

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA LA COMPENSACIÓN FORESTAL DE LA
CONCESIÓN AUTOPISTA BOGOTÁ GIRARDOT TRAMO FUSAGASUGÁ**

MICHEL BAUTISTA PEDRAZA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2016**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA LA COMPENSACIÓN FORESTAL DE LA
CONCESIÓN AUTOPISTA BOGOTÁ GIRARDOT TRAMO FUSAGASUGÁ**

***Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniero Civil***

***Director
Ing. Néstor Iván Rojas Gamba***

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2016**

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y fecha: _____

**LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA RESIDE EN
ELLA MISMA, POR LO TANTO NO RESPONDE POR LAS OPINIONES
EXPRESADAS EN ESTE TRABAJO**

RESUMEN

Mediante Resolución 099 del 20 de enero del 2006, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a través de la **Autoridad Nacional de Licencias Ambientales –ANLA-**, otorgó licencia ambiental al **Instituto Nacional de Vías – INVÍAS**, para el proyecto denominado “Mejoramiento de la carretera Avenida Boyacá por la autopista sur – Girardot, Sector Bosa – San Rafael, Girardot”, localizado en jurisdicción de los municipios de Soacha, Sibaté, Granada, Silvania, Fusagasugá, Girardot, Icononzo y Melgar en los departamentos de Cundinamarca y Tolima, el cual establece el Programa de Conservación, Restauración y Compensación de la Cobertura Vegetal cuyas acciones, obras y actividades están enfocadas a proteger la cobertura vegetal del área de influencia del estudio, mediante la siembra de 79.233 individuos arbóreos.

Basados en las necesidades del concesionario, se requiere la implementación de un Sistema de Información geográfica –SIG- que permita el seguimiento, el control y la fiscalización de los sectores de siembra tanto de la entidad contratante ANI, como la interventoría, municipios beneficiados (catorce), ONG ambientalistas como del mismo concesionario, toda vez que la plantación se efectúa a lo largo de los 117 km del corredor vial, por lo que esta propuesta de proyecto de grado se centrará en la variante de Fusagasugá, pudiéndose replicar para todo el corredor vial, además de convertirse en el primer modelo de control forestal en el país para las concesiones de 4G, que entre otras deberán compensar aproximadamente 16.000.000 de plántulas.

ABSTRACT

By Resolution 099 of 20 January 2006, the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development Authority today -ANLA- Environmental licensing, environmental license granted to the NATIONAL INSTITUTE OF ROUTES - INVÍAS, for the project "Improvement of the Avenue Road Boyacá by motorway south - Girardot, Sector Bosa - San Rafael, Girardot, "located within the jurisdiction of the municipalities of Soacha, Sibaté, Granada, Sylvania, Fusagasugá, Girardot, Icononzo and Melgar in the departments of Cundinamarca and Tolima, which establishes Program for Conservation, Restoration and Compensation vegetation Cover whose actions, works and activities are geared to protect plant coverage area of influence of the study, by planting 79,233 individual trees for which the implementation of a GIS is required allow monitoring, control and inspection of seed sectors of both the contracting entity ANI, as Interventoria, beneficiary

municipalities (fourteen), NGOs (S) environmentalists as the same dealer, since planting is carried along 117 Km. from the corridor, so that the proposed project will focus on grade variant Fusagasuga, being able to replicate for the entire corridor, in addition to becoming the first model of forest control in the country for concessions 4G, which among other will offset approximately 16,000,000 seedlings.

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT- establece que la Concesión Autopista Bogotá - Girardot debe generar una compensación por el alto impacto ambiental producido en la construcción de la doble calzada. Por ello, el MAVDT al otorgar la Licencia Ambiental (Resolución 0557 del 19 de junio del 2002) y sus resoluciones modificatorias, determinó que se debía efectuar una compensación por la pérdida de cobertura vegetal, mediante la siembra y el mantenimiento de 79.233 individuos arbóreos (50 hectáreas aproximadamente), que debían ser establecidos en áreas anexas al corredor vial. Debido a esto nace la necesidad de llevar un control eficaz a la hora de realizar la compensación por lo que se implementa un SIG donde se podrá encontrar la información completa tal como el tipo de especie sembrada, el lugar donde se sembró, nombre del predio, fecha de plantación, resolución por la cual se llevó a cabo la siembra, inversión por predio, registro fotográficos, entre otros, y avances de esta compensación donde se ubicarán cada uno de los predios en un plano geográfico trabajado por una herramienta útil como es el ArcGis, convirtiendo así la Concesión Autopista Bogotá - Girardot –CABG- en el primer concesionario vial en implementar este modelo.

A mediados del año 2007, se iniciaron las labores encaminadas al cumplimiento de los requerimientos que efectuó el MAVDT en lo referente al establecimiento de los árboles de compensación. Esta tarea arrancó con la plantación de las primeras 4,8 hectáreas de cobertura vegetal, que se establecieron con una densidad de 625 árboles / hectárea. Los primeros 3.000 árboles, se establecieron en la ronda del río Pagüey y en la quebrada La Yucala, de conformidad con las indicaciones, la zonificación y la priorización de microcuencas efectuada conjuntamente con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR / Oficina Provincial Alto Magdalena.

A la fecha se han establecido un total de 53.419 individuos arbóreos que representan el 67,42% del total (79.233). Vale la pena señalar que con el fin de dar cumplimiento a los actos administrativos emanados por el MAVDT, se han plantado un total de 40.238 individuos arbóreos que representan el 75,32% de lo plantado y que se establecieron en microcuencas abastecedoras de acueductos veredales y municipales, en zonas inestables y potencialmente inestables, en zonas de portales y en zonas de disposición. El 24,67% restante (13.181 árboles) se han empleado en la adecuación paisajística del corredor vial.

El objetivo que se ha perseguido con estos trabajos es el de contribuir con el restablecimiento de corredores ecológicos, la conformación de cercas vivas, el enriquecimiento y encerramiento de relictos de bosques existentes, lo cual redundará en la conservación de especies amenazadas, endémicas y útiles, la

protección de fuentes de agua y la conservación de la diversidad biológica regional.

El trabajo así ejecutado merece toda nuestra atención y apoyo, por cuanto tiene que ver con el restablecimiento de la cobertura vegetal de los diversos cuerpos de agua que drenan en dirección al corredor vial. En ese sentido, el área ambiental de la CABG ha efectuado la protección de quince (15) microcuencas que surten acueductos municipales o veredales, permitiendo el establecimiento de plantaciones protectoras en algo más de ciento cuarenta (140) predios, que pertenecen a treinta y seis (36) veredas localizadas en jurisdicción de ocho (8) de los doce (12) municipios que hacen parte del área de influencia directa de la obra.

Es meritorio señalar que los trabajos de recuperación de cobertura vegetal se han adelantado con el concurso desinteresado de las Corporaciones Autónomas Regionales CAR y CORTOLIMA, con las que se concertó sobre los lugares en los cuales se debían adelantar los trabajos de reforestación.

En lo referente a las especies arbóreas empleadas para los trabajos, se ha dado prioridad al establecimiento de especies nativas que fueron ubicadas según el piso térmico. En orden de importancia: Guadua (*Guadua angustifolia*), Aliso (*Alnus acuminata*) y Nacedero (*Trichantera gigantea*). Otras especies que por su rápido crecimiento, adaptación y valor agregado fueron empleadas para esta estrategia de trabajo, son: Acacia (*Acacia decurrens*), Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), las cuales básicamente se usaron en sectores en donde las condiciones del terreno (zonas inestables y potencialmente inestables), ameritaban su inclusión.

Los trabajos de siembra de árboles se han adelantado al interior de predios privados, en donde mediante un proceso de concertación, los finqueros o campesinos permitieron emplazar los árboles, cediendo franjas de terreno localizadas a lo largo de los cuerpos de agua que se deseaban proteger. Para formalizar y facilitar el desarrollo de los trabajos de reforestación, se suscribió un acta de acuerdo entre las partes involucradas (finquero y CABG) en la cual el propietario facilita las labores de siembra, seguimiento y mantenimiento a cargo de la CABG por espacio de dos (2) años y en contraprestación, el finquero vela por el cuidado de los árboles, evitando que los mismos sufran daño ocasionado por ramoneo o por vandalismo.

El compendio de toda la información recaudada como los lugares de siembra, propietarios, especies a sembrar, y otras características definitivas para el control de esta compensación son las bases para crear un SIG que permita controlar y evaluar el avance y la ejecución de la compensación forestal de la CABG específicamente el tramo de la variante de Fusagasugá, la cual comienza a 1.000 metros de la Avenida las Palmas y discurre en sentido noreste – suroeste atravesando las veredas Cucharal, Novilleros, Santa María, hasta finalmente llegar

al kilómetro 6.400 de recorrido en el sector de Jaibaná, vereda San Antonio, para intersectar con la actual Vía Panamericana.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	4
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	6
TABLA DE CONTENIDO	9
TABLA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE ANEXOS	13
1. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	14
1.1 Descripción de la problemática	14
2. ZONA DE ESTUDIO	15
2.1 Área de influencia regional o indirecta	15
2.2 Área de influencia local o directa.....	15
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. OBJETIVOS	18
4.1 Objetivos general	18
4.2 Objetivos específicos	18
5. MARCO TEÓRICO.....	19
5.1 Sistema de información geográfica	19
5.2 Funcionamiento de un SIG.....	19
5.3 Historia de su desarrollo.....	21
5.4 Técnicas utilizadas en los sistemas de información geográfica	23
5.4.1 Creación de datos	23

5.4.2	La representación de los datos	23
5.4.3	Raster	23
5.4.4	Vectorial	24
6.	ESTADO DEL ARTE	27
6.1	Implementación de sig en proyectos de infraestructura	27
6.2	Implementación de un sig relacionado con la infraestructura vial de un municipio.....	27
6.3	Implementación de un sig en proyectos ambientales	28
6.4	Aplicacion de SIG para la gestión de proyectos viales	28
6.5	Implementación de un SIG para la gestión de los recursos sanitarios de Catalunya.....	30
7.	METODOLOGÍA.....	31
7.1	Recopilación de datos	31
7.2	Materiales.....	31
7.3	Trabajo de campo	31
7.4	Construcción del SIG	32
8.	ANÁLISIS	43
8.1	Estado inicial	43
9.	CONCLUSIONES.....	49
10.	GLOSARIO.....	52
10.1	Términos ambientales y forestales.....	56
11.	BIBLIOGRAFÍA	59

TABLA DE FIGURAS

Ilustración 1. Zona de estudio a partir del corredor vial sin predios	16
Ilustración 2. Zona de estudio con predios	16
Ilustración 3. Capas temáticas de un SIG	20
Ilustración 4. Mapa de incidencia de casos de cólera.....	22
Ilustración 5. Diagrama vectorial representado como raster	24
Ilustración 6. Dimensión espacial de los elementos de un SIG	26
Ilustración 7. Mapa de zona de estudio georreferenciados en formato DWG	33
Ilustración 8. Coordenadas por medio de GPS Garmin y digitalizadas mediante MapSource	34
Ilustración 9. Creación de inventario forestal a partir de visitas a cada uno de los predios	34
Ilustración 10. Recorrido en predio finca Santa Teresa	35
Ilustración 11. Recorrido predio Santa Anita.....	35
Ilustración 12. Recorrido predio Altamira	36
Ilustración 13. Recorrido predio Las Golondrinas	36
Ilustración 14. Elaboración de tabla en Excel con la información recopilada en campo	37
Ilustración 15. Construcción de shape fie desde archivo DWG	37
Ilustración 16. Importación de las coordenadas norte y este	38
Ilustración 17. Corrección de la ubicación y atributos mediante un mapa físico y con ayuda de personal del sector	38

Ilustración 18. Exploración de los atributos de cada uno de los predios para encontrar algún tipo de inexactitud	39
Ilustración 19. Se crea un shape tipo línea	39
Ilustración 20. Corredor vial con shape tipo línea	40
Ilustración 21 Construir un shape tipo polígono.	40
Ilustración 22. Se dibuja sobre el plano y se usa la herramienta de construir polígono	41
Ilustración 23. Spatial Join colocando los atributos del shape tipo punto a los polígonos.	41
Ilustración 24. Tabla de atributos de los predios tipo polígono.	42
Ilustración 25. Adjuntar imagen tipo raster.....	43
Ilustración 26. Análisis comparativo.....	45
Ilustración 27. Marcación de influencia por predio con herramienta buffer	46
Ilustración 28. Análisis por medio de filtros.....	46
Ilustración 29. Análisis mediante gráficos	47
Ilustración 30. Informe por gráfico de barras para analizar cantidad de especies sembradas por predio según fecha	47
Ilustración 31. Generación de informe	48

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Geodatabase de compensación forestal autopista Bogotá - Girardot tramo Fusagasugá.

ANEXO B. Fichas clasificación de especie.

1. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La Concesión Autopista Bogotá Girardot –CABG- no cuenta con estrategias apropiadas que permitan el buen manejo y la difusión de la información de la compensación forestal , lo cual se refleja en la prolongación de los tiempos de ejecución, gestión y administración de los diferentes procesos y/o proyectos que se desarrollan en la CABG, tales como: unificación de cartografía urbana, identificación de zonas críticas de riesgos, localización de predios por medio de atributos que identifiquen coordenadas de la especie que se siembra, nombre del propietario, vereda y su respectiva resolución, accesos ubicación de los distintos tipos de vías; además se requiere de una mayor cantidad de recurso humano para controlar y supervisar la tarea que desempeña la coordinación ambiental de la Concesión sumándole una dificultad en la disponibilidad inmediata de información geográfica y avances en la compensación.

2. ZONA DE ESTUDIO

2.1. ÁREA DE INFLUENCIA REGIONAL O INDIRECTA

Desde el punto de vista físico biótico y considerando las características técnicas del proyecto, el área de influencia regional o indirecta presenta un mayor nivel de abstracción y está enmarcada entre la vía actual al Este llegando hasta el sur en la salida a la población de Chinauta y la vía a Cucharal Alto y la quebrada La Compañía al norte, hasta la desembocadura al río Chochos al oeste. Toda esta zona forma parte de la vertiente oriental de la subcuenca del río Chochos y sobre la cual discurren una serie de drenes intermitentes compuestos por quebradas que confluyen al río Chochos. Sobre esta zona se realizó la caracterización de los componentes geoesférico, hidrológico, atmosférico, florístico y faunístico.

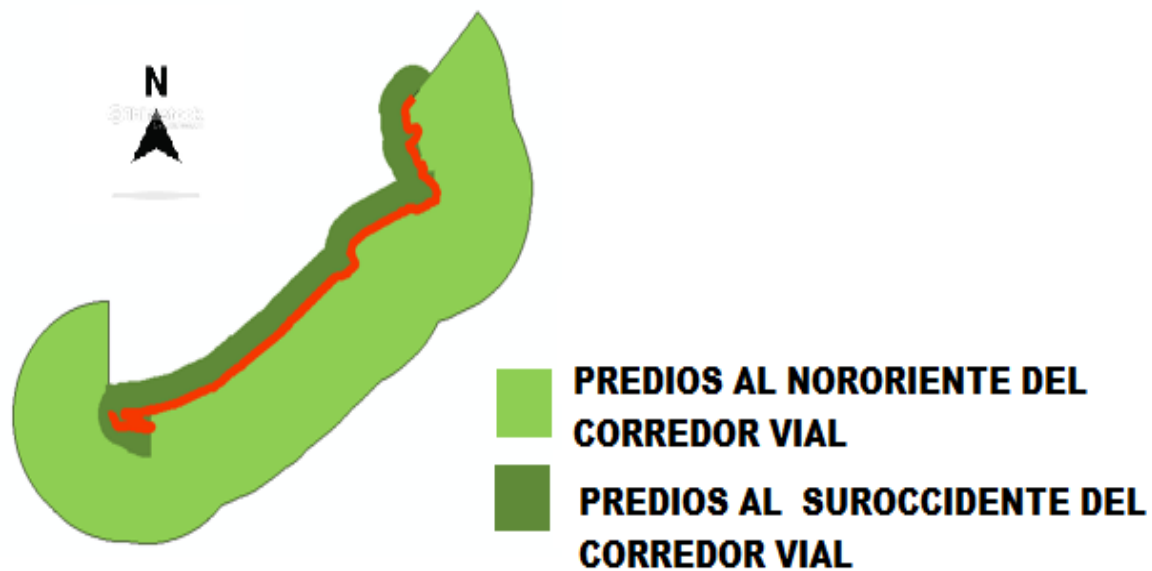
Desde el punto de vista social y económico, se identifica como contexto regional el municipio de Fusagasugá, en donde se identifican y analizan las características sociales y económicas de mayor relevancia del municipio, en aras de tener un enfoque general que permita ubicar y relacionar las condiciones socioeconómicas del área de influencia directa de la variante. Se establecen en este contexto regional y se analizan en mayor detalle los aspectos relacionados con las actividades sociales y económicas que se verán afectadas positiva y negativamente una vez se ponga en funcionamiento la variante. Por lo tanto, esta área de influencia indirecta está definida por la afectación social y el impacto a la economía local que se genere con la construcción de la variante.

2.2. ÁREA DE INFLUENCIA LOCAL O DIRECTA

Se definió como área de influencia local o directa en un espacio comprendido de 5,5 km a la derecha del corredor vial y de 1,5 km a la izquierda del corredor vial, esta zona comprende cada uno de los predios compensados, conteniendo la zona urbana de Fusagasugá siguiendo por el occidente hasta el río Cuja y al río Batán y hacia el oriente hasta el río Chochos

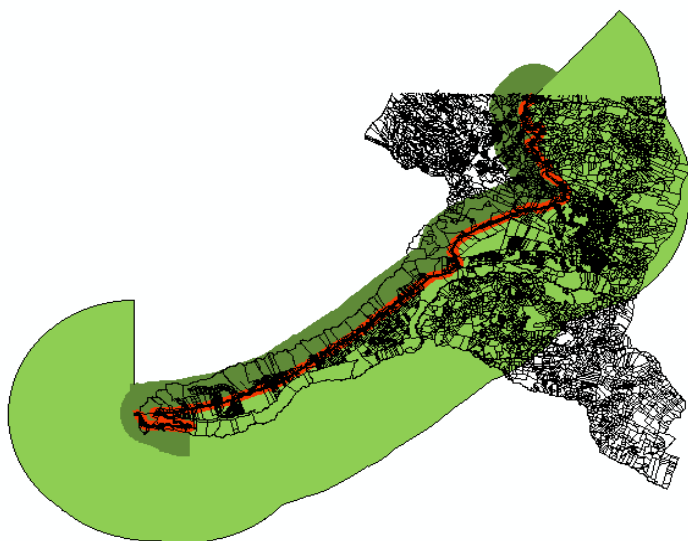
Vista aérea de la zona de estudio.

Ilustración 1. Zona de estudio a partir del corredor vial sin predios



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 2. Zona de estudio con predios



Fuente: elaboración propia.

3. JUSTIFICACIÓN

El sentido principal es darle un constante y adecuado manejo a la información recaudada en el proceso de la compensación forestal, debido a que a partir de esta fuente se valida el buen desempeño de los procesos y tareas realizadas por la Concesión. El desarrollo de este proyecto se encamina a uniformar y estructurar la información de la compensación forestal, disponiendo de datos oportunos, confiables, uniformes y actualizados del desarrollo de la compensación forestal

Con el uso de estrategias de manejo de información estructurada se permite mayor eficiencia en el desarrollo de los procesos. Además, de hacer frente a las necesidades y desafíos que se requieren, permitiendo la toma de decisiones sobre el terreno a partir del inventario de este y bajo el manejo de información bien cimentada, orientada a permitir consultas más eficientes y rápidas.

El diseño e implementación del SIG y la actualización de la información permitirán el ahorro de esfuerzos tanto económicos como humanos, ya que al contar con esta herramienta, la dependencia invertirá menos tiempo en la ejecución de sus procesos, ahorrando así parte del presupuesto destinado para este tipo de proyectos.

“

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Implementar un SIG que contenga la información predial y el número de especies sembradas por predio de la compensación forestal de la concesión Bogotá Girardot, tramo variante de Fusagasugá.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer un inventario forestal y determinar los predios intervenidos.
- Construir una base de datos geográficos que contenga la información completa y actualizada de compensación forestal.
- Disminuir el tiempo en el análisis y búsqueda de datos sobre la compensación forestal

5. MARCO TEÓRICO

5.1. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Un sistema de información geográfica (también conocido con el acrónimo SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, el almacenamiento, la manipulación, el análisis y la modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de los SIG puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el *marketing*, la logística por nombrar unos pocos. Por ejemplo, un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, o encontrar los humedales que necesitan protección contra la contaminación, o pueden ser utilizados por una empresa para ubicar un nuevo negocio y aprovechar las ventajas de una zona de mercado con escasa competencia.

5.2. FUNCIONAMIENTO DE UN SIG

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de los mapas digitales. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y

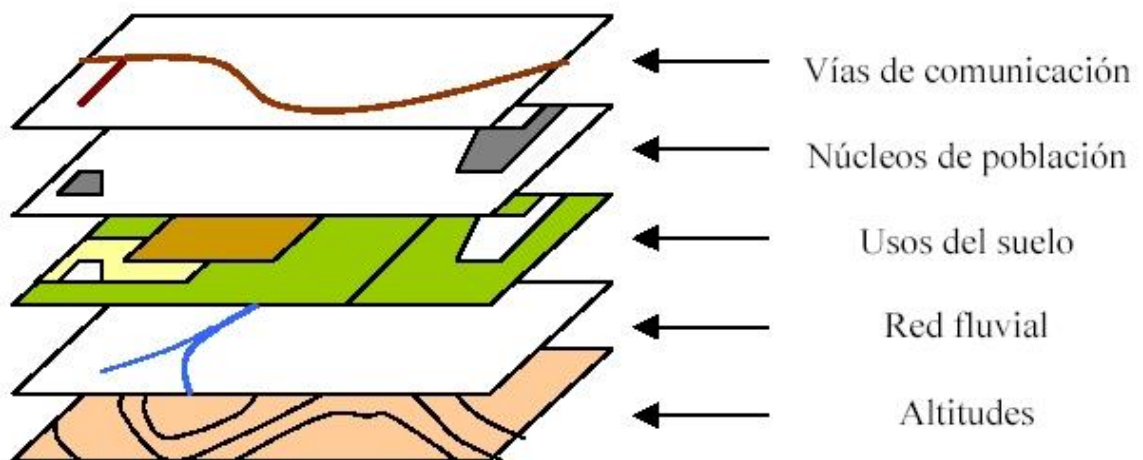
sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología geoespacial de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un sistema de información geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

- Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los sistemas de información geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

Ilustración 3. Capas temáticas de un SIG



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci3n_geogr3fica

5.3. HISTORIA DEL DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

GEOGRÁFICA

Una de las primeras referencias que se tiene de una sistema de información geográfica data hace 15.000 años, se trata de las pinturas o representaciones halladas en las paredes de las cuevas Lascaux, Francia, realizadas por los hombres de Cro-Magnon. Estas pinturas contienen dos de los componentes del un SIG moderno: una imagen vinculada con una información.

Otro ejemplo de un SIG lo daría el médico John Snow, cuando en 1854 elaboró un mapa con la incidencia de los casos de cólera en el Londres de esa época, con esta labor de cartografía Snow estableció con precisión un pozo de agua contaminada como el epicentro o vector desde el cual se originó el brote de cólera.

Casi un siglo después del mapa de Snow, se apreció el empleo sistemático de un SIG. Se trataba del Canadian Geographic Information System, CGIS, desarrollado por Roger Tomlinson para el Departamento Federal de Silvicultura y Desarrollo Rural de Canadá. Dicho sistema se empleó para almacenar y analizar, en una computadora central, los datos obtenidos en el trabajo de campo realizado para Inventario de Tierras Canadá, con los cual se obtuvo información de los recursos naturales de esa nación a través de información cartográfica concerniente a suelo, tipos de uso, agricultura, silvicultura, entre otros datos. Ese modelo se considera el primer SIG del mundo, y estuvo en operación hasta la década de 1990.

Casi en paralelo al SIG de Canadá, Howard T. Fisher creó en 1964 el Laboratorio de Computación Gráfica y Análisis Espacial en Harvard Graduate School of Design (LCGSA 1965-1991). Aquí se originó una serie de conceptos teóricos en el manejo de datos espaciales que servirían de fundamento para el desarrollo y difusión de códigos de software y sistemas tales como SYMAP, GRID y ODYSSEY, que servirían de base y gestión comercial a varias universidades, compañías y centros de investigación del planeta.

Para las décadas de 1970 y 1980 se inició el desarrollo de dos sistemas de SIG de dominio público, se trataba del Map Overlay and Statistical System - MOSS (1977) en Fort Collins (Colorado, EE. UU.) con el patrocinio de Western Energy and Land Use Team (WELUT) y US Fish and Wildlife Service. Y en 1982 el Cuerpo de Ingenieros del Laboratorio de Investigación de Ingeniería de la Construcción del Ejército de los Estados Unidos desarrolla el Geographic Resources Analysis Support System - GRASS como herramienta para la supervisión y gestión medioambiental de las regiones administradas por el el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

Con la irrupción de Internet los usuarios están exportando el concepto de visualización de datos SIG,, lo cual requiere una estandarización de formato de los datos y de normas de transferencia; recientemente, se ha generado una expansión en software SIG de código libre, los cuales suelen abarcar una gama más amplia de sistemas operativos, permitiendo ser modificados para llevar a cabo tareas específicas.

