DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA LA PLANIFICACION URBANA DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA

VARGAS RODRIGUEZ, JUAN GABRIEL

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

BOGOTA D.C.

2016

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA LA PLANIFICACION URBANA DEL MUNICIPIO DE MADRID, CUNDINAMARCA

VARGAS RODRIGUEZ, JUAN GABRIEL

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Topográfico

Msc. ROSE MARIE ALDANA BOUTÍN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
BOGOTA D.C.
2016

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS 3
INDICE DE TABLAS 4
INDICE DE ESQUEMAS 5
INTRODUCCIÓN 6
ABSTRACT 7
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 8
2. JUSTIFICACIÓN 9
3. OBJETIVO GENERAL 10
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10
4. ÁREA DE ESTUDIO 11
5. MARCO CONCEPTUAL 14
5.1. La Planificación Urbana 14
5.2. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) 16
5.2.1. Componentes de un SIG 17
5.2.2. Sistema Gestor de Bases de Datos 18
5.2.3. Las Bases de Datos, Modelos de Datos y Tipos de Información 19
5.2.4. Bases de Datos Espaciales 22
5.2.5. Normalización de Bases de Datos 23
5.2.6. Diccionario de Datos 25
5.2.7. Diseño e Implementación de BD Espaciales para SIG 26
5.2.8. Herramientas de Análisis ofrecidas por los SIG 29
5.3. SIG y Planificación Urbana 31
6. DESARROLLO METODOLOGICO 34
6.1. FASE 1: ACTIVIDADES PRELIMINARES 35
6.1.1. Modelo de Datos 35
6.1.2. Adquisición Y Depuración de la Información 35
6.1.3. Edición Geométrica 38
6.1.4. Estructuración Topológica 39
6.1.5. Atributos no Espaciales 41
6.2. FASE 2: DISEÑO 44

6.2.1. Diseño de la Base De Datos 44
6.2.2. Diccionario de Datos 50
6.2.3. Herramientas De Análisis Y Modelos De Automatización.....51
6.2.4. Salidas Gráficas 56
6.3. FASE 3: IMPLEMENTACIÓN 58
6.3.1. Implementación en el SGBD 58
6.3.2. Código SQL de la implementación de la BD en el SGBD (Modelo Físico) 60
6.3.3. Almacenamiento de la Información 64
6.3.4. Integración de la BD, Herramientas y Modelos en el SIG 65
7. RESULTADOS 72
CONCLUSIONES 76
GLOSARIO 78
BIBLIOGRAFÍA.....80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Municipios Colindantes con el Municipio de Madrid, Cundinamarca. 11
Figura 2: Ubicación del Municipio de Madrid con respecto al Departamento y al País. 12
Figura 3: Vista Satelital del Casco Urbano del Municipio de Madrid. 12
Figura 4: Mapa del Plan de Desarrollo de Kabul, Afganistán. 14
Figura 5: Los Componente de un SIG.....17
Figura 6: Esquema Genérico del Modelo Jerárquico 19
Figura 7: Esquema General de un Modelo en Red 20
Figura 8: Ejemplo de un Modelo Entidad-Relación en notación de Chen.....20
Figura 9: Ejemplo de un Modelo Relacional a base de tablas. 21
Figura 10: Ejemplo de la distribución de la información en una BDE. 22
Figura 11: Comparación entre Datos Raster y Vectoriales.....23
Figura 12: Ejemplo de una tabla sin normalizar. 24
Figura 13: Ejemplo de una tabla en 1FN.....24
Figura 14: Ejemplo de un Diccionario de Datos 26
Figura 15: Ejemplo de un Buffer realizado sobre una entidad tipo línea en QGIS. 29
Figura 16: Ejemplo de unos Polígonos de Thiessen. 30
Figura 17: Aplicación SIG en la Planificación Territorial. 31
Figura 18: Mapa de Usos Urbanos del Municipio de Madrid, Cundinamarca. 36
Figura 19: Catastro de la Red de Acueducto de Madrid, Cundinamarca. 37
Figura 20: Captura de Pantalla de las Estimaciones de Población 1985-2005 y Proyecciones de Población 2005-2020, Total Municipal por Área.....41
Figura 21: Tabla de Atributos de la Entidad "Manzanas" 45
Figura 22: Tabla de Atributos de la entidad "malla_vial". 46
Figura 23: Formato en Tamaño Pliego.....57
Figura 24: Ventana de pgAdmin III mostrando la Base de Datos Implementada en el Trabajo. 58
Figura 25: Modelo Relacional Final de la BD obtenido de la implementación a través de SQL Power Arquitect (Forma Final). 63
Figura 26: Vista del Shapefile generado que contiene información espacial sobre las manzanas del Municipio de Madrid.....64
Figura 27: Capas de la Base de Datos incorporadas desde PostgreSQL en QGIS 65
Figura 28: Ventana del Modelador Grafico de QGIS.....66
Figura 29: Captura del Modelo 1.....67
Figura 30: Captura del Modelo 2.....68
Figura 31: Captura del modelo 3.....69
Figura 32: Captura del Modelo 4.....70
Figura 33: Captura del Modelo 5.....71

Figura 34: Proyección espacial de la expansión urbana del casco urbano del Municipio de Madrid, Cundinamarca. 73
Figura 35: Barrios en Riesgo de Inundación en el Casco Urbano del Municipio de Madrid, Cundinamarca 73
Figura 36: Área Efectiva en Riesgo de Inundación dentro del Casco Urbano del Municipio de Madrid. 74
Figura 37: Limite del Área de Conservación Histórica sobre los Barrios del Municipio de Madrid, Cundinamarca. 74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sistema de Coordenadas a emplear en el proyecto 39
Tabla 2: Proyección de Población para el Area Urbana del Municipio de Madrid, Cundinamarca. 43
Tabla 3: Proyección de la Expansión Urbana del Municipio de Madrid, Cundinamarca. 43
Tabla 4: Cumplimiento de las formas normales para cada una de las tablas en la BD. 47

INDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1: Flujo de Trabajo empleado en el desarrollo del proyecto. 34
Esquema 2: Flujo de Trabajo para Conversión de Archivos PDF a ESRI Shapefile. 40
Esquema 3: Flujo de Trabajo para realizar estimaciones de población y de expansión urbana, ...42
Esquema 4: Modelo Entidad-Relación 48
Esquema 5: Modelo Relacional usado en la implementación. 49
Esquema 6: Modelo para determinar el área de protección hídrica del Rio Subachoque. 51
Esquema 7: Modelo para determinar los barrios que presentan riesgo de inundación. 52
Esquema 8: Modelo para determinar áreas en riesgo de inundación. 53
Esquema 9: Modelo para determinar el comportamiento espacial óptimo de la expansión urbana. 54
Esquema 10: Modelo para determinar los límites del área de conservación histórica. 55
Esquema 11: Flujo de Trabajo empleado para la Implementación de la BD en PostgreSQL. 59

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica en la actualidad poseen un campo de acción muy diverso desde estudios ambientales hasta control epidemiológico, la versatilidad de estas herramientas tecnológicas ha sido la principal razón para su aplicación en el campo de la planificación urbana, la mayoría de las grandes ciudades en el mundo emplean este tipo de herramientas como parte de sus estrategias para la gestión del territorio; en el país ciudades como Bogotá, Cali y Medellín emplean esta herramienta tanto para el inventario predial llevado a cabo por sus dependencias de catastro, como para la definición de políticas urbanísticas y sociales, llevando incluso su uso a un nivel más allá del comúnmente empleado realizando proyecciones de expansión y de infraestructura, sin embargo esta clase de herramientas no se han implementado de manera activa por parte de las administraciones municipales y especialmente por aquellas jurisdicciones donde la población ya ha superado los 100.000 habitantes, debido a las dinámicas poblacionales tanto del propio centro urbano como por la presión de poblaciones circundantes.

Por las razones anteriores se ha optado por diseñar e implementar un SIG aplicado a la planificación urbana en el municipio de Madrid, empleando información de fuentes como el Plan de Ordenamiento Territorial y de empresas de servicios públicos específicamente para el casco urbano del municipio pues este posee otros centros poblados que no son de interés para el presente proyecto, para su desarrollo se empleó una metodología basada principalmente en la migración de información en formatos no compatibles e integración con software de uso libre, así como la inclusión de modelos de automatización y predicción para expansión urbana; así mismo presenta un avance significativo para el desarrollo del municipio tanto en el marco regional como nacional, así como para el desarrollo de este tipo de herramientas en otros municipios.

ABSTRACT

Geographic Information Systems nowadays have a miscellaneous action field, since environmental studies to epidemiologic control, the versatility of this technological tools has been the principal reason of their application to urban planning, and a lot of the biggest cities in the world uses GIS as a part of their strategies to manage their urban web; In Colombia many cities as Bogotá, Cali and Medellin uses this tools for their cadastral inventory and define town and social politics, even became it into a tool for prediction of urban and infrastructure expansion. However this tools hasn't been implemented by municipalities in an active way particularly those where the population exceed 100.000, because different population dynamics caused by internal growing and external pressure induced by nearest cities.

