
  </script>
  <link      rel="stylesheet"      type="text/css"      href="Leaflet-MiniMap-
  master/dist/Control.MiniMap.min.css">
  <script src="Leaflet-MiniMap-master/dist/Control.MiniMap.min.js"></script>
  <link      rel="stylesheet"      href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/twitter-
  bootstrap/5.2.0/css/bootstrap.min.css">
  <link      href="https://cdn.datatables.net/1.12.1/css/dataTables.bootstrap5.min.css"
  rel="stylesheet" type="text/css" />
  <script      src="https://cdn.datatables.net/1.12.1/js/dataTables.bootstrap5.min.js"
  charset="utf-8"></script>
  <script src="http://code.jquery.com/jquery-1.9.1.min.js"></script>
  <script src="https://cdn.datatables.net/1.12.1/js/jquery.dataTables.min.js"></script>
  <link
  rel="stylesheet"
  href="https://cdn.datatables.net/buttons/2.2.3/css/buttons.bootstrap5.min.css">
  <script      src="https://cdn.datatables.net/buttons/2.2.3/js/dataTables.buttons.min.js"
  charset="utf-8"></script>
  <script      src="https://cdn.datatables.net/buttons/2.2.3/js/buttons.bootstrap5.min.js"

```

```

charset="utf-8"></script>
<script src="https://cdn.datatables.net/buttons/2.2.3/js/buttons.html5.min.js"
charset="utf-8"></script>
<script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/jszip/3.1.3/jszip.min.js" charset="utf-
8"></script>
<link rel="stylesheet"
href="https://cdn.datatables.net/searchbuilder/1.3.4/css/searchBuilder.bootstrap5.min.css"
">
<script
src="https://cdn.datatables.net/searchbuilder/1.3.4/js/dataTables.searchBuilder.min.js"
charset="utf-8"></script>
<script
src="https://cdn.datatables.net/searchbuilder/1.3.4/js/searchBuilder.bootstrap5.min.js"
charset="utf-8"></script>

<title>Proyecto de monitoreo Forestal</title>

</head>

<body>

<div class="p20">
  <!-- ENCABEZADO -->
  <h2>Proyecto de monitoreo Forestal </h2>

  <h5> El Proyecto de Monitoreo Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del
Instituto Tecnológico Nacional, pone a su disposición datos de las mediciones realizadas en las
diferentes parcelas estudiadas en el Parque Nacional Santa Rosa, la cual es parte de Área de
Conservación Guanacaste, en la provincia Guanacaste, Costa Rica.<br><br></h5>

  <!-- LADO IZQUIERDO -->
  <div class="lado_izquierdo" style = " background-color:rgb(253, 249, 244);">
    <select name="select-location" id="select-location">
      <option value="-1">Seleccione una parcela</option><option
value="-1">Estadio temprano</option>
      <option value="10.872122221666732,-
85.59640833337718">CR1E1</option>
      <option value="-1">Estadio tardío</option>
      <option value="10.851424999518906,-
85.61279722274391">CR1L1</option>
    </select>

```

```

        <!-- Elemento div para contener el mapa -->
        <div id="mapid" > </div>
    </div>

    <!-- LADO DERECHO -->
    <div class="lado_derecho" >
        <h3>Simbología</h3>
        
            <H6>Enlace para conexión WMS:
            http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms <br>
            Enlace para conexión WFS:
            http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wfs<br>
            <a href="parcelas.html"><em>Diagrama de las
            parcelas en estudio</em></a><br>
            <a href="tabla.html"><em>Tabla de datos de
            monitoreo forestal</em></a>
            </H6>
        </div>

    <!-- DATOS TABLA -->
    <div class="p20"><br><br><br></div>

    <div class="" >
        <table id="datatable" class="table table-striped"></table>
    </div>

</div>
</body>
</html>

```

Anexo 4: Código de programación del archivo “estilos” con extensión .css.