[illegible]

22

5.4. TÉCNICAS UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

5.4.1. Creación de datos

Los actuales SIG trabajan con información digital, mediante varios métodos y el más utilizado es la digitalización, en este a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital a través de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación. Este método es la más importante fuente de obtención de datos geográficos e implica la búsqueda de los mismos en imágenes aéreas, por ejemplo, en lugar del método tradicional de la localización de formas geográficas sobre un tablero de digitalización.

5.4.2. La representación de los datos

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, uso del suelo, altitudes), y estos se dividen en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). De otra parte, existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial, siendo esta última la más popular.

No obstante, los SIG raster son utilizados en estudios en los cuales se requiera la generación de capas continuas necesarias en el análisis de objetos no discretos, así como en estudios medioambientales en los que se necesite una excesiva precisión espacial de factores como contaminación atmosférica, localización de especies marinas, distribución de temperaturas, etc.).

5.4.3. Raster

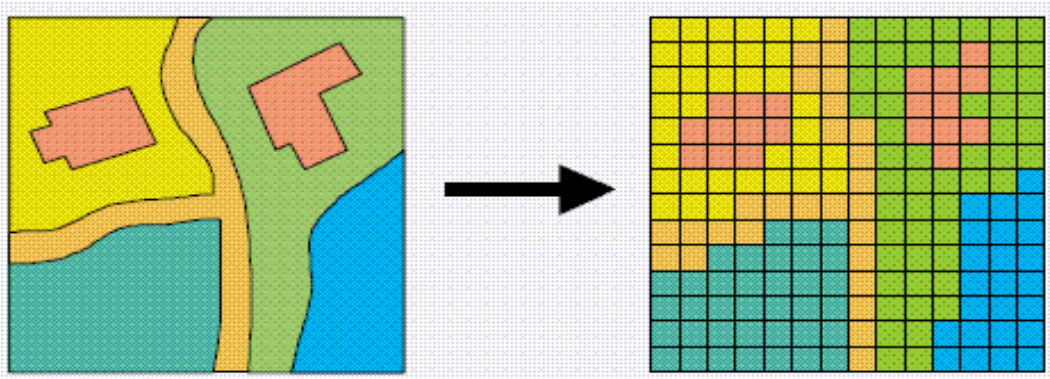
Este tipo de almacenamiento se refiere a la representación de una imagen digital mediante celdas (píxeles), y se centra en las características del espacio, más que en la precisión de la localización, mediante la división del espacio en celdas regulares en las cuales cada una de ellas representa un único valor. El raster es un modelo de datos ideal para la representación de variables continuas en el espacio, sin embargo, cuanto mayor sean las dimensiones de las celdas menor es la precisión o detalle (resolución) de la representación del espacio geográfico; de otra parte, la resolución del conjunto de datos raster es el ancho de la celda en unidades sobre el terreno. Los datos raster están compuestos de filas y columnas

de celdas (o pixel) y cada una de ellas almacena un valor (discreto, continuo o nulo) y color únicos.

En fotografía digital el píxel es la menor unidad de información de una imagen y la combinación de estos píxeles dará origen a una imagen digital que refleja una realidad, los datos de tipo raster muestran una abstracción de la realidad. Así, por ejemplo, las fotografías aéreas son un ejemplo claro de datos raster y que emplean con un solo propósito: mostrar la imagen detallada de un mapa base sobre la cual se adelantarán labores de digitalización.

La forma de almacenar los datos raster van desde los archivos basados en formatos TIFF, JPEG, etc. a grandes objetos binarios (BLOB). De otro lado, los datos almacenados en bases de datos, cuando se indexan, permiten una rápida recuperación de los mismos, pero esto precisa de una gran capacidad de memoria en el computador. .

Ilustración 5. Diagrama vectorial representado como raster



Fuente: <http://desktop.arcgis.com/es/desktop/latest/manage-data/geodatabases/raster-basics.htm>

5.4.4. Vectorial

En esta representación las características geográficas se expresan como vectores mediante los cuales se mantienen las características geométricas de las figuras. Aquí el interés se enfoca en la precisión de la ubicación en el espacio de los elementos geográficos y cuyos fenómenos tienen límites definidos, es decir que su representación es discreta.

Cada una de estas geometrías está vinculada a una fila en una base de datos que describe sus atributos. Por ejemplo, en una base de datos de lagos hay datos sobre la calidad del agua o el nivel de contaminación de los mismos; en este

último aspecto se puede establecer el nivel de contaminación mediante el uso de un rango de colores, así mediante un SIG se pueden determinar aquellos pozos (geometría de puntos) que están en torno a 2 kilómetros de un lago (geometría de polígonos) y que tienen un alto nivel de contaminación.

Los elementos vectoriales se crean a partir de la integridad territorial, respetando el principio topológico que: “los polígonos no deben superponerse”.

Los datos vectoriales se emplean para graficar variaciones continuas de fenómenos. Las líneas de contorno y las redes irregulares de triángulos (TIN) se utilizan para representar la altitud u otros valores en continua evolución..

Para modelar vectorial y digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres elementos geométricos: el punto, la línea y el polígono.

- **Puntos**

Se utilizan para expresar un único punto de referencia, es decir por simple ubicación. Por ejemplo, las localizaciones de lagos, picos de sistemas montañosos o puntos de interés particular. Los puntos transmiten la menor cantidad de información de estos tipos de archivo y no son posibles las mediciones. También se pueden utilizar para representar zonas a una escala pequeña.

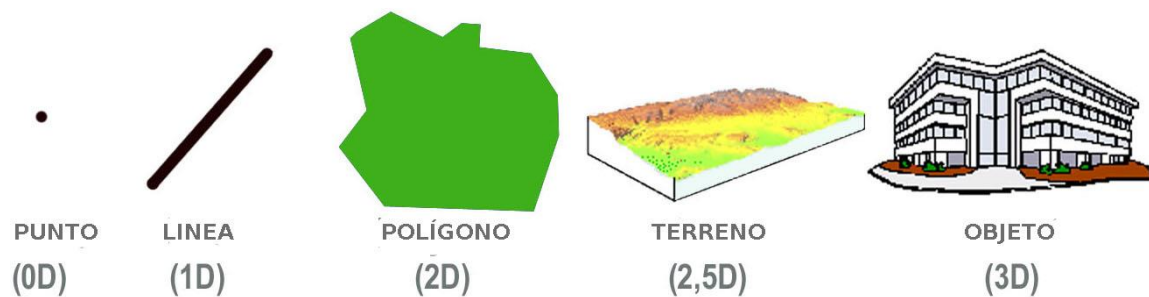
- **Líneas unidimensionales polilíneas**

Son usadas representar ríos, vías férreas, carreteras, caminos, trochas, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel; además en estas se pueden medir las distancias. De igual forma que en los puntos, en pequeñas escalas pueden ser utilizadas para representar polígonos.

- **Polígonos bidimensionales**

Se utilizan para graficar vectorialmente elementos geográficos que cubren un área particular de la superficie terrestre, como lagos, parques naturales, edificios, zonas mineras, regiones, países o los usos del suelo, entre otros. Los polígonos transmiten la mayor cantidad de información en archivos con datos vectoriales y en ellos se pueden medir el perímetro y el área.

Ilustración 6. Dimensión espacial de los elementos de un SIG



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informaci3n_geogr3fica

6. ESTADO DEL ARTE

6.1. IMPLEMENTACIÓN DE SIG EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

Entre 1960 y 1970 se utilizaron mapas para la planificación y valoración de recursos, descubriendo así que las coberturas de la tierra no eran independientes entre sí, sino que al contrario tenían una relación entre ellos, por ello comenzó a evaluarse de una forma integrada, traslapando copias transparentes sobre mesas iluminadas y encontrar los puntos en común en las diferentes cartografías con diversos datos descriptivos.

A finales de los años 70 comenzó a implantarse tecnología en el manejo de información cartográfica, y se crearon diferentes sistemas informáticos para distintas aplicaciones de cartografías, en sus principios toda esta tecnología en vez de hacer más fácil el trabajo, al contrario duplico esfuerzos pues el aprender y dominar un programa era complicado para la época, pero tiempo después surgió la posibilidad de unir los diversos tipos de información espacial automatizada, convirtiéndolos en verdaderos sistemas de información geográfica para fines generales.

En los años 80 los SIG se convirtieron en sistemas completamente operativos, y a medida que la tecnología de los computadores era cada vez mejor, comenzó a ser más exequible adquirir esta tecnología, anteriormente solo empresas muy poderosas gozaban de estos software, pero ahora se están en universidades, industrias privadas, públicas o militares, y hasta personas naturales que obtienen la licencia.

A continuación se muestran ejemplos de cómo un SIG se articula con proyectos de infraestructura.

6.2. IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG RELACIONADO CON LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE UN MUNICIPIO

Se implantó un aplicativo bajo un Sistema de Información Geográfica - SIG con la infraestructura vial del municipio de Guayabetal, Cundinamarca, de manera que se convierta en una herramienta de consulta permanente para la toma de decisiones de inversión y mantenimiento de la malla vial. Para dicha implementación fue necesario identificar la calidad y disponibilidad de la información espacial referente a la infraestructura vial del municipio y considerar el compromiso y disposición de la administración municipal para su ejecución y mantenimiento.

Con la adopción de este tipo de aplicativos en SIG, se mejorará notablemente el manejo y gestión de la información a nivel municipal. Por tanto, esta propuesta se enfoca principalmente en la identificación de la información disponible, la implementación de información georreferenciada asociada a sus características particulares y el diseño del respectivo proyecto cartográfico que permita la integración de dicha información sobre plataforma ArcView del Programa ArcGIS.

El manejo de la información territorial bajo plataformas tipo SIG se considera como una herramienta de aplicación versátil y óptima a la hora de dirigir obras civiles especialmente. Esta particularidad se manifiesta en la consistencia de los datos al unir varias áreas operativas basadas en la gestión, captura, administración, análisis y modelado de la información espacial. Es por ello por lo que el SIG puede ser una herramienta muy útil para estudiar el proyecto de obra y como ayuda a la toma de decisiones.

6.3. IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG EN PROYECTOS AMBIENTALES

Sistema de Información Geográfica SIG para el Plan de Ordenamiento y Manejo del Parque Ecológico Cerro La Conejera, en el diseño e implementación se aprovechó la tecnología de los sistemas de información y conceptos de la Geomática, optimizando de esta forma la zonificación ambiental para el manejo del cerro La Conejera, con bases de datos estructuradas, que permiten almacenar, procesar, analizar y dar resultados con mapas georreferenciados y datos alfanuméricos, respondiendo a los requerimientos de información del DAMA.

El documento presenta los aspectos fundamentales del diseño del Sistema de Información Geográfica (SIG), mostrando sus modelos conceptual y lógico (catálogo de objetos), los metadatos, así como la Implementación y puesta en marcha del Sistema de Información Geográfico del Plan de Ordenamiento y Manejo del Cerro La Conejera, utilizando los programas ArcView y Access.

6.4. APLICACIÓN DE SIG PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS VIALES

P. Álvarez y otros¹ desarrollaron un modelo de planificación del mantenimiento de la red de carreteras en Badajoz, España, el cual permite determinar las

¹ ÁLVAREZ, P., LÓPEZ RODRÍGUEZ, F., CANITO, J. L., MORAL, F. J. y CAMACHO, A. Development of a measure model for optimal planning of maintenance and improvement of roads. En: Computers & Industrial Engineering, No. 3. Vol. 52, (abril 2007), pp. 327-335.

condiciones de las vías, evaluar sus indicadores y llevarlos a un ambiente SIG, con el fin de visualizar su distribución según el estado, con esta información se pueden realizar diagnósticos y optimizar los recursos asignados. Los factores que afectan el mantenimiento de las vías, tales como tráfico, estado superficial y calidad de la señalización, permiten medir el grado de satisfacción de los usuarios y definir los sitios de intervención. Mediante la visualización geográfica, se observan las condiciones más adecuadas de las vías para la seguridad de los usuarios, la preservación de las estructuras viales, la pavimentación de las vías, la señalización horizontal y vertical y los taludes. Los SIG ofrecen numerosas aplicaciones y análisis de la información, apoyando la toma de decisiones sobre la inversión de los recursos estatales de manera objetiva y técnica.

J. Coutinho² considera varios criterios de evaluación y alternativas en la planificación y modelamiento de un territorio, dada la importancia que tienen los aspectos sociales, económicos, ambientales y técnicos, en la toma de decisiones, todo esto para ofrecer a los usuarios un entorno flexible y fácil de usar en la planificación de la infraestructura urbana. En la evaluación de las inversiones se consideran criterios múltiples y aplicaciones espaciales en la distribución de costos y beneficios, utilizando métodos de análisis como el DSS (Decision Support Systems), facilitando la relación entre la toma de decisiones y los modelos computarizados.