In this context the best solution was develop a GIS applied to urban planning process in Madrid, Cundinamarca. Using information and data provided by Land Use Plan and public utilities, specifically for the urban area because the municipality has other urban centers that aren't significant for this project. It was developed using incompatible format migration and free software integration methodology, as well as automation models inclusion and urban growing prediction. Also it presents a significant progress for municipality development so in a regional as national frame, as well as develop this kind of tools in other cities.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Desde hace aproximadamente quince años el municipio de Madrid ha experimentado una serie de cambios en el ámbito territorial urbano, debido a las dinámicas poblacionales propias de las municipalidades pertenecientes al área metropolitana de una ciudad como Bogotá; el incremento en la actividad comercial e industrial de estas áreas ha propiciado un aumento significativo de la población que como consecuencia ha acelerado la expansión urbana, que a su vez aumenta la demanda de unidades residenciales, comerciales e industriales así como la demanda de infraestructura suficiente para atender las necesidades básicas en dichas zonas, esta creciente actividad genera enormes volúmenes de información espacial que debe ser catalogada, almacenada y posteriormente analizada para la correcta toma de decisiones, en diversas ocasiones la falta de herramientas de análisis tanto espacial como estadístico en una población conlleva la ejecución de actuaciones y la formulación de políticas inapropiadas que a largo plazo terminan afectando a la población en general.

Como muchos otro municipios en Colombia, el municipio de Madrid, Cundinamarca almacena la mayoría de su información espacial en formato CAD y PDF lo que dificulta su análisis para la toma de decisiones, debido a esto se requiere que dicha información sea migrada a un formato que permita su procesamiento y análisis de manera eficiente además de ofrecer una mayor disponibilidad y nivel de intercambio, de igual manera también existe información no espacial que debe ser incluida para optimizar y refinar tanto el análisis, para de esta manera proporcionar un soporte sólido, consistente y fiable para el proceso de planificación urbana, el desarrollo de políticas urbanísticas y la administración de los suelos contenidos dentro del perímetro y el área de expansión urbana.

2. JUSTIFICACIÓN

El municipio de Madrid, posee múltiples problemas en el manejo de su información geográfica, el primero de ellos es la multiplicidad de formatos en los que esta se halla almacenada, al migrarse esta información a un único formato de tipo digital, con características específicas mediante diferentes procesos como digitalización y conversión, definiendo el sistema de coordenadas más adecuado para el área de estudio y referido a la época de la implementación del SIG; de igual manera este proceso de migración permitirá a la administración municipal establecer especificaciones técnicas más rigurosas para la presentación de información cartográfica pues este es el principal insumo del que dependerá el SIG; una vez la información haya sido migrada desde los diferentes medios de almacenamiento a uno completamente digital también se resolverá el segundo problema: la disponibilidad de la información, al almacenarse en un formato digital permitirá a la administración municipal efectuar el intercambio de esta con otros entes privados y/o estatales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la Gobernación de Cundinamarca.

El proceso de planificación urbana se automatizará mediante una serie de modelos y herramientas que se hallan incluidas en el SIG, mejorando la eficiencia del mismo, permitiendo la generación de simulaciones que resolverán el principal problema en la mayoría de poblaciones en crecimiento: la determinación del área de expansión urbana para periodos futuros así como los cambios en los usos de suelo dentro de las áreas urbanas, además le permitirá al municipio mejorar aspectos como la gestión de sus recursos, la prevención de desastres y atención a las necesidades de la población en general, también otorgará autonomía a la administración municipal para realizar la actualización cartográfica del municipio de una manera más eficiente y sencilla, utilizando menor cantidad de recursos y en un intervalo de tiempo menor.

3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e Implementar un Sistema de Información Geográfica aplicado al proceso de planificación urbana en el municipio de Madrid, Cundinamarca.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estandarizar los formatos de almacenamiento de la Información Geográfica en el Municipio de Madrid.

- Ampliar la disponibilidad y nivel de intercambio de la Información Geográfica en el Municipio de Madrid.

- Suministrar herramientas tecnológicas para la toma de decisiones sobre el entorno urbano a la Administración Municipal de Madrid.

- Modernizar el proceso de actualización cartográfica del Municipio de Madrid.

- Prever el comportamiento de la expansión del casco urbano del Municipio de Madrid.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Madrid, es uno de los 114 municipios pertenecientes al departamento de Cundinamarca, limita con los municipios de Facatativá, Bojacá, El Rosal, Tenjo, Mosquera y Funza y hace parte de una de las 11 provincias del departamento denominada Provincia de la Sabana de Occidente, posee una extensión total de 120 Km², distribuidas en 16 veredas y el casco urbano. (Alcaldía Municipal de Madrid, 2015)

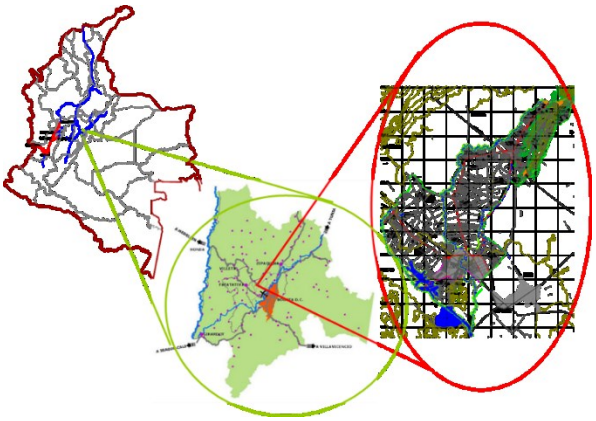
Figura 1: Municipios Colindantes con el Municipio de Madrid, Cundinamarca.



Fuente: http://madrid-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1480600

Su área urbana cubre aproximadamente 7 Km², posee una población total de 77828 habitantes con una tasa de crecimiento de aproximadamente 2.2% anual según el censo del DANE de 2005; el 82% de la población vive en el área urbana, esta posee 41 barrios, 29 urbanizaciones, 1 agrupación de vivienda militar, 6 conjuntos residenciales y 1 asociación de vivienda comunitaria, así mismo el municipio posee tres centros poblados en las veredas del Corzo, Los Arboles, Puente Piedra. (Alcaldía Municipal de Madrid, 2015).

Figura 2: Ubicación del Municipio de Madrid con respecto al Departamento y al País.



Fuente: http://madrid-cundinamarca.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1820853

Las principales actividades económicas del municipio se concentran en el sector agropecuario, la floricultura y más recientemente en el sector industrial, la mayoría de la actividad industrial se concentra a lo largo de las principales vías de acceso, también posee una importante actividad comercial que se concentra principalmente en el casco urbano, así como varias compañías y fábricas de diversos sectores, el área comercial se encuentra asentada principalmente a lo largo de la Carrera 6 entre Calles 7 y 15 y sobre la Calle 7 entre Carreras 10 y 4, el área industrial se encuentra distribuida principalmente sobre la Calle 15 desde la Carrera 3 hasta la Carrera 2 Este; en la zona suroeste encuentra la Base Aérea Justino Mariño Cuesto donde se encuentra el Comando Aéreo de Mantenimiento de la Fuerza Aérea Colombiana, y la Escuela de Suboficiales "Capitán Andrés María Díaz Díaz". (Alcaldía Municipal de Madrid, 2015)

Figura 3: Vista Satelital del Casco Urbano del Municipio de Madrid.



Fuente: Google Earth

Una de las actividades económicas en auge en el municipio, es la correspondiente al sector de la construcción, debido al gran número de proyectos de vivienda que se desarrollan actualmente, siendo los más notables Hacienda Casablanca ubicada en el costado sur de la Calle 7 desde la Carrera 1 hasta la Carrera 2 Este, y consiste en un desarrollo urbanístico para estratos 4, 5 y 6, así como el Conjunto Residencial La Finca, ubicado sobre la Calle 21 en el barrio San Pedro, así mismo también se ha incrementado la cantidad de establecimientos comerciales agrupados en centros comerciales, también se ha dado un notable crecimiento en el parque automotor; también se encuentran gran cantidad de establecimientos independientes dedicados a actividades del sector metalmecánico, automotriz y de servicios, entre otros. (Elaboracion Propia, 2015)

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. La Planificación Urbana

La Planificación Urbana como proceso ordenador del territorio se remonta al momento mismo del surgimiento de las ciudades, generalmente en factor de variables como la topografía y disponibilidad de recursos naturales, entre otros; por ejemplo durante la época del Imperio Romano, la construcción de ciudades suponía un proceso en el cual se determinaba primero el perímetro de esta, seguido del trazado de las calles principales en torno a las cuales se trazaban las demás, posteriormente delimitaban las parcelas para finalmente determinar el uso que estas tendrían tanto dentro como fuera de las murallas de la ciudad, incluyendo áreas de uso público, zonas residenciales, áreas de cultivo, etc. (Lagos Casares, 2009)

En Latinoamérica esto se evidencia en los trazados originales de varias ciudades, en donde tanto las calles como los demás elementos de la ciudad giran en torno a un elemento específico, generalmente una plaza o un parque, donde se ubicaban las autoridades gubernamentales y eclesiásticas, esto derivado del temprano concepto de planificación urbana empleado por los romanos.

Figura 4: Mapa del Plan de Desarrollo de Kabul, Afganistán.



Fuente:
https://es.wikipedia.org/wiki/Planeamiento_urban%C3%ADstico#/media/File:KABULCITYMAP.jpg

Dicho de otro modo la planificación urbana se entiende como un conjunto de actividades y políticas adoptadas y desarrolladas por entes de carácter público o privado que deben ser seguidas por la población y demás agentes socioeconómicos para garantizar el buen uso de los recursos y espacios disponibles dentro del perímetro de la urbe constituyéndose en un proceso ordenador del territorio con restricciones suficientes para proteger los intereses colectivos tanto en el presente como en el futuro, direccionar el desarrollo de la urbe hacia uno sustentable en todos los sentidos, prever posibles escenarios que generen perjuicio a la comunidad y anticipar actuaciones para facilitar el mejoramiento de la calidad de vida en la ciudad. (Baeriswyl Rada, 2006)

Actualmente la planificación urbana se orienta hacia la ordenación del suelo en un ámbito local, mediante una serie de políticas y actuaciones dictadas por las autoridades gubernamentales y que deben ser seguidas por los demás actores dentro del territorio, y ha sido influenciada por factores dinámicos, como los fenómenos migratorios, dinámicas socioeconómicas, entre otros.