```
h2{ color:rgb(135, 54, 0);
    font-style: italic;}

h4 { color: rgb(20, 12, 12);
    font-family: Verdana, sans-serif;
    font-size: 15px;}

body{ background:rgb(253, 249, 244)!important;
    margin-bottom:30px;
    margin-left:50px;
    margin-right:50px;
    font-size:90%;
    text-align: justify;}

#mapid {height:750px;
    width: 100%;
    margin-top:10px;
    margin-left: 10px;
    margin-bottom: 40px;
    border-style:solid;
    border-color:rgb(135, 54, 0);}

.lado_derecho { float: right;
    width: 40%;}

.lado_izquierdo { float: left;
    width: 55%;
    margin-left: 10px;}

select{ margin-top: 5px;
    margin-bottom:5px;
    margin-left: 5px;}

.border-grey { border: 1px solid;
    border-top: none;
    border-color: #dee2e6}

.active { background-color: white}
```

```
#myTab { background-color: #dee2e6}

.nav-link { color: #666}

#datatable_wrapper { overflow-x: auto;
                      width: 100%;}

.p20 { padding:20px;
       margin-left: 10px;
       margin-right: 10PX;}

.tab { overflow: hidden;
       border: 1px solid #ccc;
       background-color: #f1f1f1;}

.tab button { background-color: inherit;
              float: left;
              border: none;
              outline: none;
              cursor: pointer;
              padding: 14px 16px;
              transition: 0.3s;
              font-size: 17px;}

.tab button:hover { background-color: #ddd;}

.tab button.active { background-color: #ccc;}

.tabcontent {display: none;
             padding: 6px 12px;
             border: 1px solid #ccc;
             border-top: none;
             height:85vh;}
```

Anexo 5: Código de programación del archivo “scripts” con extensión .js.

```

////////////////////////////////////MAPA DE UBICACIÓN////////////////////////////////////
// Creación de un mapa de Leaflet
var map = L.map("mapid", {maxZoom:18});

// Centro del mapa y nivel de acercamiento
var guanacaste = L.latLng([10.807188, -85.422099]);
var zoomLevel = 10;

// Definición de la vista del mapa
map.setView(guanacaste, zoomLevel);

// Opciones de selección de las parcelas
document.getElementById("select-location").addEventListener("change", function(e){
    let coords= e.target.value.split(",");
    map.flyTo(coords,16);});

// Adición Mini Mapa
var carto_light= L.tileLayer.provider("OpenStreetMap.Mapnik", {attribution: false,maxZoom: 9})
var minimapa = new L.control.minimap(carto_light,
    {
        toggleDisplay:true,
        minimized: false,
        position:"bottomleft"
    }).addTo(map);

    osmLayer = L.tileLayer.provider("OpenStreetMap.Mapnik",{attribution: false}).addTo(map);

// Adición de WMS del geoserver

var                                SUBPARCELAS                                =
L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms', {
    layers: 'SUBPLOT',
    format:'image/png',
    transparent: true,
    opacity: 0.8
}).addTo(map);

var                                CLIMA                                =
L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms', {

```

```

        layers: 'CLIME',
        format:'image/png',
        transparent: true,
        opacity: 0.8
    });

var                                GEOLOGÍA                                =
L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms', {
    layers: 'GEOLOGY',
    format:'image/png',
    transparent: true,
    opacity: 0.8
});

var                                ZONAV=
L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms', {
    layers: 'LIFE_ZONE',
    format:'image/png',
    transparent: true,
    opacity: 0.8
});

var                                SECTORESACG=
L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms', {
    layers: 'SECTORS_ACG',
    format:'image/png',
    transparent: true,
    opacity: 0.8
}).addTo(map);

var                                SUELO                                =
L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms', {
    layers: 'SOIL',
    format:'image/png',
    transparent: true,
    opacity: 0.8
});

var                                SENDERO                                =
L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms', {
    layers: 'TRAIL',
    format:'image/png',

```