W. Chen y otros³ plantean que el propósito de un sistema de gestión de pavimentos es determinar la intervención más efectiva de mantenimiento y reconstrucción en un territorio, integrando tecnología SIG y GPS para la recolección y el almacenamiento de datos, análisis geoespacial y optimización de la planeación del mantenimiento, con lo cual se aumenta la capacidad y la utilidad del modelo de gestión.

² COUTINHO RODRIGUES, J., SIMÃO, A. y ANTUNES. C. H. A GIS- based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. En: Decision Support Systems, No. 3, Vol. 51, (junio 2011), pp. 720-726.

³ CHEN W., J. YUAN J. y LI M. Application of GIS/GPS in Shanghai Airport Pavement Management System. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, P.R. China, Shanghai Airport Authority, Shanghai 200335, P.R. China.

6.5. IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS SANITARIOS DE CATALUNYA

Se presenta la implementación llevada a cabo en el Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya de un SIG para la gestión de los recursos sanitarios y su distribución territorial. Una localización equilibrada de los distintos tipos de recursos en el territorio es básica para la adecuada prestación de servicios a la población; el estudio de su distribución geográfica permite detectar las eventuales deficiencias actuales y determinar las mejoras a realizar en la planificación futura de estos servicios. Las herramientas que proporciona un SIG, como MiraMon en este caso, son ideales para la consecución de estos objetivos.

En la primera fase es necesario incorporar la principal información sanitaria en el SIG. Se dispone de dos tipos de información básica: recursos sanitarios y divisiones territoriales de la administración sanitaria. En el primer caso se obtiene la distribución geográfica de los centros para lo cual se parte de una base de datos de dichos centros con información tabular del tipo de servicios ofrecidos y de su dirección postal; cada centro se incorpora a una capa SIG como un punto a partir de la determinación de las coordenadas mediante un proceso de búsqueda automática de la dirección en el callejero ofrecido por la Generalitat en su página web, que utilizamos como un geo servicio. Por otro lado, se han delimitado las distintas divisiones territoriales en que se organiza la sanidad catalana (áreas básicas de salud, regiones sanitarias, etc.); estas divisiones difieren de las divisiones administrativas comunes (municipales, provinciales, etc.) con las cuales comparten solo algunos límites. Así pues, se digitalizaron las unidades espaciales mínimas y los distintos niveles superiores de organización territorial se obtuvieron por agregación jerárquica de estas, en un proceso de diseño topológico de arcos y polígonos *ad hoc*.

Gracias a la integración en un SIG se ha combinado la información sanitaria con cartografía de referencia y se ha elaborado una serie de mapas generales de distribución de los servicios sanitarios y de niveles de división territorial, así como mapas concretos de distribución de los recursos en cada una de las divisiones, o de características estadísticas de las prestaciones en las diferentes unidades administrativas. Estos mapas constituyen la cartografía integrada en el Mapa sanitario, socio-sanitario y de salud pública de Catalunya, presentado en octubre del 2006, que define la planificación de los servicios sanitarios hasta el 2015. La adopción de un SIG para el manejo y la gestión de la información sobre recursos sanitarios permite, además, infinidad de análisis espaciales interesantes.

7. METODOLOGÍA

7.1. RECOPIACIÓN DE DATOS

La recopilación de datos fue una tarea conjunta con la coordinación ambiental de la Concesión Autopista Bogotá Girardot, y un representante de la CAR y el autor de este trabajo de grado, que consistió en un recorrido de campo donde se visitó cada uno de los predios intervenidos para levantar un cuadro con las cantidades de árboles sembrados clasificados por especie. Adicional a eso se añadió la información referente al predio intervenido con sus respectivas resoluciones e inversiones para la siembra

7.2. MATERIALES

- GPS
- Mapas de la zona de estudio
- Cámara fotográfica
- Manual forestal (*Las quinientas especies*) elaborado por la CAR
- Vehículo 4 x 4
- Personal de la zona
- Computador
- Mapas de la zona en formato DWG proporcionados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC
- Software Arcgis
- Software Mapsource

7.3. TRABAJO DE CAMPO

La Concesión Autopista Bogotá Girardot nos suministró la información de las ubicaciones y de los propietarios de los predios donde se llevó a cabo las siembras. Después de obtener esta información visitamos los predios donde se hizo el conteo de los individuos arbóreos y la clasificación según la especie esto con la ayuda del manual suministrado por la CAR el cual se sintetizó para aplicarlo solamente a las especies que el concesionario sembró.

- Programación de visitas a los predios con predio avisó a los propietarios.
- Toma de coordenadas mediante GPS.
- Planificación de rutas debido a lo extenso de la zona de estudio.
- Revisión de las resoluciones de siembra en cada uno de los predios.

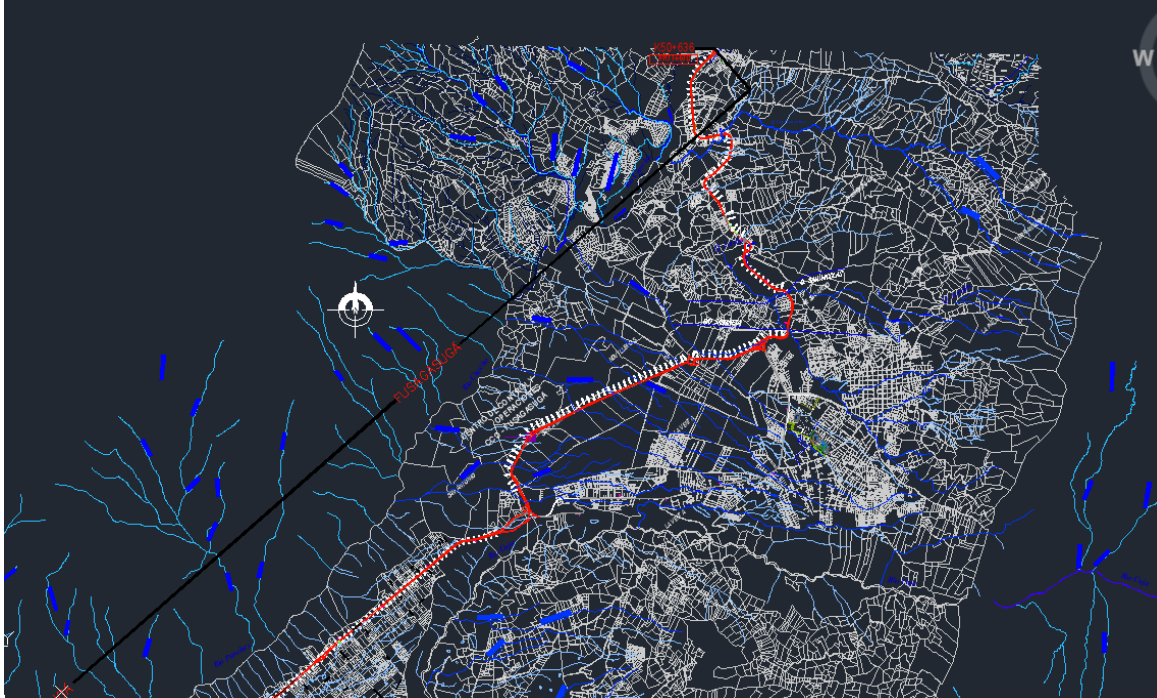
- Conteo de los individuos arbóreos en cada uno de los predios.
- Clasificación de las especies sembradas según fichas.
- Documentación de los datos.

7.4. CONSTRUCCIÓN DEL SIG

Luego de compilar la información se procedió a construir el sistema de información geográfica con ayuda de ArcGIS para esto se tuvo que partir un mapa de la zona donde se encontrara la división de cada uno de los predios el cual se tuvo que solicitar al Instituto Geográfico Agustín Codazzi en formato DWG debido a que los costos en formato Shape eran demasiado elevados; por lo tanto, luego de obtener el mapa en formato DWG se procedió a convertirlo en Shape así economizando los gastos de inversión del proyecto.

- Solicitud del mapa ante el IGAC en formato DWG.
- Conversión del mapa a un Shape.
- Obtención de coordenadas norte y este de cada uno de los predios mediante un GPS.
- Construcción de las tablas de atributos donde contiene la información de: vereda, municipio, coordenadas, propietario, nombre del predio, fecha de plantación, número de individuos arbóreos clasificados según su especie, numero de resolución expedida por la car, entidad encargada, registro fotográfico, inversión.
- Importación de atributos a un Geodatabase.
- Construcción del corredor vial en un Layer independiente tipo línea.
- Conversión de archivo DWG a un Shape tipo línea.
- Construcción de polígonos de predios.
- Reubicación y rectificación de los predios.
- Inclusión de fotografías recientes de los lugares de siembra.

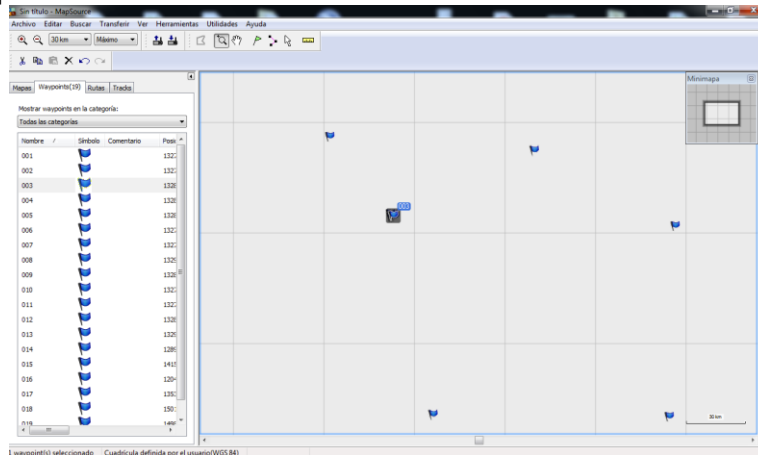
Ilustración 7. Mapa de zona de estudio georreferenciados en formato DWG



Fuente: autor.

Mapa de la zona de estudio filtrado a la variante de Fusagasugá y georreferenciados, para posterior exportación a formato shape.

Ilustración 8. Coordenadas por medio de GPS Garmin y digitalizadas mediante MapSource



Fuente: autor.

Con la ayuda de un GPS se establecieron las coordenadas norte y este de cada uno de los predios.

Ilustración 9. Creación de inventario forestal a partir de visitas a cada uno de los predios



Fuente: autor.

Realización de recorrido de campo en cada uno de los predios en compañía de personal de la zona. Este recorrido se llevó a cabo en varias sesiones debido a la extensión de la zona de estudio.

Ilustración 10. Recorrido en predio finca El Trébol



Fuente: autor.

Predio Santa Teresa ubicado en la vereda Jordán Bajo del municipio de Fusagasugá, aquí se realizó la siembra de un total de 97 especímenes arbóreos de los cuales solo fueron sembrados nacedero.

Ilustración 11. Recorrido predio Cimitarra



Fuente: autor.

Predio Cimitarra ubicado en la vereda La Palma del municipio de Fusagasugá, en este predio se llevo a cabo la siembra de 250 cedros.

Ilustración 12. Recorrido predio Altamira



Fuente: autor.

Predio Altamira ubicado en la vereda Pekín, municipio de Fusagasugá, este predio fue compensado con un total de 30 especímenes arbóreos entre ficus y ocobos.

Ilustración 13. Recorrido predio Las Golondrinas



Fuente: autor.

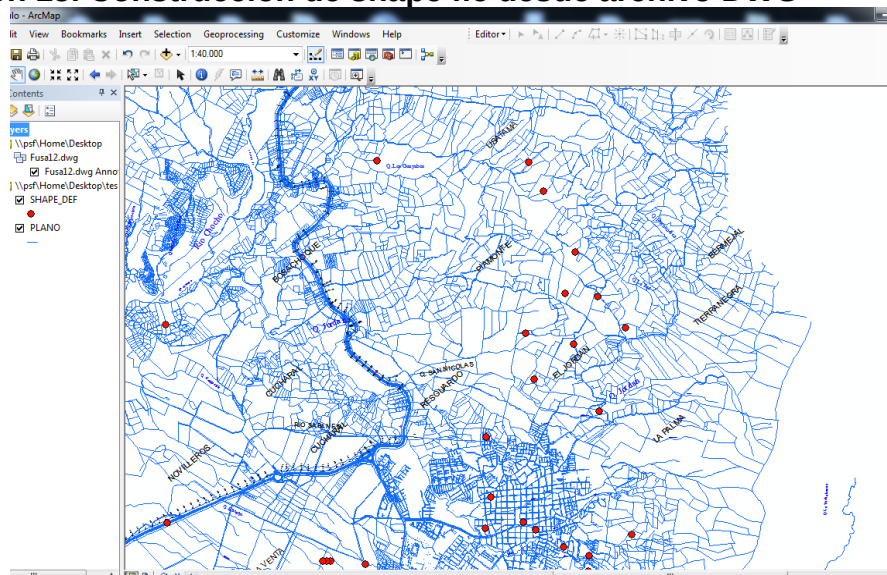
Predio Las Golondrinas, ubicado en la vereda Pekín, municipio de Fusagasugá, en este predio se llevo a cabo la siembra de 50 especímenes arbóreos entre guaduas y ficus.