Desde mediados de la década de 1980, las ciudades latinoamericanas han experimentado un crecimiento acelerado que ejerce presión sobre los suelos de uso urbano y sobre las mismas autoridades que no consiguen anticipar la clase de cambios en el tejido urbano que se originan a partir de fenómenos como el desplazamiento rural-urbano o el desplazamiento urbano-urbano, propiciando un crecimiento descontrolado y no planificado, además Latinoamérica es la region mas urbanizada del mundo, con alrededor del 80% de sus habitantes viviendo en áreas urbanas, con una densificación acelerada y planificación nula. (Villamil Barrera, 2012)

Esto demanda un cambio en la forma en que se realiza el proceso de planificación, el cual queda plasmado en planes reguladores que proporcionan las pautas para el desarrollo espacial de un centro urbano en un periodo de tiempo específico; en el caso de Colombia estas regulaciones se plasman en los llamados Planes de Ordenamiento Territorial que son definidos por cada municipio en el territorio nacional, sin embargo en los municipios aledaños a la ciudad de Bogotá las dinámicas poblacionales han rebasado la capacidad prospectiva de estos para la planificación urbana, redundando en un desarrollo desordenado y acelerado, frente al cual las administraciones municipales no pueden hacer frente de manera eficiente, tal es el caso de los municipios de Mosquera y Funza los cuales se hallan separados por una calle debido a este desarrollo con una planificación pobre, aun así existen experiencias de planificación exitosas desde el punto de vista espacial como la ciudad de Brasilia, la capital de Brasil; donde desde un principio y con las herramientas apropiadas se han definido con eficiencia las actuaciones de planificación urbana resultando en una ciudad ordenada con capacidad de afrontar los cambios futuros provocados por su constante expansión.

5.2. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica es un conjunto de herramientas computacionales combinadas con información geográfica; en este contexto un SIG puede ser considerado como un programa computacional que permite a su usuario manipular, realizar consultas e interactuar con la información geográfica de un lugar determinado, así como conectar los mapas con las bases de datos, este tipo de sistemas permite visualizar la información así como reflejar las relaciones, interacciones y fenómenos de carácter geográfico de cualquier tipo como redes de servicios públicos, fenómenos climáticos etc. (Andalucia, 2010)

Sin embargo el término tiene tres acepciones: SIG como disciplina, SIG como proyecto y SIG como software; el término más aceptado es el de SIG como proyecto, siendo este un sistema que gestiona información georreferenciada, su definición más extendida con diversas variaciones es la establecida por el Departamento de Medio Ambiente, Burrough, Goodchild, Rhin y otros, y puede condensarse en:

«Conjunto integrado de medios y métodos informáticos, capaz de recoger, verificar, almacenar, gestionar, actualizar, manipular, recuperar, transformar, analizar, mostrar y transferir datos espacialmente referidos a la Tierra.»

Considerando la anterior definición un SIG puede ser considerado como un modelo simplificado y esquematizado del mundo real, en un sistema de referencia ligado a la tierra con el fin de satisfacer necesidades concretas en el ámbito de la información. (Instituto Geográfico Nacional, s.f.)

Así mismo un SIG de tener la capacidad de realizar operaciones de gestión de datos espaciales, Análisis de los mismos que pueden ir desde simples consultas hasta análisis avanzados y modelos complejos, y generación de resultados y salidas graficas como mapas, informes y demás. (Olaya, 2012)

5.2.1. Componentes de un SIG

Un sistema de información geográfica es un conjunto de elementos que trabajan juntos para gestionar, analizar y visualizar información geográfica, en este se distinguen los componentes físico, lógico, de datos, de procedimientos y humano, cada uno de estos se articula con el otro para cumplir con los objetivos y tareas de todo SIG.

Figura 5: Los Componente de un SIG.



Fuente: http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/articulos/SIG.jpg

El componente físico se refiere al hardware, es decir los medios de almacenamiento y a la unidad de procesamiento que contendrá tanto a los datos como al software involucrado en el SIG, pudiendo ser un servidor físico, una computadora personal enlazada a una red o a un servicio de información. (Garcia, 2011)

El componente lógico comprende todo el software que se empleara en el SIG, como el sistema gestor de bases de datos (SGBD), las herramientas de entrada y manipulación, paquetes de análisis y visualización, así como una interfaz de usuario que permita interactuar y acceder de manera sencilla a la información y las herramientas. (Olaya, 2012)

El componente de datos se refiere a toda la información adquirida para la puesta en marcha del SIG, esta puede ser recopilada por quien realizará la implementación, así como por terceros que ya tienen estos disponibles para su uso, los SIG integran la información con las bases de datos e incluso emplear los SGBD más comunes para este propósito. (Olaya, 2012)

Así mismo un SIG debe operar de acuerdo a un conjunto de reglas y prácticas operativas específicas dentro de un marco que permita funcionar a este del mismo modo en que lo realiza un negocio, esto es considerado el Componente de procedimientos. (Garcia, 2011)

Finalmente los datos, el hardware, el software y los procedimientos no son suficientes para que el SIG funcione, también se requiere de profesionales que puedan operar, administrar y desarrollar adecuadamente el sistema, así como llevar a cabo la aplicación de este a la solución de los problemas que llevaron a la implementación del mismo, este es tal vez el componente más crítico y aquel que hace las veces de unificador de los demás: El Componente Humano. (Garcia, 2011)

5.2.2. Sistema Gestor de Bases de Datos

Un Sistema Gestor de Bases de Datos (SGBD o DBMS por su acrónimo en inglés) es un software que permite la definición de las bases de datos, así como la elección de la estructura de datos para el almacenamiento y búsqueda de datos bien sea de manera interactiva o a través de un lenguaje de programación. (EcuRed, s.f.).

Un SGBD debe ser capaz de desempenar ciertas funciones, especificamente las concerniente a operaciones de Consulta y Actualización, Mantenimiento de Esquemas y Manejo de Transacciones.

Las operaciones de Consulta y Actuaización son las unicas visibles para el usuario, y consiste en un conjunto de herramientas que permite extraer, manipular y/o modificar la informacion que se halla almacenada en la base de datos, algunos SGBD poseen una interfaz grafica para realizar las consultas otros en cambio realizan estas operaciones por medio de un lenguaje de consulta. (López Montalbán & de Castro Vázquez, 2014)

El esquema de una base de datos es la descripcion de la estructura de la informacion almacenada en la base de datos, es una tarea del SGBD almacenar las reglas y niveles de acceso, así como los tipos de datos que pueden ser almacenados dentro de la BD. (Elmasri & Navathe, 2007)

Las transacciones son rutinas de duracion breve que tienen la capacidad de acceder, modificar y/o actualizar una parte de la infromacion contenida en la BD, el Manejo de Transacciones consiste en el control y manipulacion de multiples transacciones en paralelo sobre una misma BD, pero evitando que una interfiera con las demas, de igual manera tambien impide que la base de datos sea dañada de manera irreversible e irrecuperable, esto corresponde al control de paralelismo y a las tecnicas de recuperación. (Belgrano, s.f.)

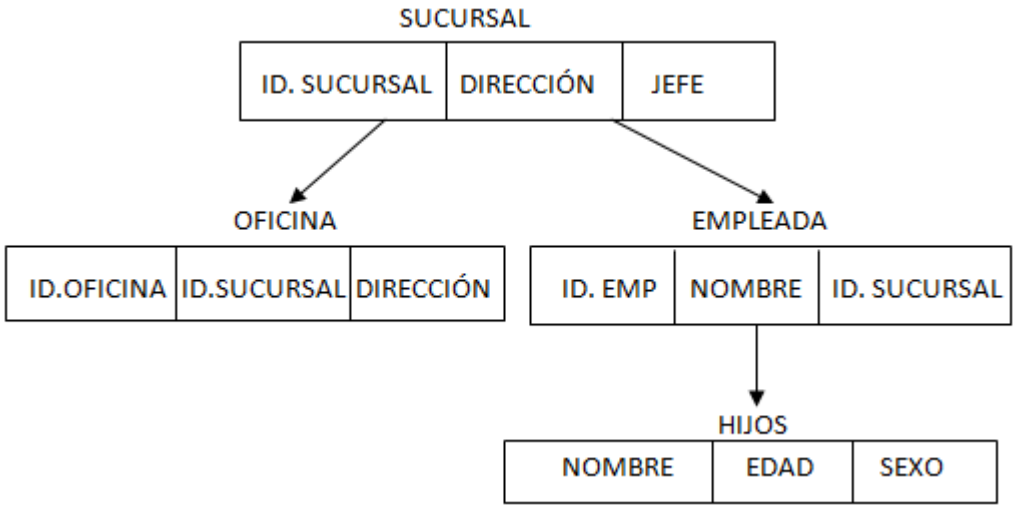
5.2.3. Las Bases de Datos, Modelos de Datos y Tipos de Información

Una Base de Datos es un medio que permite almacenar grandes cantidades de información de manera ordenada, de manera que pueda ser sencilla su búsqueda y uso.

El primer concepto de base de datos nace en 1963 y este las define como un conjunto de información relacionada que se halla estructurada. (Gonzalez, s.f.)