```

        transparent: true,
        opacity: 0.8
    });

var                                VEGETACIÓN                                =
L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/wms', {
    layers: 'VEGETATION',
    format: 'image/png',
    transparent: true,
    opacity: 0.8
});

// Adición de capa base
esriLayer = L.tileLayer.provider("Esri.WorldImagery",{attribution: false}).addTo(map);
osmLayer = L.tileLayer.provider("OpenStreetMap.Mapnik",{attribution: false}).addTo(map);

var baseMaps = {
    "OpenStreetMap": osmLayer,
    "ESRI World Imagery": esriLayer,
};

var overlayMaps = {    "CLIMA": CLIMA,
                        "GEOLOGIA": GEOLOGIA,
                        "ZONA DE VIDA": ZONAV,

                        "SUELO": SUELO,
                        "VEGETACION": VEGETACION,
                        "SECTORES ACG": SECTORESACG,
                        "SUBPARCELAS": SUBPARCELAS,
                        "SENDERO": SENDERO,
                    };

/////CONTROLES/////
//controle de capas//
var control_layers = L.control.layers( baseMaps, overlayMaps,{position:'topleft'}).addTo(map);

//controle de escale//
L.control.scale({position:'bottomleft', imperial:false}).addTo(map);

var estiloPopup= {"maxWith": "300"};

L.control.mousePosition().addTo(map);

```

Anexo 6: Código de programación del archivo “bd” con extensión .js.

```

$(document).ready(function() {
  $('#datatable').DataTable({
    "ajax": {
      "url":
"http://localhost:8080/geoserver/MONITOREO_FORESTAL_FINAL/ows?service=WFS&version=1.0.0
&request=GetFeature&typeName=MONITOREO_FORESTAL_FINAL%3Ajoined&outputFormat=appli
cation%2Fjson",
      "dataSrc": "features"
    },
    responsive: 'true',
    searchBuilder: true,
    "columns": [{
      "title": "KEY_SUBPLOT",
      "data": "properties.KEY_SUBPLOT"
    }, {
      "title": "STAGE",
      "data": "properties.STAGE"
    }, {
      "title": "LINE",
      "data": "properties.LINE"
    }, {
      "title": "SUBPLOT",
      "data": "properties.SUBPLOT"
    }, {
      "title": "DATE",
      "data": "properties.DATE"
    }, {
      "title": "COMMENTS",
      "data": "properties.COMMENTS"
    }, {
      "title": "MEASURE_NAME",
      "data": "properties.MEASURE_NAME"
    }, {
      "title": "VALUE",
      "data": "properties.VALUE"
    }, {
      "title": "DESCRIPTION",
      "data": "properties.DESCRPTION"
    }
  ]
});

```

```

}, {
  "title": "CODE_INDIVIDUAL",
  "data": "properties.CODE_INDIVIDUAL"
}, {
  "title": "N_SPECIES",
  "data": "properties.N_SPECIES"
}, {
  "title": "INDIVIDUAL",
  "data": "properties.INDIVIDUAL"
}, {
  "title": "PLATE",
  "data": "properties.PLATE"
}, {
  "title": "COORD_X_MTS",
  "data": "properties.COORD_X_MTS"
}, {
  "title": "COORD_Y_MTS",
  "data": "properties.COORD_Y_MTS"
}, {
  "title": "OTHERS",
  "data": "properties.OTHERS"
}, {
  "title": "CODE_SPECIE",
  "data": "properties.CODE_SPECIE"
}, {
  "title": "SPECIES_NAME",
  "data": "properties.SPECIES_NAME"
}, {
  "title": "GENDER",
  "data": "properties.GENDER"
}, {
  "title": "SPECIE",
  "data": "properties.SPECIE"
}, {
  "title": "FAMILY",
  "data": "properties.FAMILY"
}, {
  "title": "AUTHOR",
  "data": "properties.AUTHOR"
}],
dom: 'BQlfrtip',
buttons: [{

```

```
    extend: 'excelHtml5',  
    autoFilter: true,  
    sheetName: 'Exported data'  
  }  
};  
};
```