Ilustración 14. Elaboración de tabla en Excel con la información recopilada en campo

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1														
2	Acacia Común	Acacia Japonesa	Acacia Mangium	Acacia Morada	Acacia Roja	Acacia Rubra	Aliso	Araucaria	Araucaria	Balú	Búcaro	ballo de la Noc	Cedro	Cajeto
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	6	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0
11	5	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	10	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0
15	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
16	11	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
17	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
18	16	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
19	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	1230	0	0	0	0	0	0	270
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	280	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	10	0	0	0
25	110	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

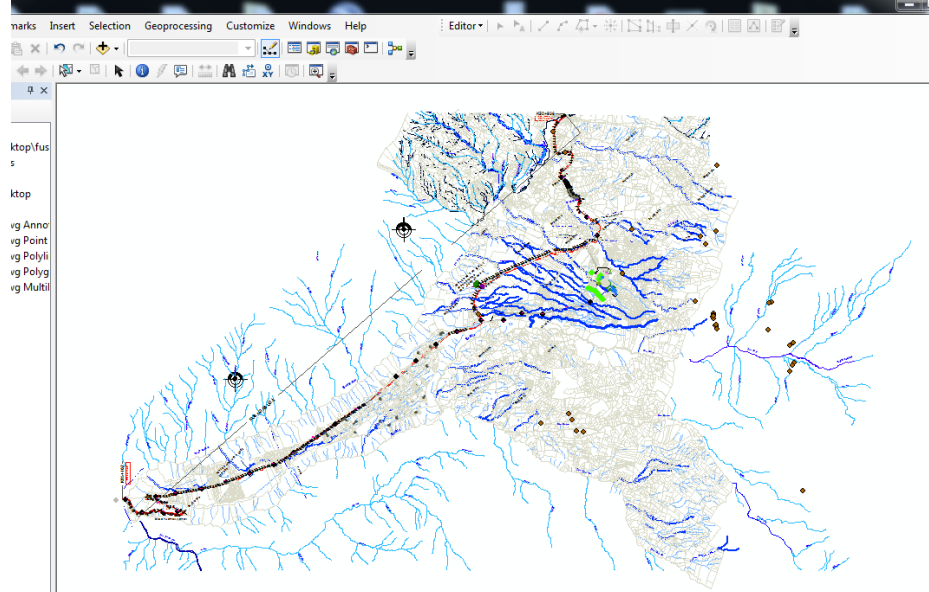
Fuente: autor.

Ilustración 15. Construcción de shape fie desde archivo DWG



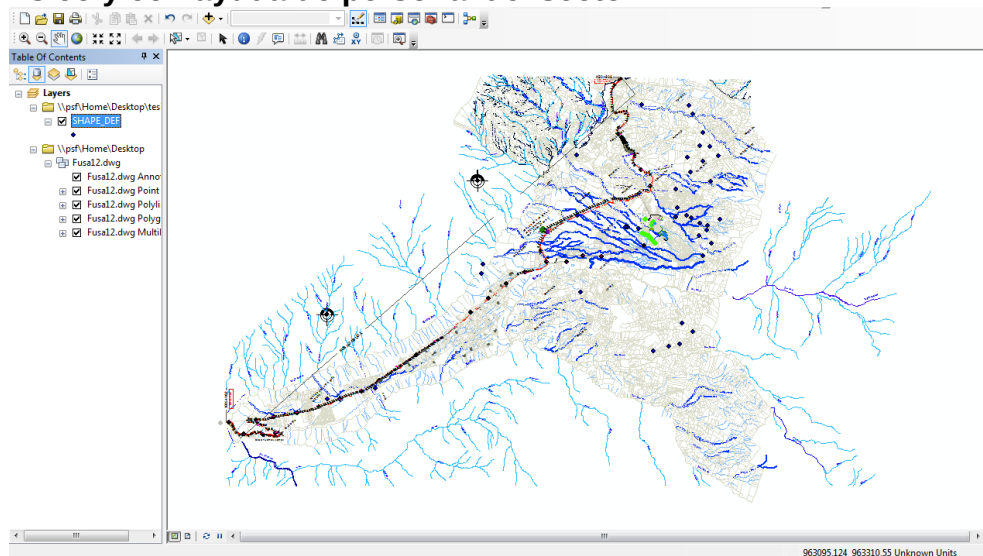
Fuente: autor.

Ilustración 16. Importación de las coordenadas norte y este



Fuente: autor.

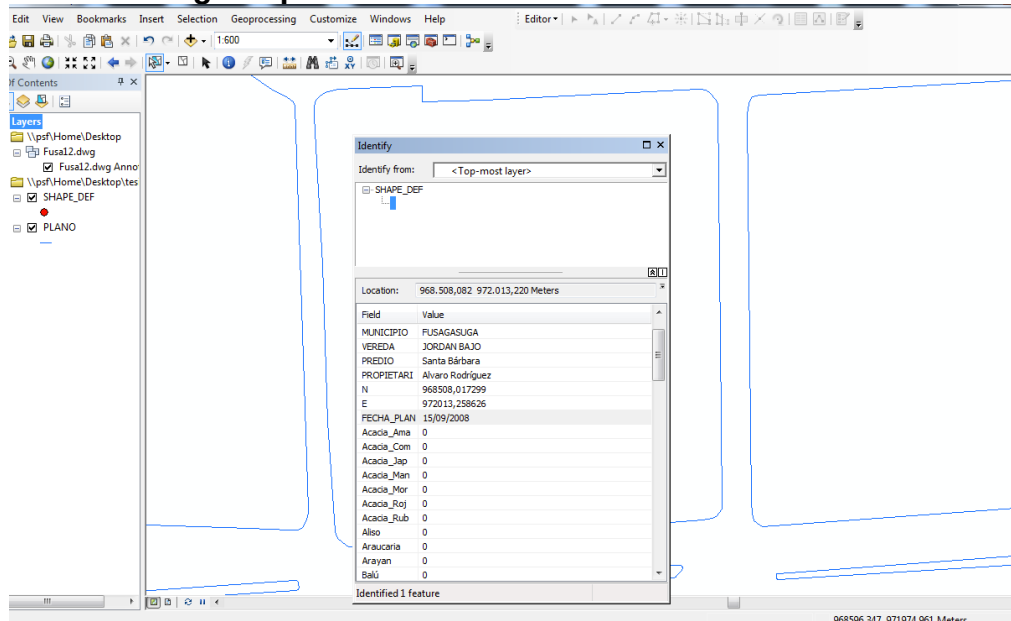
Ilustración 17. Corrección de la ubicación y atributos mediante un mapa físico y con ayuda de personal del sector



Fuente: autor.

Debido a ciertas inexactitudes en el levantamiento de coordenadas, se pide colaboración a personal del sector para confirmar ubicaciones de los predios compensados.

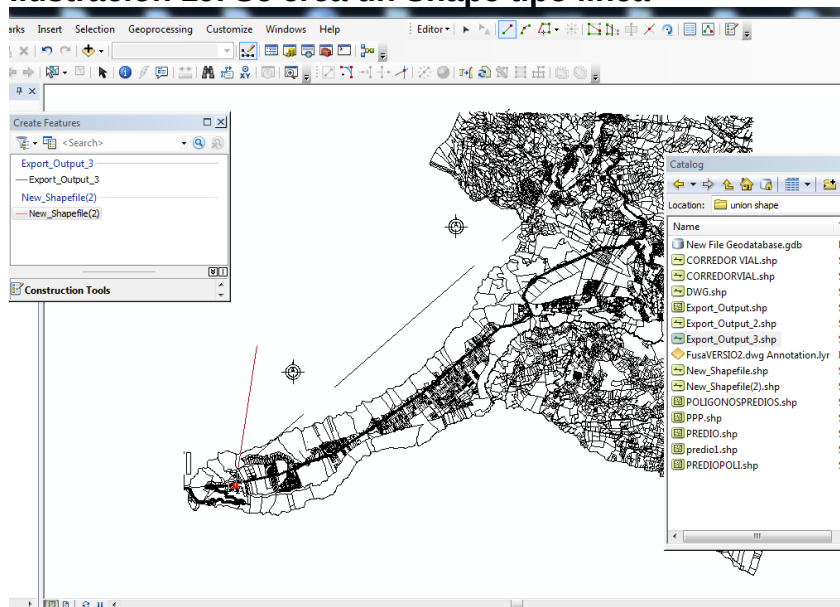
Ilustración 18. Exploración de los atributos de cada uno de los predios para encontrar algún tipo de inexactitud



Fuente: autor.

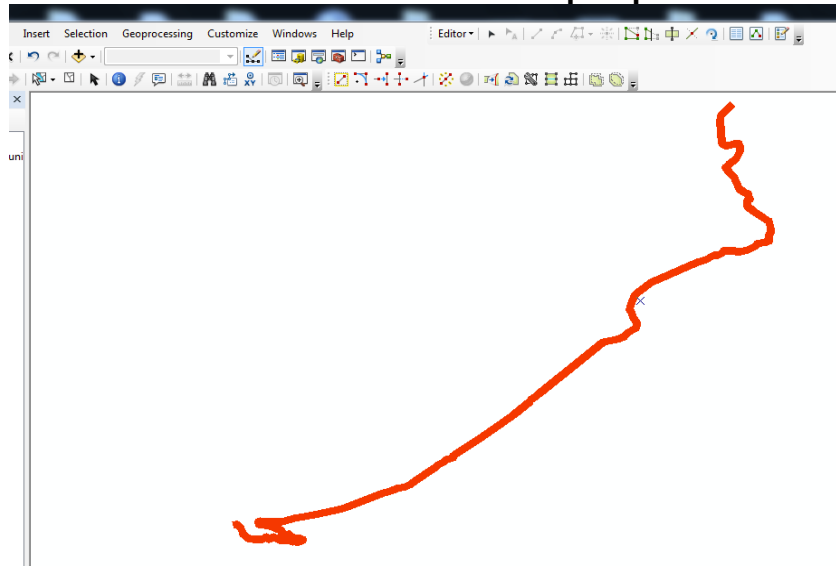
Se corrobora la información en cada uno de los predios compensados y se confirma cada uno de los atributos.

Ilustración 19. Se crea un Shape tipo línea



Fuente: autor.

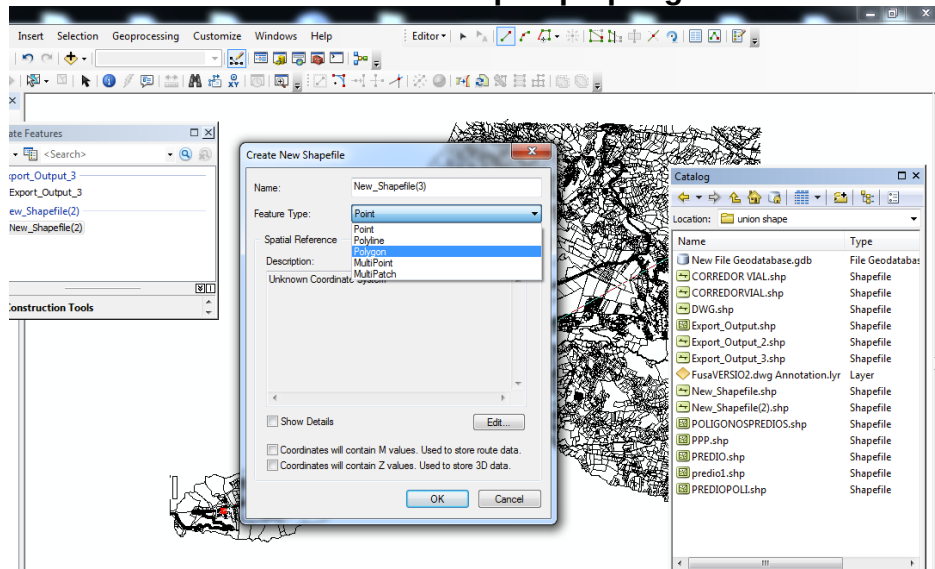
Ilustración 20. Corredor vial con Shape tipo línea



Fuente: autor.