Existen múltiples tipos de bases de datos clasificadas de acuerdo a múltiples parámetros como su estructura, variabilidad y contenido. La estructura de una BD es definida principalmente por su modelo de datos, entre estos se destacan: El modelo jerárquico, en este modelo los datos se organizan de acuerdo a su jerarquía mediante una forma de árbol invertido donde un nodo padre puede tener múltiples hijos, a aquellos nodos que no poseen padres se les llama raíz, y aquellos que no tienen hijos se les llama hojas, sus principales limitaciones consisten en que no representan de manera eficiente la redundancia de los datos. (Elmasri & Navathe, 2007)

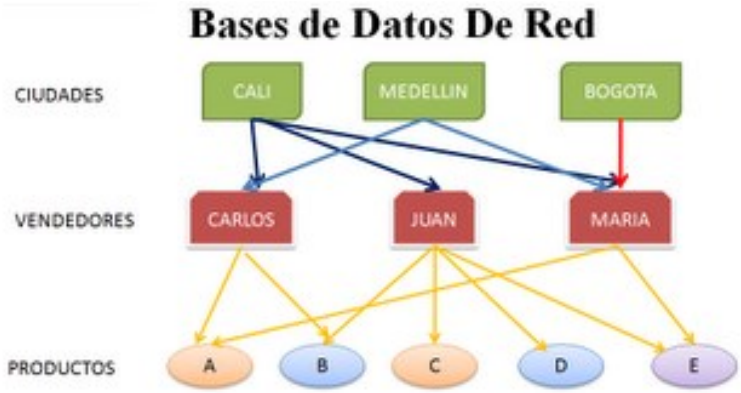
Figura 6: Esquema Genérico del Modelo Jerárquico



Fuente: http://www.desarrolloweb.com/articulos/images/programacion/sucursal.gif

El modelo en red es otro tipo de distribución, en el cual los nodos pueden poseer múltiples padres, algo no permitido en el modelo jerárquico, este modelo resolvió el problema de la redundancia de datos, sin embargo su dificultad radica en la administración de la base de datos, lo que hace que sea empleado principalmente por programadores que por los usuarios finales. (Elmasri & Navathe, 2007)

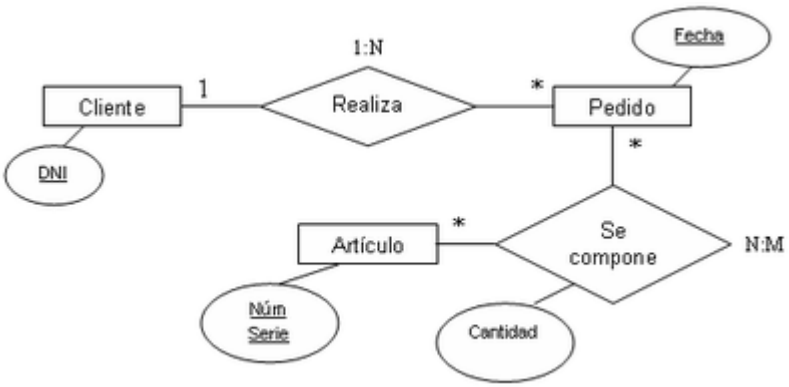
Figura 7: Esquema General de un Modelo en Red



Fuente: http://2.bp.blogspot.com/-nKbmYyu3Jal/UTkjwbLp4yI/AAAAAAAAACs/nkS_RBKfesc/s1600/red.png

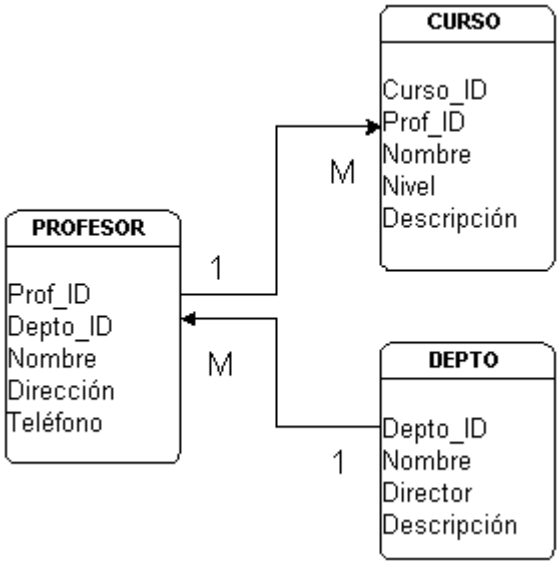
Otro de los modelos, es el modelo relacional, en donde la información se almacena en forma de tablas que son más adecuadas para modelar problemas reales, así como administrar datos de manera dinámica, la principal manera de estructurar los datos es mediante relaciones, estas eliminan la redundancia de datos, y permite que usuarios casuales puedan administrar de manera flexible y eficiente una base de datos, este modelo es el empleado por la mayoría de Sistemas Gestores de Bases de Datos y a este se le aplica un proceso para resolver ambigüedades y redundancias denominado Normalización. (Ricardo, 2009)

Figura 8: Ejemplo de un Modelo Entidad-Relación en notación de Chen.



Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f6/Ejemplo_Diagrama_E-R_extendido.PNG/400px-Ejemplo_Diagrama_E-R_extendido.PNG

Figura 9: Ejemplo de un Modelo Relacional a base de tablas.



Fuente: http://elies.rediris.es/elies9/fig4-10.gif

También las bases de datos pueden clasificarse de acuerdo a su variabilidad, siendo estas de carácter estático o dinámico; las de carácter estático son aquellas en las que los datos son de solo lectura, un ejemplo de estos son las bodegas de datos; las bases de datos dinámicas permiten modificar la información con el paso del tiempo, permitiendo operaciones de actualización y borrado, así como las operaciones básicas de consulta. (UNAD, s.f.)

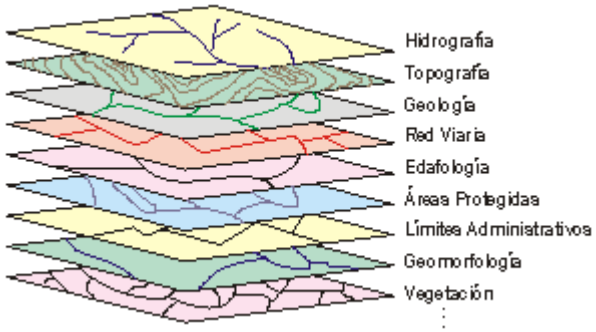
También pueden definirse las bases de datos por el tipo de información contenida en estas, actualmente se distinguen múltiples tipos de información los cuales pueden clasificarse en bases de datos convencionales y espaciales de las cuales se hablará en un apartado posterior; las BD convencionales contienen información de carácter principalmente alfanumérico como datos recolectados de encuestas o el catálogo bibliográfico de una biblioteca o librería, estas son empleadas principalmente como medio de registro además de que con ellas solo se pueden realizar operaciones estadísticas y probabilísticas. (Olaya, 2012), asi mismo también existen otros tipos de bases de datos como las multimedia, las BD temporales y aquellas dirigidas a objetos. (Ricardo, 2009)

5.2.4. Bases de Datos Espaciales

Las BD Espaciales o BDE son una extensión de las bases de datos convencionales, se diferencian de estas debido a que incorporan información referida a un sistema de coordenadas vinculado a la tierra, así mismo también pueden almacenar información con características geométricas, este tipo de bases de datos son las empleadas principalmente en los Sistemas de Información Geográfica, pues por sus características pueden realizarse operaciones y análisis espaciales. (Olaya, 2012)

Además cuando se importan la información desde este tipo de bases de datos, en un software SIG como ArcMap o QGIS, estos se organizan en capas superpuestas, que permite visualizar la relación espacial existente entre las diferentes entidades, pudiéndose realizar operaciones que aprovechan dicha correlación espacial. (Olaya, 2012)

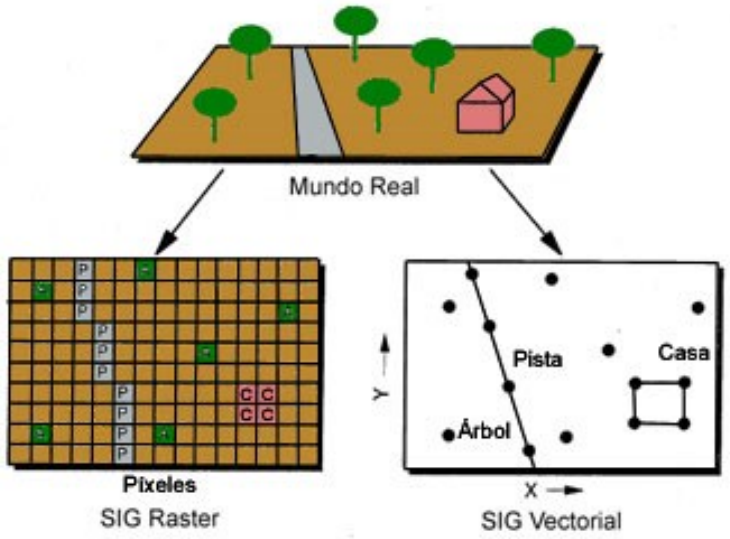
Figura 10: Ejemplo de la distribución de la información en una BDE.



Fuente: http://www.monografias.com/trabajos14/informageogra/Image309.gif

Dentro de los tipos de datos que una BDE puede almacenar, se distinguen dos: Los datos Vectoriales, que constan principalmente de puntos, líneas y polígonos, poseen ventajas tales como escalamiento sin pérdida de resolución, su estructura de datos es precisa y su topología esta mejor definida, aunque su procesamiento suele ser más lento y su estructuración más compleja, a las bases de datos espaciales que solo contienen datos vectoriales se les conoce como Bases de Datos Vectoriales. También existe otro tipo de información llamada Información Raster, la cual básicamente es información almacenada en forma de imágenes digitales; en los raster la información se almacena en una matriz rectangular determinada por el conjunto de datos, cada celda de dicha matriz es conocida como pixel, su almacenamiento es más sencillo y compacto, sin embargo no permite almacenar propiedades topológicas y otros atributos, por lo que se requiere crear una capa que contenga este tipo de información, aun así su procesamiento es mucho más rápido. (Andalucia, 2010)

Figura 11: Comparación entre Datos Raster y Vectoriales.