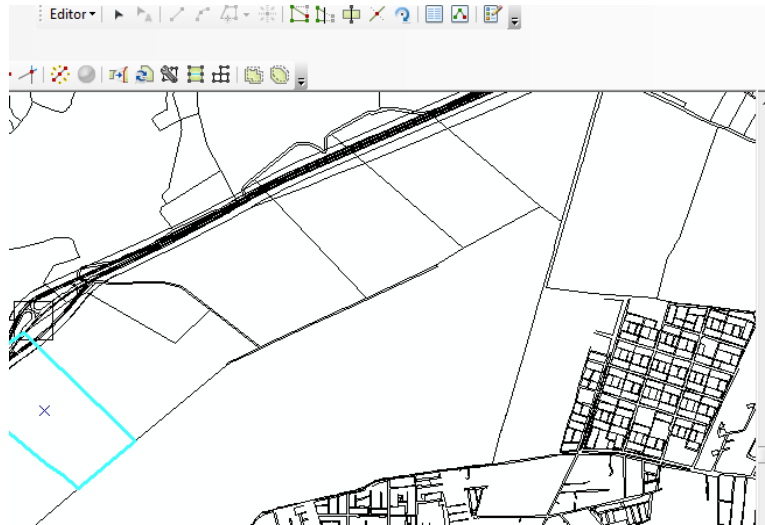
Para dar mayor claridad en el momento de leer la información, se construye un shape tipo línea que calca el corredor vial, pues el plano de trabajo no diferencia de manera clara el corredor vial.

Ilustración 21. Construir un Shape tipo polígono.



Fuente: autor.

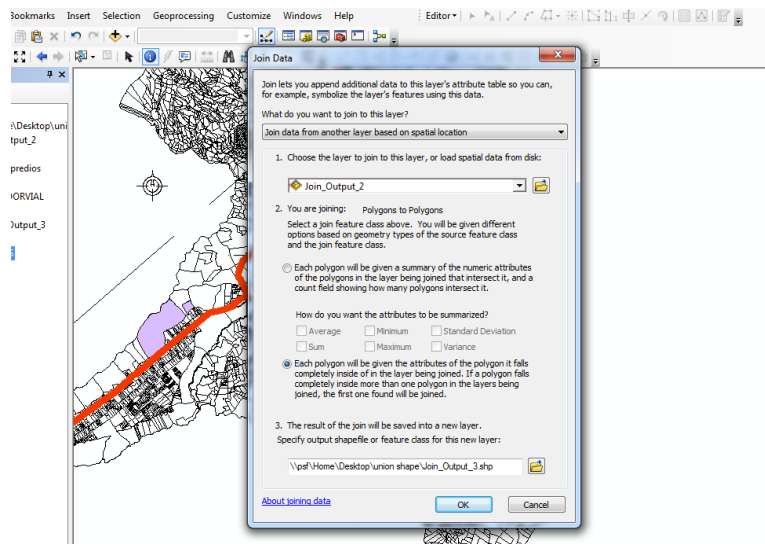
Ilustración 22. Se dibuja sobre el plano y se usa la herramienta de construir polígono



Fuente: autor.

Se dibujan los polígonos de los predios usando como referencia el plano original, esto se debe hacer para cada uno de los predios compensados.

Ilustración 23. Spatial Join colocando los atributos del Shape tipo punto a los polígonos



Fuente: autor.

Se procede a insertar los atributos de cada uno de los predios que originalmente estaban como tipo punto a los polígonos recién creados.

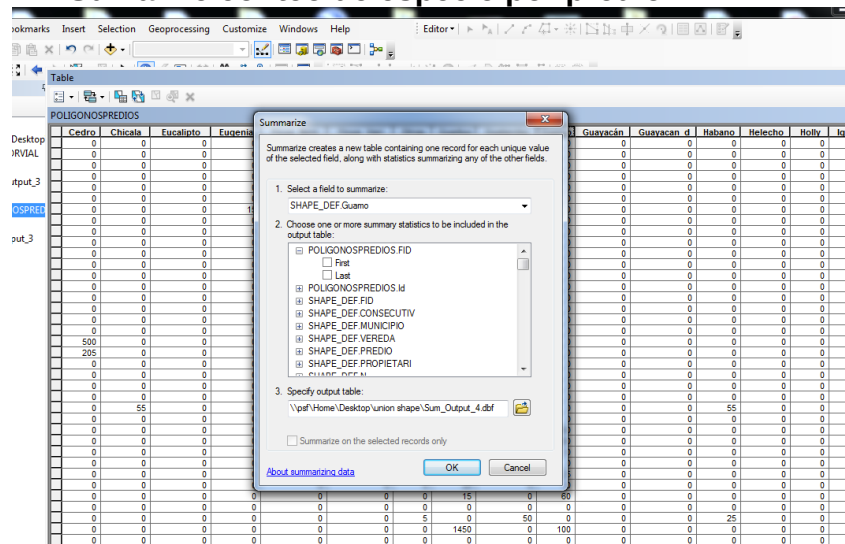
8. ANÁLISIS

8.1. ESTADO INICIAL

La Concesión Autopista Bogotá Girardot llevaba un registro manual de todas las actividades de compensación forestal en los predios, donde la única información recopilada era la cantidad de especies arbóreas y el nombre del predio. Dicha información estaba actualizada hasta el año 2013, y las siembras posteriores a ese año carecían de algún control, por lo que el objetivo del trabajo fue recopilar toda la información posible y, además, la existente ponerla en orden e implementarla en un SIG.

El análisis que se le aplicó a este trabajo fue hecho mediante software ArcGis con el fin de establecer lo útil y práctico de la misma, además de la disminución en tiempos. La adopción de un SIG para el manejo de la información de la compensación forestal de CABG permite, infinidad de análisis espaciales interesantes.

Ilustración 17. Sumarize conteo de especie por predio



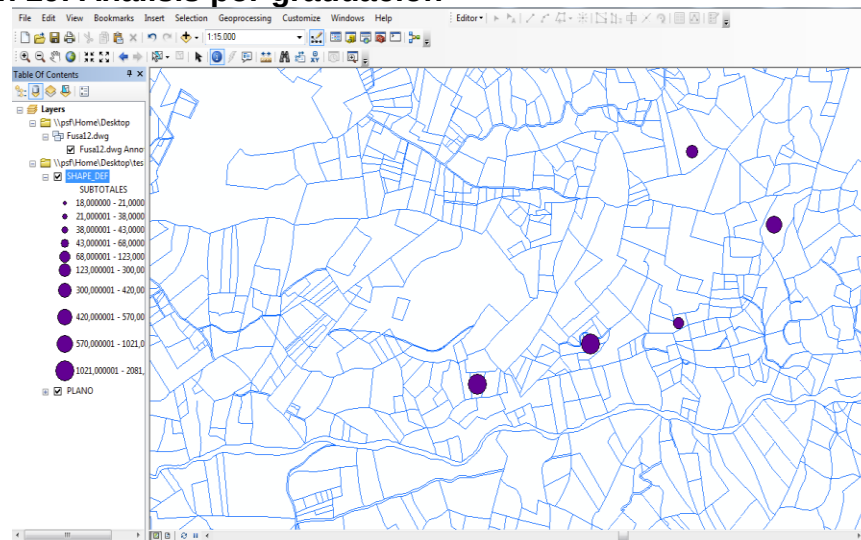
Fuente: autor.

Ilustración 18. Sumarize de especie guamo por predio.

id	Guamo	Count_Guamo	First_PREDIO
0	0	31	Altamira
1	10	2	Casa de Leta
2	20	1	Pablo Emilio Cubillos
3	25	2	Nuestro Mundo
4	60	1	El Rubi
5	100	1	Villa Marcela - Oda Las Chachas
6	300	2	Brasa del Bosque I

Fuente: autor.

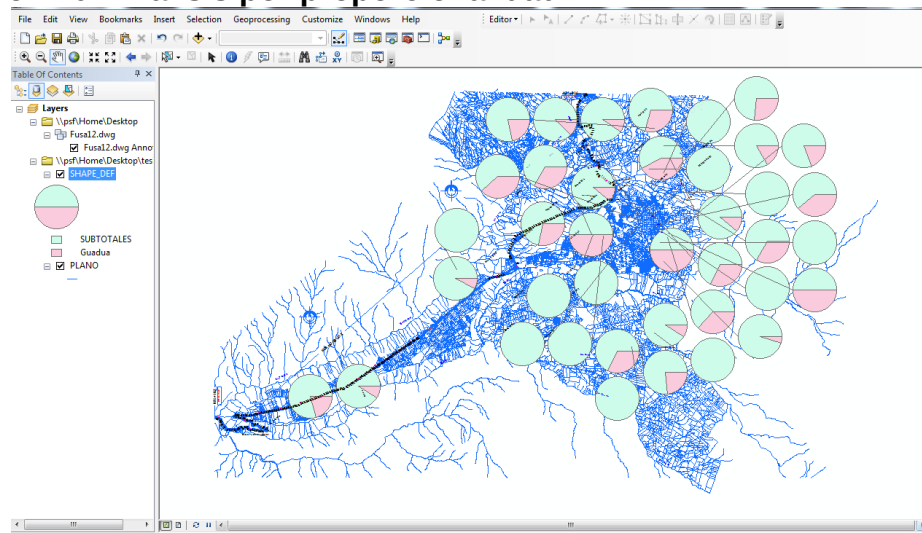
Ilustración 19. Análisis por graduación



Fuente: autor.

Se analiza con la herramienta graduación de símbolos la mayor cantidad de especímenes arbóreos sembrados en los predios, arrojando como resultado los predios de Villa Yuri, Cimitarra y Dos Caminos. Este tipo de herramienta permite un análisis rápido ya que hace un comparativo grafico que resulta fácil de entender.

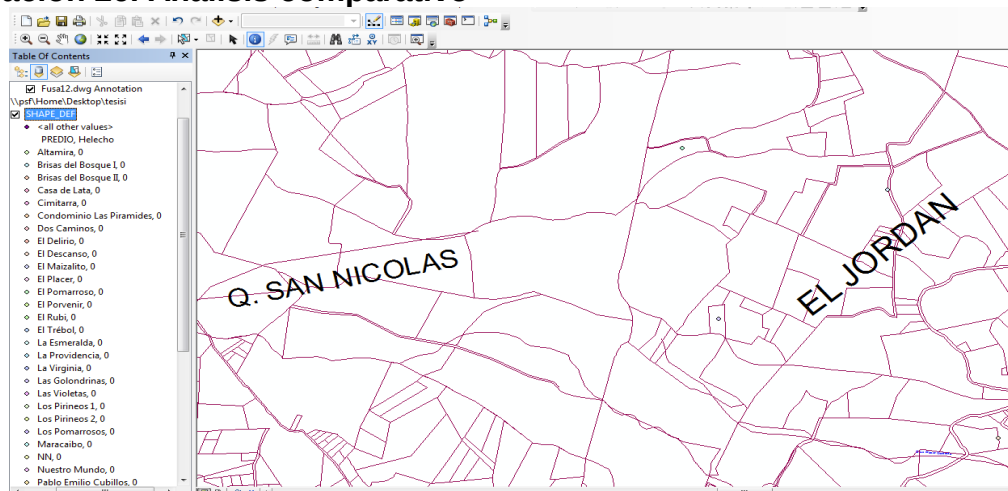
Ilustración 20. Análisis por proporcionalidad



Fuente: autor.

Se analiza que la guadua es una especie que se presenta en la mayoría de los predios, esto se hizo a través de la herramienta de charts pie la cual genera unas gráficas tipo torta en las que se observa la proporcionalidad de los atributos que se elijan.

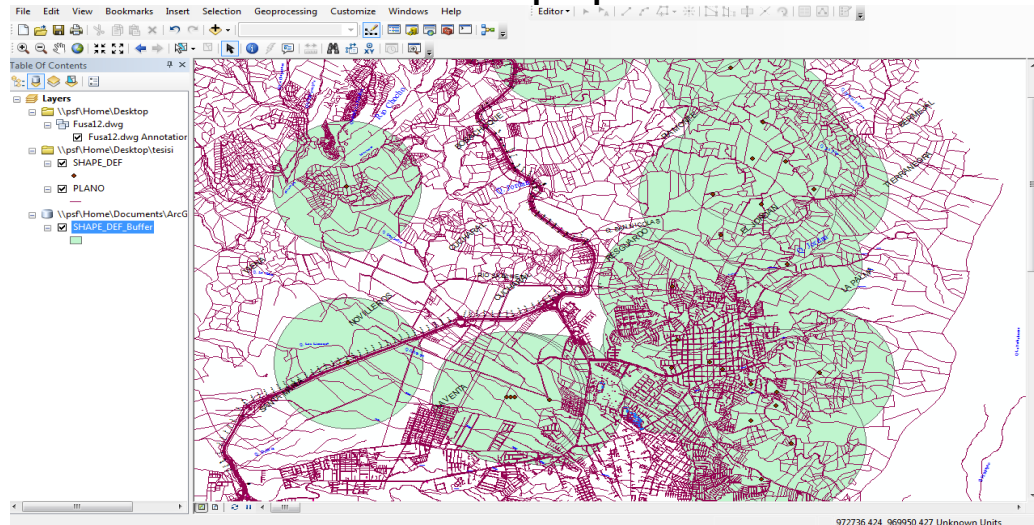
Ilustración 26. Análisis comparativo



Fuente: autor.

Se analiza mediante un comparativo entre el predio y las cantidades de helechos sembrados, el cual arroja como resultado que el predio Los Pirineos es el único con siembra de helechos.