Fuente: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad2/td_sig.htm

5.2.5. Normalización de Bases de Datos

La Normalización es un proceso mediante el cual se organizan los datos en una Base de Datos, incluyendo la creación de tablas y la identificación de las relaciones entre estas, según ciertas reglas que permiten proteger los datos almacenados, al igual que hacer que la BD sea más flexible a la hora de eliminar inconsistencias, redundancias y datos incoherentes.

Las redundancias y los datos incoherentes representan una cuota de almacenamiento mayor al necesario en la BD, así como representar inconvenientes en su mantenimiento; así mismo también se presentan dependencias incoherentes que dificultan el acceso a los datos, ya que generan rutas más largas de lo debido.

Existen una serie de reglas para la normalización, cada una de estas se denomina “forma normal”, conforme se cumplen dichas reglas la BD asciende un nivel de normalización, generalmente se consideran tres formas normales sin embargo existen varias más, pero no se consideran para una base de datos real, debido a que generalmente no se ajustan a la realidad que se piensa reflejar. (Microsoft Corporation, 2015)

Figura 12: Ejemplo de una tabla sin normalizar.

ESTUDIANTE (*Código, Nombre, Cursos*)

CÓDIGO	NOMBRE	CURSOS
178263782	PEDRO PERALES	ERASMUS HIMMPA
031928733	ALBERTO GONZÁLEZ	MÉTRICA ERASMUS
763459374	FRANCISCO VIDAL	HIMMPA MÉTRICA

Es una tabla pero no una relación

NO ESTÁ EN 1FN

HAY GRUPOS REPETITIVOS

Fuente: Diseño de Bases de Datos Relacionales, Capitulo 5: Teoría de la Normalización, Página 157, Mario Plattini, Esperanza Marcos Martínez & Adoración de Miguel Castaño, 2000

Primera Forma Normal (1FN): Para el cumplimiento de la 1FN, las tablas no pueden contener atributos que puedan tomar múltiples valores, es decir deben existir solo valores únicos para cada atributo.

Figura 13: Ejemplo de una tabla en 1FN

CÓDIGO	NOMBRE	CURSO
178263782	PEDRO PERALES	ERASMUS
178263782	PEDRO PERALES	HIMMPA
031928733	ALBERTO GONZÁLEZ	MÉTRICA
031928733	ALBERTO GONZÁLEZ	ERASMUS
763459374	FRANCISCO VIDAL	HIMMPA
763459374	FRANCISCO VIDAL	MÉTRICA

ESTÁ EN 1FN

Fuente: Diseño de Bases de Datos Relacionales, Capitulo 5: Teoría de la Normalización, Página 157, Mario Plattini, Esperanza Marcos Martínez & Adoración de Miguel Castaño, 2000

Segunda Forma Normal (2FN): Una tabla que está en 2FN primero debe cumplir con la 1FN, asimismo cada atributo que no sea parte de la clave por consiguiente tendrá dependencia completa del atributo definido como clave principal

Tercera Forma Normal (3FN): Una vez se cumplen las dos anteriores formas normales, se puede proceder a llevar las tablas a la 3FN, para ello en cada tabla los atributos deben depender exclusivamente de la clave principal, esto elimina las dependencias transitivas entre tablas, sin embargo no siempre se puede cumplir, así que es aconsejable llevar a 3FN a aquellas tablas que tienden a cambiar frecuentemente.

Forma Normal de Boyce-Codd (FNBC): Para el cumplimiento de esta forma se debe cumplir con la 3FN y además deben existir al menos dos atributos no implicantes que puedan funcionar como clave candidata, en caso de que existan atributos implicantes estos deben eliminarse de la respectiva tabla o ser transferidos a una tabla independiente.

Existen otras formas normales pero su aplicación es completamente teórica, por ejemplo las formas normales 4 y 5 tratan las dependencias entre atributos multivaluados, la Forma Normal Dominio Clave (FNDK) se ocupa de las restricciones y dominios de los atributos y la Sexta Forma Normal (6FN) se encarga de algunas consideraciones y elementos de las Bases de Datos Temporales. (López Montalbán & de Castro Vázquez, 2014)

5.2.6. Diccionario de Datos

Los diccionarios de datos son una colección de metadatos que albergan información sobre los datos almacenados en una base de datos, suele contener una descripción concisa de cada elemento, así como un conjunto de atributos propios de los datos.

Su principal objetivo es proporcionar al usuario de la BD un conocimiento conciso de lo que se halla almacenado, así como de los componentes, entradas, salidas y cálculos que pueden realizarse, también son de gran ayuda para describir tanto el modelo entidad-relación como el modelo relacional. (Elmasri & Navathe, 2007)

También almacenan metadatos de las tablas que se almacenan en la BD, como descripciones de los campos y de los tipos de dato que se hallan guardados. La estructura más simple generalmente usada se compone de un nombre, un alias, una descripción, el contenido y organización de los datos. (Ricardo, 2009)

El “nombre”, se refiere a la forma en que se conoce al elemento dentro de la base de datos; el “alias” es un nombre alternativo que sirve para ubicar elementos de manera más simple en la BD, la descripción como su nombre lo indica, explica a qué se refiere dicho elemento, el contenido es una visión generalizada de lo que almacena dicho elemento, y la organización es el modo en que se encuentran ordenados los datos dentro de un elemento en específico. (Silberschatz, Korth, & Sudarshan, 2002)

Figura 14: Ejemplo de un Diccionario de Datos

Empleado					
Llave	Nombre	Campo	Tipo	Tamaño	Descripciòn
PK	Còdigo Empleado	cdep	Nùmerico	4	Almacena còdigo del empleado
	Nombres	nbep	Texto	50	Almacena nombre del empleado
	Apellidos	apep	Texto	50	Almacena apellidos del empleado
	Telèfono	tlep	Nùmerico	10	Almacena telèfono del empleado
	Gènero	gnep	Texto	10	Almacena Gènero del empleado
	E_mail	emep	Hipervìnculo	100	Almacena correo electrònico del empleado
	Direcciòn	drep	Memo	100	Almacena direcciòn del empleado
FK	Còdigo barrio	cdbrr	Nùmerico	4	Almacena còdigo del barrio
FK	Còdigo ciudad	cdcdd	Nùmerico	4	Almacena còdigo de la ciudad
FK	Còdigo tipo contrato	cdtc	Nùmerico	4	Almacena còdigo del tipo de contrato
FK	Còdigo localidad	cdl	Nùmerico	4	Almacena còdigo de la localidad

Fuente: https://evidenciasfase2estefanyperez.files.wordpress.com/2013/04/dic-empleado.png

5.2.7. Diseño e Implementación de BD Espaciales para SIG

El diseño de una base de datos espacial es en cierta medida similar al de las BD convencionales, sin embargo deben tenerse en cuenta aquellas relaciones dadas por la propia interacción de los objetos espaciales en la vida real pues el propósito de esta es almacenar un modelo simplificado del mundo real, como por ejemplo la pertenencia de un casco urbano a un límite municipal más amplio o el paso de un curso de agua por una ciudad.

Al ser relaciones de carácter espacial su representación se dificulta un poco en comparación con una BD convencional, sin embargo puede representarse en un modelo entidad-relación ya que este permite mostrar esta clase de relaciones sin ninguna restricción debido a su carácter conceptual, la manera más adecuada de representar estas relaciones espaciales en un modelo E-R es empleando verbos que describan de la manera más adecuada la relación como *“pertenece a”*, *“cruza”*, entre otros.

Asimismo, estas no pueden representarse de manera eficiente en un modelo relacional ya que dichas relaciones no pueden ser vinculadas a un campo especifico, sin embargo algunas pueden representarse mediante la creación de un campo vinculante a una entidad de mayor jerarquía o extensión, como el caso de los municipios, cuya pertenencia a un departamento puede representarse mediante la existencia de un identificador único para el departamento en ambos objetos; aun asi es aconsejable el uso de este modelo pues es el más cercano a la forma que adoptará la BD una vez sea implementada. (Olaya, 2012)

Otro aspecto a considerar en el diseño de este tipo de BD es el tipo de datos que se va a almacenar en esta, asi como el uso al que estará destinada, pues estos aspectos influyen directamente en la implementación de esta dentro del SGBD, asi como la cuota de almacenamiento que la BD empleará una vez se hallan almacenado.

Otra característica importante a considerar tanto en el diseño como en la implementación, es la topología de la información que determina las interrelaciones entre los objetos espaciales, pues permiten realizar operaciones avanzadas de análisis, asi como mantener las propiedades de vecindad y continuidad de la información almacenada. (Rigaux, Scholl, & Voisard, 2002)

También se requiere que durante el diseño de la BD se establezca de antemano un sistema de coordenadas referido a uno de los diversos sistemas de proyección y elipsoides existentes, esto para dar consistencia espacial a la información que se almacenará, y en caso de emplear información en diferentes sistemas de coordenadas, tener en cuenta las diversas transformaciones para mantener este aspecto. (Rigaux, Scholl, & Voisard, 2002)

En cuanto a otros aspectos como la normalización, las BD espaciales se rigen por las mismas normas que las BD convencionales; y cuando se trata de bases de datos espaciales, el diccionario de datos suele incluir información adicional como el sistema de referencia y la proyección así como el tipo de información almacenada, dependiendo si es raster o si es vectorial, para el cual se distinguen generalmente entre puntos, líneas y polígonos, y dependiendo si la BD se halla esquematizada también se agrega esta información, por lo demás se maneja de la misma manera que un diccionario de datos para una BD convencional. (Olaya, 2012)

La implementación de BD espaciales difiere un poco de la de BD convencionales principalmente por que el SGBD debe soportar información espacial, si bien existen SGBD especializados para esta tarea como Oracle Spatial, existen extensiones que permiten adaptar los SGBD comunes a la información espacial como es el caso de PostgreSQL que posee la extensión PostGIS para permitir el almacenamiento de la información espacial, esto también hace que el lenguaje de consulta se vea modificado ligeramente para permitir operaciones de consulta espacial y en algunos casos procesamiento espacial. (Rigaux, Scholl, & Voisard, 2002)

Finalmente una BD espacial por sí sola, solo lleva a cabo la tarea del almacenamiento de la información, para su procesamiento y análisis, tanto el diseño y la implementación debe garantizar su integración completa con los diferentes paquetes de herramientas SIG disponibles tanto si son de carácter gratuito como comercial, por ejemplo cuando se implementa una BD espacial en ArcGIS el SGBD de este se halla embebido en el paquete lo que facilita su integración, mientras que cuando se desea emplear otro paquete de herramientas como QGIS se requiere de un SGBD externo como PostgreSQL asi como una extensión para el manejo de información espacial.

5.2.8. Herramientas de Análisis ofrecidas por los SIG

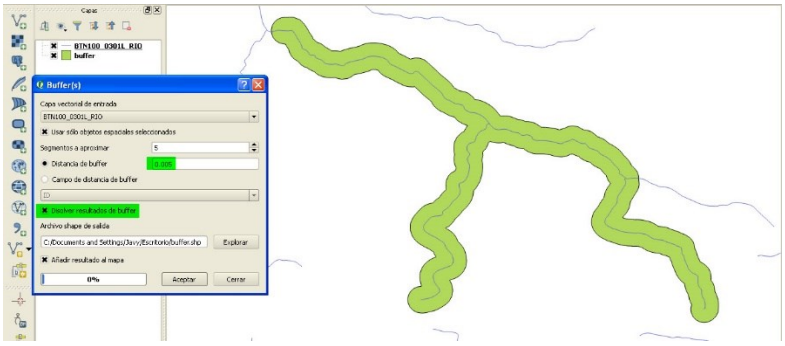
Asimismo los SIG están en la capacidad de ofrecer ciertas herramientas de análisis espacial y no espacial que permiten llevar a cabo operaciones una base de datos no puede realizar bajo condiciones normales, dentro de estas pueden distinguirse herramientas para análisis de superposición, proximidad, conversión, administración de BD, manipulación de datos, edición geométrica, topología y en casos más avanzados puede también realizarse análisis de redes, análisis geoestadístico y geocodificación.

Dentro de los análisis de superposición o solape se encuentran las operaciones de Unión, Intersección, Unión basada en características espaciales, Diferencia Simétrica, entre otros. La operación de unión como su nombre lo indica une dos entidades de características similares en una sola conservando las geometrías y atributos de las entidades iniciales.

La operación de intersección devuelve como resultado el intersecto entre dos entidades distintas, resultando en un conjunto de datos que contiene tanto geometría como atributos comunes entre las entidades iniciales. La Diferencia Simétrica toma dos conjuntos de datos y analiza cuales pertenecen a uno de los conjuntos iniciales sin que pertenezcan a ambos, de esta manera se obtiene un conjunto con las geometrías y atributos que no son comunes entre los conjuntos de entrada. (Olaya, 2012)

Las herramientas de proximidad incluyen operaciones como Buffer, Vecinos más Cercanos y Polígonos de Thiessen, entre otras. La operación de Buffer determina un área de influencia alrededor de un elemento geométrico empleando una distancia determinada, dicha distancia también puede ser dada por un atributo especifico del campo, su principal característica es que sin importar el tipo de geometría entrante su resultado siempre será un polígono lo que es de gran utilidad para determinar elementos como áreas de protección hídrica. (Olaya, 2012)

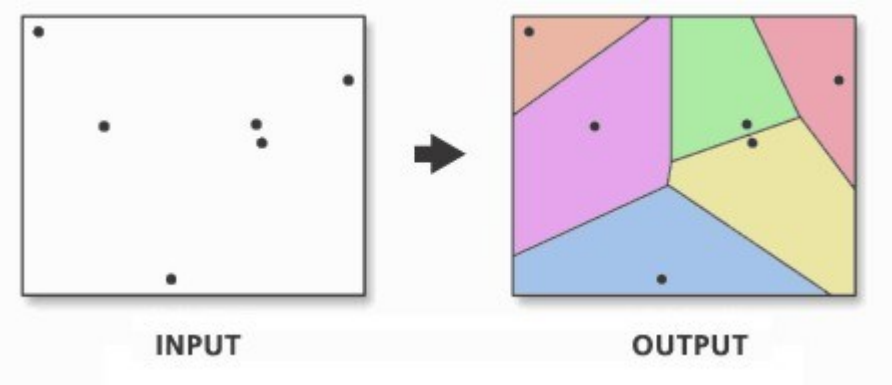
Figura 15: Ejemplo de un Buffer realizado sobre una entidad tipo línea en QGIS.



Fuente: http://1.bp.blogspot.com/-x5ow_uICggk/VcT-pMB0CuI/AAAAAAAAGgY/48cZ26K305E/s1600/buffer%2Blinea.jpg

El análisis de vecinos más cercanos permite determinar que objetos se hallan más próximos a un objeto de interés particular, además de determinar la distancia desde el objeto de interés hacia sus vecinos. Finalmente también pueden realizarse polígonos de Thiessen que permiten realizar construcciones geométricas para interpolaciones así como para procesos más complejos como el trazado automático de la malla vial de una ciudad a partir de sus manzanas. (ESRI, 2015)

Figura 16: Ejemplo de unos Polígonos de Thiessen.



Fuente: http://desktop.arcgis.com/es/desktop/latest/tools/analysis-toolbox/GUID-6231F564-FA42-435F-A4A7-CE6A88167144-web.jpg

En cuanto a las herramientas de conversión los SIG deben permitir la conversión entre formatos garantizando la interoperabilidad de este, así como la importación de otros formatos como los empleados por Google Earth, entre otros. También deben incluirse herramientas para la administración de bases de datos desde la ventana del propio SIG, permitiendo a los usuarios realizar operaciones de borrado, actualización e inserción sin tener que acceder al SGBD de manera directa, además de preservar la integridad de la información para los usuarios del mismo. (ESRI, 2015)

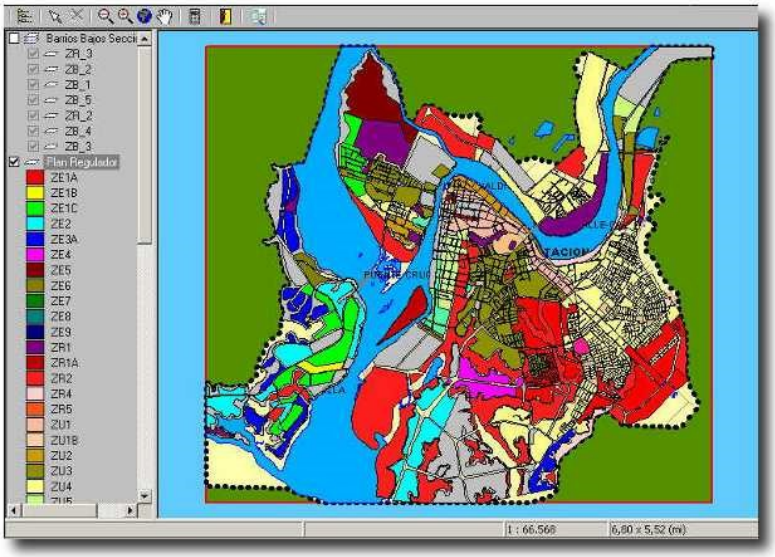
Las herramientas de manipulación de datos permiten adicionar o eliminar atributos, así como tareas de inserción, actualización y borrado; de igual manera también se permite editar las geometrías bien sea para depurarlas o para agregar nueva información a la ya existente; del mismo modo en que se puede emplear la edición geométrica, también puede realizarse comprobación y estructuración topológica para corregir errores o como soporte para análisis más avanzados como geocodificación y análisis de redes, asimismo también debe estar en la capacidad de realizar consultas a partir de la información empleada en este para su implementación tanto por definición de atributos como por características espaciales, así como generación de estadísticas y reportes según sea la finalidad de este. (Olaya, 2012)

5.3. SIG y Planificación Urbana

La planificación urbana es una de las principales aplicaciones de los SIG; los planificadores usan los SIG de dos maneras, la primera como una base de datos espacial para almacenar la información sobre el territorio, y la segunda como una herramienta de análisis y modelado. Concebidos en la década de 1960, los SIG fueron empleados por pocas oficinas de planeación debido al elevado costo del hardware y las capacidades limitadas del software, sin embargo los subsecuentes avances de la informática y la computación desde los 80 propiciaron una rápida expansión de los SIG en los procesos de planificación urbana y regional, que pronto los convirtieron en una herramienta imprescindible en el desarrollo y competitividad de las ciudades y países. (Yeh, 1999)

Los SIG son una de las diversas maneras formales para integrar y manipular información en un entorno computarizado, la información proveniente de diversas fuentes es necesaria para una buena toma de decisiones en la planificación, así mismo los SIG siguen una estructura básica común comprendida por una base de datos que aloja la información básica, un sistema gestor de bases de datos (SGBD) que permite administrar la base de datos y un conjunto de herramientas de análisis espacial, esta estructura básica permite al usuario realizar las operaciones necesarias para obtener resultados y salidas gráficas acordes al objetivo que llevo a la implementación del SIG. (Pueyo Campos, 1991), de igual manera también pueden incluir herramientas como sistemas de apoyo decisional y algoritmos de análisis, modelado y predicción. (Yeh, 1999)

Figura 17: Aplicación SIG en la Planificación Territorial.