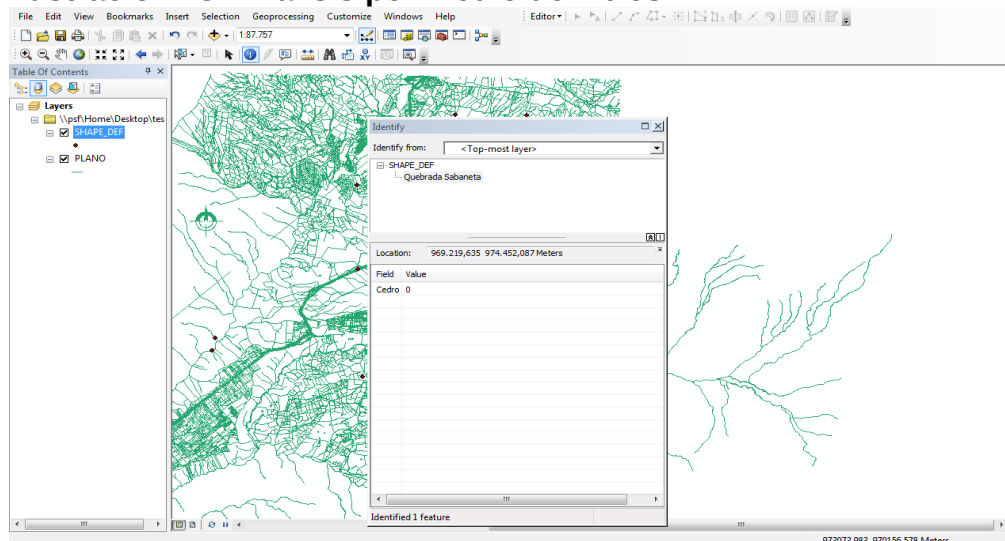
Ilustración 27. Marcación de influencia por predio con herramienta buffer



Fuente: autor.

Con la herramienta de buffer analizamos la distancia entre las siembras colocando como referencia 1 km con lo que concluimos la cercanía de las compensaciones forestales.

Ilustración 28. Análisis por medio de filtros



Fuente: autor.

Con la herramienta de filtros se analiza solamente el atributo que queramos conocer; para este caso se estudió la cantidad de cedros sembrados por predio.

Ilustración 29. Análisis mediante gráficos

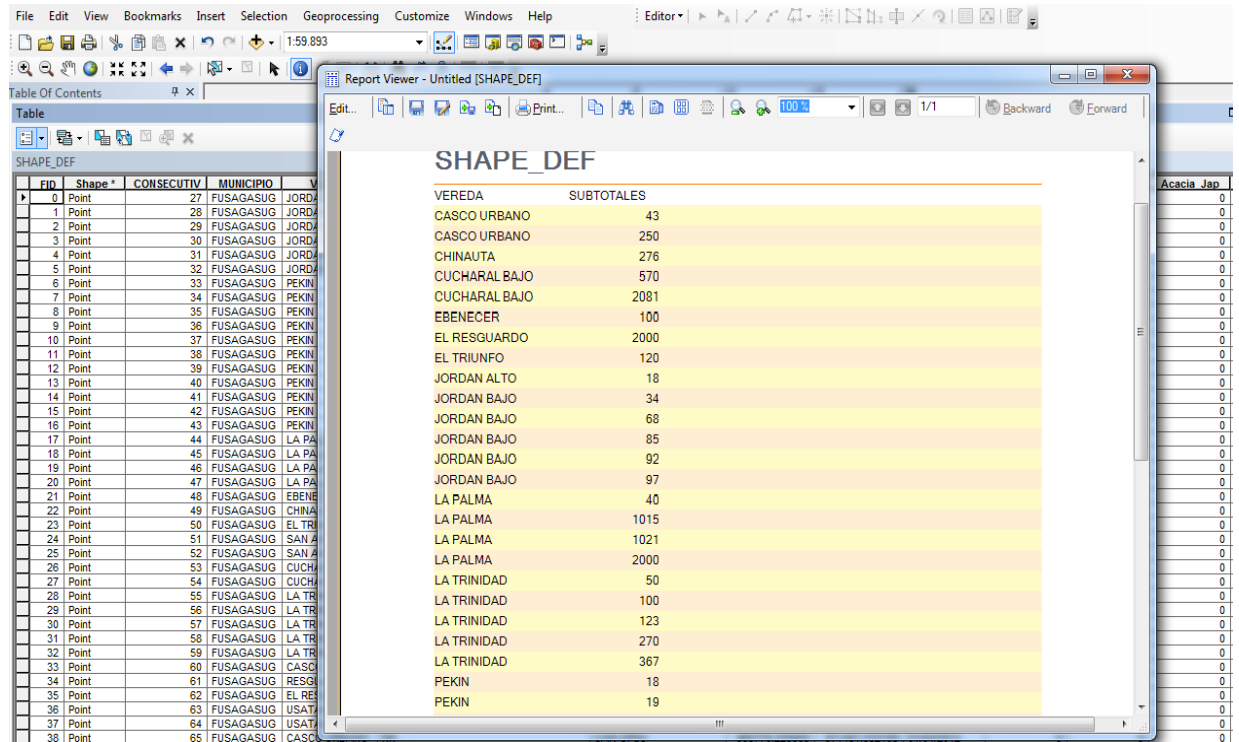


Ilustración 30. Informe por gráfico de barras para analizar cantidad de especies sembradas por predio según fecha



Mediante la herramienta de gráficos se analiza la fecha de plantación donde hay mayor cantidad de siembra de especies arbóreas, dando como resultado el 26 de mayo del 2011.

Ilustración 31. Generación de informe



The screenshot shows a GIS application window with a 'Table' view on the left and a 'Report Viewer' window on the right. The 'Table' view displays a list of points with attributes: FID, Shape, CONSECUTIV, MUNICIPIO, and VEREDA. The 'Report Viewer' window displays a report titled 'SHAPE_DEF' with a table of veredas and their counts.

FID	Shape	CONSECUTIV	MUNICIPIO	VEREDA
0	Point	27	FUSAGASUG	JORDA
1	Point	28	FUSAGASUG	JORDA
2	Point	29	FUSAGASUG	JORDA
3	Point	30	FUSAGASUG	JORDA
4	Point	31	FUSAGASUG	JORDA
5	Point	32	FUSAGASUG	JORDA
6	Point	33	FUSAGASUG	PEKIN
7	Point	34	FUSAGASUG	PEKIN
8	Point	35	FUSAGASUG	PEKIN
9	Point	36	FUSAGASUG	PEKIN
10	Point	37	FUSAGASUG	PEKIN
11	Point	38	FUSAGASUG	PEKIN
12	Point	39	FUSAGASUG	PEKIN
13	Point	40	FUSAGASUG	PEKIN
14	Point	41	FUSAGASUG	PEKIN
15	Point	42	FUSAGASUG	PEKIN
16	Point	43	FUSAGASUG	PEKIN
17	Point	44	FUSAGASUG	LA PA
18	Point	45	FUSAGASUG	LA PA
19	Point	46	FUSAGASUG	LA PA
20	Point	47	FUSAGASUG	LA PA
21	Point	48	FUSAGASUG	EBENE
22	Point	49	FUSAGASUG	CHINA
23	Point	50	FUSAGASUG	EL TRI
24	Point	51	FUSAGASUG	SAN A
25	Point	52	FUSAGASUG	SAN A
26	Point	53	FUSAGASUG	CUCHAR
27	Point	54	FUSAGASUG	CUCHAR
28	Point	55	FUSAGASUG	LA TRI
29	Point	56	FUSAGASUG	LA TRI
30	Point	57	FUSAGASUG	LA TRI
31	Point	58	FUSAGASUG	LA TRI
32	Point	59	FUSAGASUG	LA TRI
33	Point	60	FUSAGASUG	CASCO
34	Point	61	FUSAGASUG	RESGU
35	Point	62	FUSAGASUG	EL RES
36	Point	63	FUSAGASUG	USATI
37	Point	64	FUSAGASUG	USATI
38	Point	65	FUSAGASUG	CASCO

VEREDA	SUBTOTALES
CASCO URBANO	43
CASCO URBANO	250
CHINAUTA	276
CUCHARAL BAJO	570
CUCHARAL BAJO	2081
EBENECEER	100
EL RESGUARDO	2000
EL TRIUNFO	120
JORDAN ALTO	18
JORDAN BAJO	34
JORDAN BAJO	68
JORDAN BAJO	85
JORDAN BAJO	92
JORDAN BAJO	97
LA PALMA	40
LA PALMA	1015
LA PALMA	1021
LA PALMA	2000
LA TRINIDAD	50
LA TRINIDAD	100
LA TRINIDAD	123
LA TRINIDAD	270
LA TRINIDAD	367
PEKIN	18
PEKIN	19

Fuente: autor.

Generando un informe se analiza las veredas con mayor cantidad de especímenes sembrados, arrojando como resultado la vereda El Resguardo, Cucharal Bajo.

9. CONCLUSIONES

- La elaboración de un SIG para una compensación forestal disminuye los tiempos de análisis de datos y, además, hace el análisis más certero y eficaz.
- El uso de recursos para analizar y estudiar la compensación forestal mediante un SIG se disminuye a una sola persona, por lo tanto resulta más económico para la CABG.
- La unificación de información en un SIG da como resultado análisis más profundos y elaborados en una compensación forestal.
- Para un proyecto vial de la envergadura de la Concesión Autopista Bogotá Girardot el modelo de compensación forestal mediante un SIG, más que una herramienta que facilita el análisis informativo, se convierte en una necesidad para llevar un control eficiente sobre el mismo.
- Un modelo mediante un SIG abre las puertas a los demás proyectos viales venideros y a las concesiones de 4 G para que, desde un principio, elaboren sus compensaciones forestales con un SIG como el que se muestra aquí, pues este trabajo es el primero en su género dedicado a una compensación forestal.
- El SIG implementado aquí es el compendio interdisciplinar de varias ramas del saber académico como la forestal, ambiental, social y, por supuesto, la civil.
- Cualquier proyecto ingenieril debe ser asociado con la parte ambiental desde el comienzo hasta el final del proceso para así reducir los impactos y generar estrategias interdisciplinarias en pro del proyecto.
- Con la implementación del SIG se dispone de la información de manera inmediata y especializada.
- Un SIG es la herramienta adecuada para el manejo de grandes cantidades de información, como es el caso de la compensación forestal.

- La elaboración de un SIG de manera correcta depende del buen desarrollo de trabajo de campo, ya que este va a generar la información que alimenta el software.
- El SIG permite elaborar estrategias de planificación de forma más rápida y eficaz y también planes de contingencia de manera precisa.
- El SIG genera una amplia cobertura para efectuar estudios en diversas áreas que muestren detalles espaciales o geográficos, lo cual permite mayor control.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Concesión Autopista Bogotá Girardot crear la necesidad entre sus empleados de utilizar el Sistema para abastecer la base de datos y mantenerla actualizada.

Así los procesos se deben llevar a cabo, independientemente de los funcionarios de turno, pues la CABG debe garantizar la continuidad, la eficacia y la eficiencia dentro del manejo y control de los mismos.

11. GLOSARIO

ALFANUMÉRICO: combinación de signos alfabéticos y numéricos. Son campos que pueden contener tanto números como letras.

ARCINFO: es un programa para PC y compatible sobre sistema operativo DOS, Windows 98, 2000, Millenium, que permite la creación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en formato vectorial. Ha sido desarrollado por el Environmental System Research Institute (ESRI, Redlands, California, EE. UU.) y goza actualmente de una gran difusión. Desde un principio fue ideado como un sistema genérico apto para ser utilizado en una gran variedad de trabajos de geoproceto. Responde, a la necesidad de manejar y analizar grandes volúmenes de datos espaciales junto con sus atributos temáticos asociados, todo ello dentro de un sistema de coordenadas terrestres (UTM, geográfica, Lambert, etc.) que permitan mantener la coherencia de la información recogida. ARCINFO está orientado hacia una fase de un proyecto SIG: creación de la base de datos gráfica, creación de la base temática asociada, corrección de errores, análisis espacial, modelado cartográfico, etc.

ARCGIS: a finales del 2000, ESRI dio a conocer la primera fase del sistema de ArcGis, una nueva arquitectura integrada para los productos GIS. Esta arquitectura proporciona una solución escalable y global para construir y servir aplicaciones GIS de todos los tipos dentro de todas las arquitecturas de ordenadores. El sistema de ArcGis se diseña para interactuar con la tecnología, aplicaciones y bases de datos existentes en la empresa. Por medio del uso de estándares abiertos, tales como COM, XML y SQL, ArcGis puede comunicarse con las bases de datos de la empresa (con o sin extensiones espaciales), servidores Web, y aplicaciones complementarias para la gestión de recursos de la empresa y gestión de la relación con el cliente.