Fuente: http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2012/07/Aplicaci%C3%B3n-del-SIG-en-la-planificaci%C3%B3n-territorial.jpg

Actualmente los SIG soportan de manera eficiente tareas como retroalimentación de información, consultas y generación de cartografía; igualmente los planificadores pueden extraer información para combinarla con aplicaciones de análisis avanzado así como incluir información tabulada de otras fuentes con el fin de refinar y optimizar aspectos como la toma de decisiones, del mismo modo estos datos se pueden integrar en una base de datos geo-relacional, generalmente normalizada para prevenir redundancias y perdidas. (Pueyo Campos, 1991)

Así mismo, dependiendo de la extensión del área de estudio se puede elegir el tipo de información espacial para incluir en el SIG; en primer lugar se pueden emplear datos en formato raster que se emplean para áreas de gran extensión y para trabajos en los que no se requiere gran resolución, además su procesamiento es rápido y sencillo, especialmente cuando se trata de operaciones de superposición y buffer (áreas de influencia); en cambio cuando se trata de áreas de menor extensión como pequeños poblados y la resolución de la información cobra importancia, los datos en formato vectorial son más adecuados, además estos proporcionan más información tanto sobre las características espaciales y geométricas de los elementos en el territorio, así mismo se pueden llevar acabo análisis específicos como análisis de redes y de ruta optima, entre otros. (Parrott & Stutz, 1991)

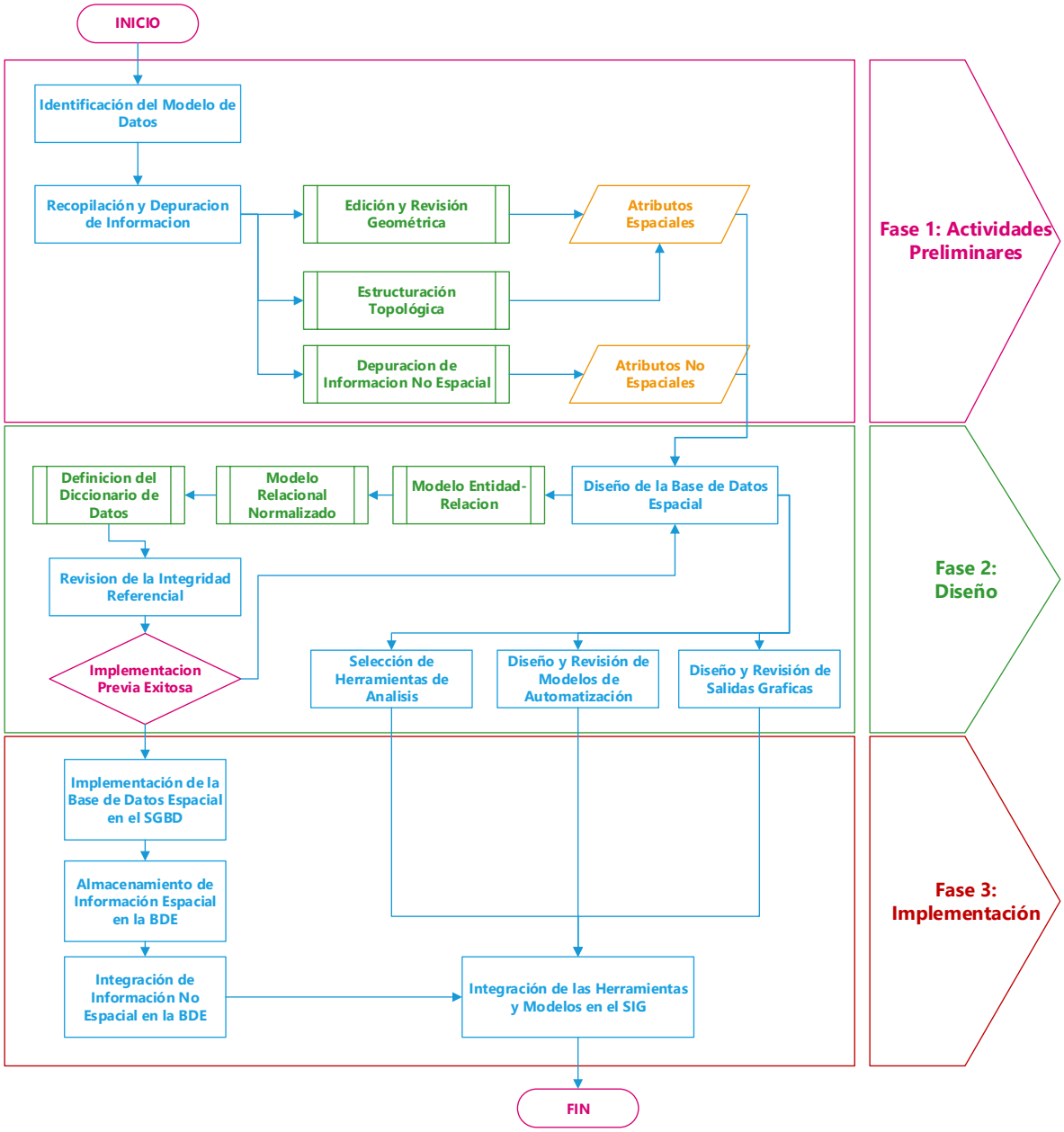
Los SIG para el propósito de la planificación urbana, pueden incluir herramientas que permitan realizar operaciones tales como selección de locaciones óptimas, análisis de aptitud de suelos, modelamiento de expansión urbana, etc. También deben estar en la capacidad de realizar procesos como inventario de recursos, análisis de situaciones existentes, modelamiento y proyección, desarrollo y selección de opciones de planificación, implementación de planes y evaluación, monitoreo y retroalimentación de estos. (Yeh, 1999)

El uso de los SIG en la planificación urbana es relativamente reciente sin embargo se ha hecho extensivo por la versatilidad que ofrece para realizar el manejo de grandes volúmenes de información espacial, pues el 70% de la información manejada en casi cualquier disciplina de una manera u otra esta georreferenciada (Olaya, 2012), de hecho todos los días se genera información espacial nueva que debe ser gestionada y analizada para realizar tareas específicas.

Un SIG para planificación urbana permite a las ciudades anticiparse y responder a las rápidas transformaciones que sufre el tejido urbano y su infraestructura, respondiendo a los preceptos fundamentales de la planificación urbana, además de facilitar la toma de decisiones sobre asuntos que impactan de manera directa el ordenamiento de la ciudad; el incluir un modelo computarizado y simplificado de una ciudad en la tarea de la planificación genera una ventaja competitiva crucial sobre aquellas ciudades que no poseen una herramienta con características similares, las principales ciudades del mundo usan Sistemas de Información Geográfica para la planificación de sus espacios, controlando su expansión y anticipando las necesidades se la urbe en cambio, inclusive existen áreas metropolitanas completas que integran varias de sus políticas territoriales por medio de estas herramientas, tal es el caso del área metropolitana de Londres en Inglaterra que puede prever por ejemplo la construcción de una nueva línea de metro hacia la periferia de la metrópoli con algunos años de anticipación, estas ciudades son claros ejemplos de los beneficios que ofrece una planificación urbana adecuada soportada por herramientas tecnológicas como los SIG.

6. DESARROLLO METODOLOGICO

Esquema 1: Flujo de Trabajo empleado en el desarrollo del proyecto.



Fuente: Autor

6.1. FASE 1: ACTIVIDADES PRELIMINARES

6.1.1. Modelo de Datos

Se ha optado por un modelo de datos de tipo vectorial debido a que se adapta mejor a la información disponible en los diferentes entes administrativos así como a la extensión del área de estudio, además de permitir la realización de consultas y análisis espaciales específicos, sin necesidad de una conversión a otro tipo de formato, así como permitir una interoperabilidad más amplia con los programas empleados por la administración municipal; este posee una estructura con un conjunto de relaciones tanto espaciales como por atributos, de igual manera las relaciones se han organizado en un conjunto de niveles según su extensión espacial y su importancia jerárquica dentro del mismo.

De igual manera se eligió este por la baja cuota de espacio que requiere para su almacenamiento en medios digitales, este modelo al ser permite emplear una estructura de datos orientada principalmente a tablas, así como a elementos geométricos fácilmente identificables, principalmente puntos, líneas y polígonos, consistente con la mayoría de Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD) y aplicaciones SIG tanto libres como comerciales, junto con la ventaja de ofrecer mayor velocidad para análisis que incluyen información topológica.