BASE DE DATOS: Cualquier conjunto de datos organizados para su almacenamiento en la memoria de un computador, diseñado para facilitar su mantenimiento y acceso de una forma estándar; los datos se almacenan en tablas a las que se accede mediante consultas escritas. Los datos suelen aparecer en forma de texto, números o gráficos.

ARCVIEW: el segundo más popular después de MapInfo. Cubre los principales requisitos como creación de mapas, manejo de datos tabulares, simbolización y tematización de mapas según diversos métodos de clasificación de datos, etiquetado de mapas con texto y gráficos, generación de gráficas basadas en datos, soporte para diversas proyecciones, layouts para composición de mapas para impresión, búsqueda de entidades con atributos particulares, localización de entidades por proximidad con otras entidades, localización de entidades dentro de otras entidades, localización por intersección, soporte para tableta digitalizadora y

compatibilidad con el Spatial Database Engine.

COORDENADA: cantidad usada para definir una posición en un sistema de referencia las coordenadas, pueden ser lineales (cartesianas) o angulares (esféricas), según el sistema de referencia.

DATOS ESPACIALES: son aquellos datos que poseen localización, forma, tamaño y orientación. Incluyen las relaciones espaciales, ejemplo: la localización de infraestructura y de fallas geológicas en un mapa, muestra la relación que existe entre estos elementos, en relación con los daños que la activación de la falla pudiera ocasionar sobre la infraestructura. Son generalmente multidimensionales y autocorrelacionables.

DATOS NO ESPACIALES: también llamados datos de atributos o características, son aquellos que son dependientes de todas las consideraciones geométricas e independientes de la localización de la persona. Son generalmente de una dimensión e independientes.

GEORREFERENCIACIÓN: proceso de asignación de coordenadas a elemento u objeto de la realidad.

GPS (Sistema de Posicionamiento Global): sistema de navegación basado en 24 satélites, que proporcionan posiciones en tres dimensiones, velocidad y tiempo, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas.

LOCALIZACIÓN: es la acción y el efecto de localizar; es el lugar que ocupa un objeto o un hecho.

MAPA: representación de un área geográfica, que suele ser generalmente una porción de la superficie de la Tierra, dibujada o impresa en una superficie plana.

METADATOS: diccionario de definiciones de los datos almacenados. Es como una biblioteca que recoge cómo, dónde y qué datos se han incorporado en el Data Warehouse.

SIG (Sistemas de Información Geográfica): sistema informático que graba, almacena y analiza la información sobre los elementos que componen la superficie de la Tierra.

SHAPEFILE: el formato ESRI Shapefile (SHP) es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI, quien crea y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica como Arc/Info o ArcGIS. Originalmente se creó para la utilización con su producto

ArcView GIS, pero actualmente se ha convertido en formato estándar de facto para el intercambio de información geográfica entre Sistemas de Información Geográfica por la importancia que los productos ESRI tienen en el mercado SIG y por estar muy bien documentado. Un SHP es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos. No obstante carece de capacidad para almacenar información topológica. Es un formato multiarchivo, es decir está generado por varios ficheros informáticos. El número mínimo requerido es de tres y tienen las extensiones siguientes:

- .shp: es el archivo que almacena las entidades geométricas de los objetos.
- .shx: es el archivo que almacena el índice de las entidades geométricas.
- .dbf: es la base de datos, en formato dBASE, donde se almacena la información de los atributos de los objetos.

RASTER: (GIS general): modelo de datos geográfico que representa la información a través de una malla regular de tipo un mosaico, donde cada celda (píxel) es la unidad mínima de información que lleva asociado un número. Este número se corresponde con el valor de un fenómeno geográfico en el punto de la superficie terrestre que representa la celda. En general, las estructuras de datos raster son más efectivas que el modelo vectorial para representar datos continuos de objetos geográficos sin límites precisos (por ejemplo, un modelo digital del terreno o una nube de contaminación). Para objetos geográficos con límites precisos y datos discretos, suele ser más apropiada (aunque no siempre) la estructura de datos vectorial.

GIS: (acrón.) (GIS general): Geographic Information System. Conjunto de tecnología (software y hardware), datos y personal especializado encargados de la captura, almacenamiento y análisis de información espacialmente referenciada. Existe una controversia entre si el término debe ser acrónimo de Geographic o Geographical, puesto que el carácter de geográfico lo aporta la información y no el sistema en sí. En español, está más extendida la versión Sistema de Información Geográfica (en alusión a la información, que es quien aporta el carácter diferenciador frente a otros sistemas), pero en inglés predomina la versión Geographic Information Sistem (Sistema de Información Geográfico).

UTM, UNIVERSAL TRANSVERSAL MERCATOR (UTM): sistema de proyección cartográfica basada en el desarrollo conforme cilíndrico de Gauss. Se trata de un sistema basado en coordenadas planas que divide la tierra en 60 zonas (husos) cada una de 6° de ancho, numerados del 1 al 60 y con origen en 180° con respecto al meridiano principal (Prime meridian) de Greenwich. Para las zonas de latitudes superiores a 80° Norte o Sur, se utiliza la proyección estereográfica UPS (Universal Polar Stereographic).

Sobre estos husos el origen de coordenadas en el eje de las X está en el meridiano central del huso, con un retranqueo de 500.000 metros, y el origen del eje Y se encuentra en el ecuador (en el hemisferio sur con un retranqueo de 10 millones de metros). Ambas coordenadas se expresan en metros (por ejemplo E:434326, N:4804356). La proyección se basa en la colocación de un cilindro imaginario transversal y tangente al elipsoide a lo largo del meridiano central de cada huso, por lo que este es automecánico (se dibuja como una línea recta). El elipsoide asociado con esta proyección es el de Hayford (también llamado Internacional de 1924). El Datum para el caso de España está ubicado en Potsdam, Alemania (también llamado Datum Europeo).

FOTOINTERPRETACIÓN: (Fotogrametría): conjunto de técnicas y métodos encaminados a la extracción de información procedente de fotografías aéreas.

ARCINFO: (GIS Específico ESRI®): producto de la gama de herramientas de ESRI®, antes estrella pero que ahora está siendo sustituido poco a poco por la nueva gama ArcGIS™. Dentro de ArcInfo® Workstation se incluyen herramientas de edición, publicación, gestión de transacciones, sistema gestor de bases de datos, etc.

DWG: (CAD): formato de archivo de dibujo de AutoCAD®. Es un formato en binario que constituye un estándar dentro del mundo del CAD. Su extensión proviene de la abreviatura de la palabra inglesa 'drawing'.

DIGITALIZAR (DIGITIZE): (GIS general): proceso de conversión de una fuente analógica (en soporte papel) a una réplica en digital. Generalmente se aplica este término a la captura de información geográfica utilizando una mesa digitalizadora.

GEOMÁTICA: conjunto de técnicas informáticas encargadas del tratamiento y análisis de información geográficamente referenciada. Este término, cada vez más utilizado, hace referencia al conjunto de metodologías especializadas informáticas que se han ido especializando en automatizar las tareas relacionadas con el análisis espacial.

FOTOGRAMETRÍA: ciencia que se encarga de extraer información métrica precisa a partir de la aplicación de técnicas geométricas sobre fotografías. Se utiliza especialmente para la realización de mapas a partir de fotogramas aéreos verticales, si bien también existen técnicas y métodos para la explotación de fotogramas terrestres convencionales. En cartografía y GIS las técnicas fotogramétricas tienen una enorme importancia, pues son una de las principales metodologías de adquisición de información.

GPS: acrónimo de Global Positioning System; Sistema de posicionamiento global. Sistema que permite a un usuario dotado del correspondiente receptor, conocer su ubicación espacial con precisión en cualquier parte del globo y en tiempo real. El

sistema se basa en una órbita de satélites alrededor de la tierra que emiten una señal de radio; esta señal es captada por el receptor del usuario, el cual calcula la posición por trilateración. El cálculo de la posición es posible porque se conocen con exactitud la posición de los satélites, las características de la señal de radio y el tiempo que tardan las señales en llegar al usuario. El sistema GPS fue creado con fines militares por el Defensa Estadounidense, quien se encarga de su mantenimiento.

11.1 TÉRMINOS AMBIENTALES Y FORESTALES

ACUMULACIÓN DE TROZAS: apilado de trozas, generalmente en un cargadero.

ANCLAJE TOCÓN O ÁRBOL: árbol al que se amarra el extremo de un cable aéreo.

APEO: proceso de derribar un árbol en pie. Confróntese con corta.

APROVECHAMIENTO: conjunto de todas las operaciones, incluidas la planificación previa y la evaluación posterior, relacionadas con el apeo de los árboles y el desembosque de sus troncos u otras partes aprovechables para su posterior transformación en productos industriales. Se denomina también aprovechamiento de madera.

ÁRBOL NO EXPLOTADO: árbol de interés comercial que subsiste una vez concluidas las operaciones de aprovechamiento. De particular importancia en los sistemas discontinuos de aprovechamiento. Recibe también el nombre de árbol remanente.

CONTRAFUERTE: pliegue saliente de madera que aparece en el ángulo que forman una raíz lateral y la base de un árbol para dar estabilidad lateral al tronco. Los contrafuertes, muy corrientes en numerosas especies arbóreas de los bosques hidrofíticos perennifolios de las tierras bajas son menos comunes en los bosques hidrofíticos bajos de montaña y en los bosques hidrofíticos su perennifolios; son también relativamente raros en el bosque caducifolio húmedo.

CORTA: en la explotación maderera, término que comprende las operaciones de apeo, desrame, descortezado y tronzado.

CORTA A HECHO: sistema de aprovechamiento en el que se cortan todos los árboles comerciales de una zona determinada en la que no queda una cubierta arbórea significativa. Generalmente, sólo se aplica en las plantaciones.

CORTA MANUAL: apeo de los árboles con herramientas manuales, como hachas y sierras.

CORTA MECANIZADA: apeo de los árboles con máquinas especializadas, como cosechadoras.

CORTA MOTORIZADA: apeo de los árboles con herramientas a motor, generalmente motosierras.

CORTA PARCIAL: sistema de aprovechamiento en el que no se cortan todos los árboles comerciales

COSECHADORA: máquina que apea los árboles, los desrama y los trocea en trozas.

DESRAME: operación de cortar las ramas de un árbol apeado.

DRENAJE TRANSVERSAL: tubería de desagüe o canal superficial dispuesto en diagonal en la superficie de una carretera, vía de arrastre o corredor de un cable para desviar el agua de la superficie talada o de la cuneta de una carretera.

EMERGENTES: árboles cuyas copas sobresalen del nivel general de la cubierta forestal.

EROSIÓN: acción de los agentes atmosféricos naturales sobre cualquier cuerpo expuesto a ellos. En el presente documento, este término se refiere principalmente al desgaste del suelo por la acción física y química del agua

ESLINGA DE ESTRANGULACIÓN: lazo corredizo de cable o de cadena para amarrar las trozas que se engancha a un medio de transporte para llevar la troza hasta un cargadero.

EXPLOTACIÓN DE MADERA: operación de apear y extraer madera de los bosques, especialmente en forma de trozas.

FUSTE: tronco de un árbol que alcanza un grosor notable de manera que de él pueden obtenerse trozas, rollos para chapa o postes de gran tamaño.

RECURSO: en el presente documento, cualquier componente del entorno natural que se considera de valor o utilidad.

TALLO: eje principal de la planta, del que se derivan y desarrollan las yemas y brotes. El tallo de un árbol de gran tamaño recibe el nombre de tronco.

TAMBOR: carrete alrededor del cual se enrolla el cable. Confróntese con tomo.

TECNOLOGÍA DEL APROVECHAMIENTO: estudio o aplicación de principios

científicos y de ingeniería en las operaciones de aprovechamiento. En este código modelo de prácticas de aprovechamiento forestal, este término hace referencia, en sentido amplio, al equipo y las técnicas, las metodologías de planificación y control, el conocimiento científico y los principios de ingeniería, la enseñanza y capacitación y las prácticas que contribuyen directa o indirectamente al éxito de las operaciones de aprovechamiento.

VOLUMEN: cantidad estimada o medida de madera de una troza o árbol, que se expresa generalmente en m³.

12. BIBLIOGRAFÍA

ADONIS, Maikel. Guía para la elaboración de mapas con el uso de ArcGIS. 1 ed. Madrid: Editorial EAE, 2012.

CANTER, Larry W. Manual de evaluación de impacto ambiental. 2 ed. Madrid: Editorial Mc. Graw Hill, 1998.

PEÑA LLOPIS, Juan. Sistemas de información geográfica aplicados. 1 ed., Alicante: Editorial Club Universitarios, 2006.

PUERTA TUESTA, Ronald. Manual de ArcGIS 10 de la Universidad de la Selva. Perú: Editorial Tingo María, 2011.

TCHOBANOGLOUS, Gorge. Gestión integral de residuos Sólidos. Vol. I. Madrid: Editorial Mc Graw Hill, 1994.