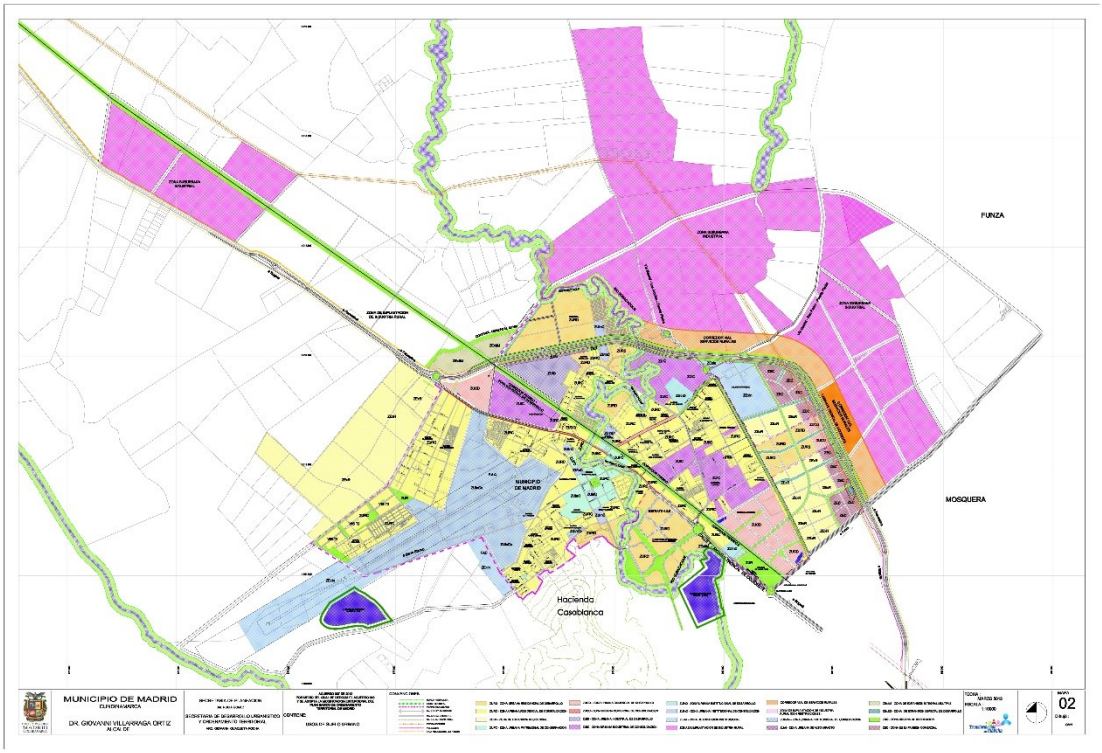
Sin embargo no se deja de lado que en un futuro se requiera ajustar el modelo para incluir datos Raster que son más eficientes para procesos que no requieren información topológica.

6.1.2. Adquisición Y Depuración de la Información

La información fue adquirida a través de la Secretaria de Vivienda, Urbanismo y Ordenamiento Territorial, la Empresa de Acueducto, Aseo y Alcantarillado del Municipio de Madrid (EAAAM), así como información adicional disponible a través de la página web institucional del municipio y otros entes de carácter nacional como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

De la Secretaria de Urbanismo se obtuvo el Plan de Ordenamiento Territorial junto con los respectivos mapas tanto del área urbana como del área rural en formato digital (Formato de Adobe Reader .pdf) y en escala 1:10000, en estos mapas se encontraron errores de representación que dificultaron su interpretación, así mismo no poseen información sobre el sistema de coordenadas que facilitara su ubicación espacial, de igual manera por el formato en que estos fueron adquiridos su integración con el formato SIG no fue sencilla. Además en estos existe información proyectada que no refleja la realidad actual del área de estudio.

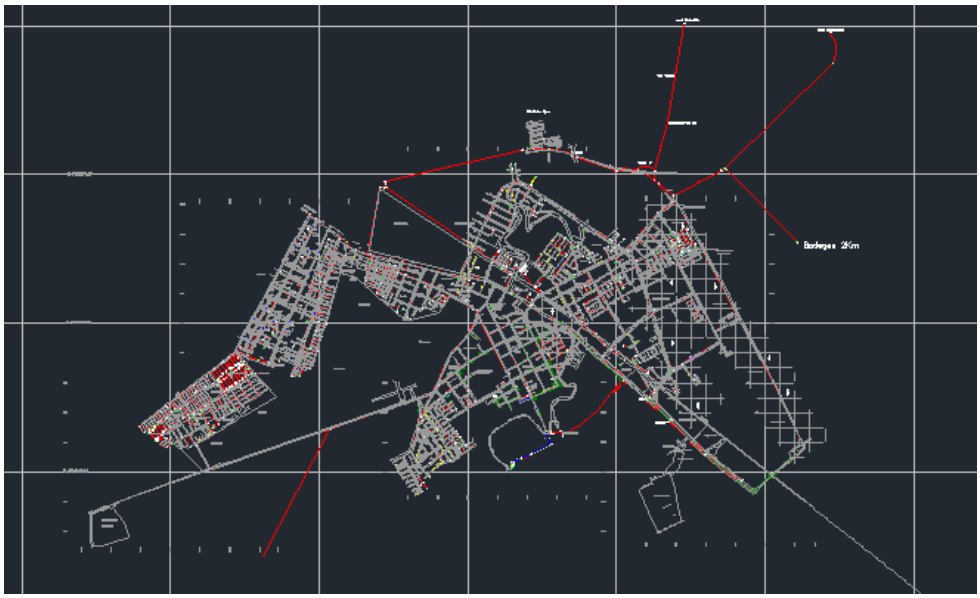
Figura 18: Mapa de Usos Urbanos del Municipio de Madrid, Cundinamarca.



Fuente: Secretaría de Vivienda, Urbanismo y Ordenamiento Territorial. Municipio de Madrid, Cundinamarca

La Empresa de Acueducto, Aseo y Alcantarillado facilitó la información de las redes de acueducto y alcantarillado en formato digital editable (.dwg), pero al igual que los mapas del POT, sin sistema geográfico de referencia, pero si con información espacial diferenciada por capas con diversos atributos tanto espaciales como intrínsecos de este tipo de redes.

Figura 19: Catastro de la Red de Acueducto de Madrid, Cundinamarca.



Fuente: EAAAM

De la página web del municipio se obtuvieron algunas estadísticas poblacionales y datos relacionados con el Plan Municipal de Gestión de Riesgo del año 2012, en formato pdf y en escala 1:25000. De la página web del DANE se obtuvieron las estadísticas poblacionales del área urbana desde el año 1985 hasta el año 2005, así como información geográfica de los límites municipales para la vigencia del año 2012. (DANE, 2012)

Finalmente mediante el servicio de datos gratuitos de la compañía ESRI, disponible vía web se descargaron los datos de los límites departamentales para propósitos de visualización y contexto, y del servicio de descargas gratuitas de la NASA se obtuvo el modelo SRTM del área de estudio con una resolución de 90m, con los cuales se generaron las curvas de nivel en el área de estudio mediante la herramienta de extracción de curvas de nivel de QGIS

La información se depuro en función de su relevancia con respecto al propósito del proyecto, sin embargo algunos datos se incluyeron para brindar mayor precisión a este, sin ser necesariamente prioritarios, también se tuvo en cuenta la escala del área de estudio para determinar su resolución espacial y nivel de detalle, además como la información espacial obtenida es posterior al año 2005 se ha determinado que el sistema de referencia más adecuado es el referido al datum MAGNA-SIRGAS.

Así mismo por el formato en que la mayoría de la información fue adquirida, se hizo necesario realizar una conversión a un formato editable (AutoCAD y MicroStation) para llevar a cabo tanto la edición geométrica como la estructuración topológica de manera sencilla y eficiente, así como para garantizar la integridad de la información.

6.1.3. Edición Geométrica

Para la edición geométrica se emplearon los programas AutoCAD Map 3D 2014 y MicroStation V8i, una vez importados los datos en estos programas se realizó la limpieza de la información espacial, buscando principalmente errores como traslapos, superposiciones, entre otros, de manera semiautomática para garantizar la máxima precisión en la estructuración topológica.

Respecto a las redes de acueducto y alcantarillado, así como las manzanas del área urbana se buscaron errores relacionados con la geometría tales como áreas mínimas excedentes, nodos faltantes y sobrantes en las redes, e incluso cambio de unidades en unos de los archivos proporcionados por la EAAAM, pues se encontró que el archivo con la red de alcantarillado se hallaba en pies y no en metros, así como traslapos y otros errores típicos, siendo el más común duplicados y geometrías abiertas.

En los datos obtenidos en formato pdf se tuvo que realizar una etapa de ingeniería inversa que consistió en transformar y clasificar la información proveniente de los mapas obtenidos en formato PDF a un formato más adecuado para su edición, con el fin obtener las geometrías de los diferentes elementos en los mapas, en especial aquellos consignados en el POT, así como una diferenciación por capas para facilitar su limpieza, procesamiento y exportación; en algunos casos se tuvo que ajustar algunas geometrías con imágenes obtenidas desde Google Earth y Bing Maps, pues se presenta información faltante tanto en la información proporcionada por la Secretaria de Urbanismo como por la EAAAM, empleando una digitalización manual en MicroStation V8i.

En otros casos específicamente en el caso de la malla vial municipal, se tuvo que dibujar usando como referencia las manzanas del casco urbano, pues el mapa vial urbano proporcionado por la Secretaría de Urbanismo presenta algunos errores al momento de su importación, además de consignar información proyectada que no refleja los posibles cambios a los que puedan ser sometidos con el paso del tiempo, sin embargo este se empleó para obtener información adicional sobre la malla vial.

Los principales errores encontrados fueron principalmente geometrías duplicadas, traslapos entre geometrías y slivers, los cuales fueron corregidos especialmente sobre las geometrías de tipo polígono, pues en las geometrías consideradas como líneas y puntos no fue necesario realizar ediciones mayores.

6.1.4. Estructuración Topológica

La estructuración topológica se aplicó especialmente a las geometrías de tipo polígono, como manzanas, predios, barrios, etc. Este proceso se llevó a cabo en los programas Bentley Map V8i y AutoCAD Map 3D 2014, empleando las herramientas de validación topológica correspondientes a cada programa.

En Bentley Map V8i se realizó una validación topológica para cada una de las geometrías, para garantizar su consistencia topológica, creándose centroides en los polígonos, así como detectar bordes duplicados y no utilizados que no fueron eliminados durante la edición geométrica, esta validación se llevó a cabo para cada una de las capas de información obtenida a excepción de las geometrías de tipo punto.

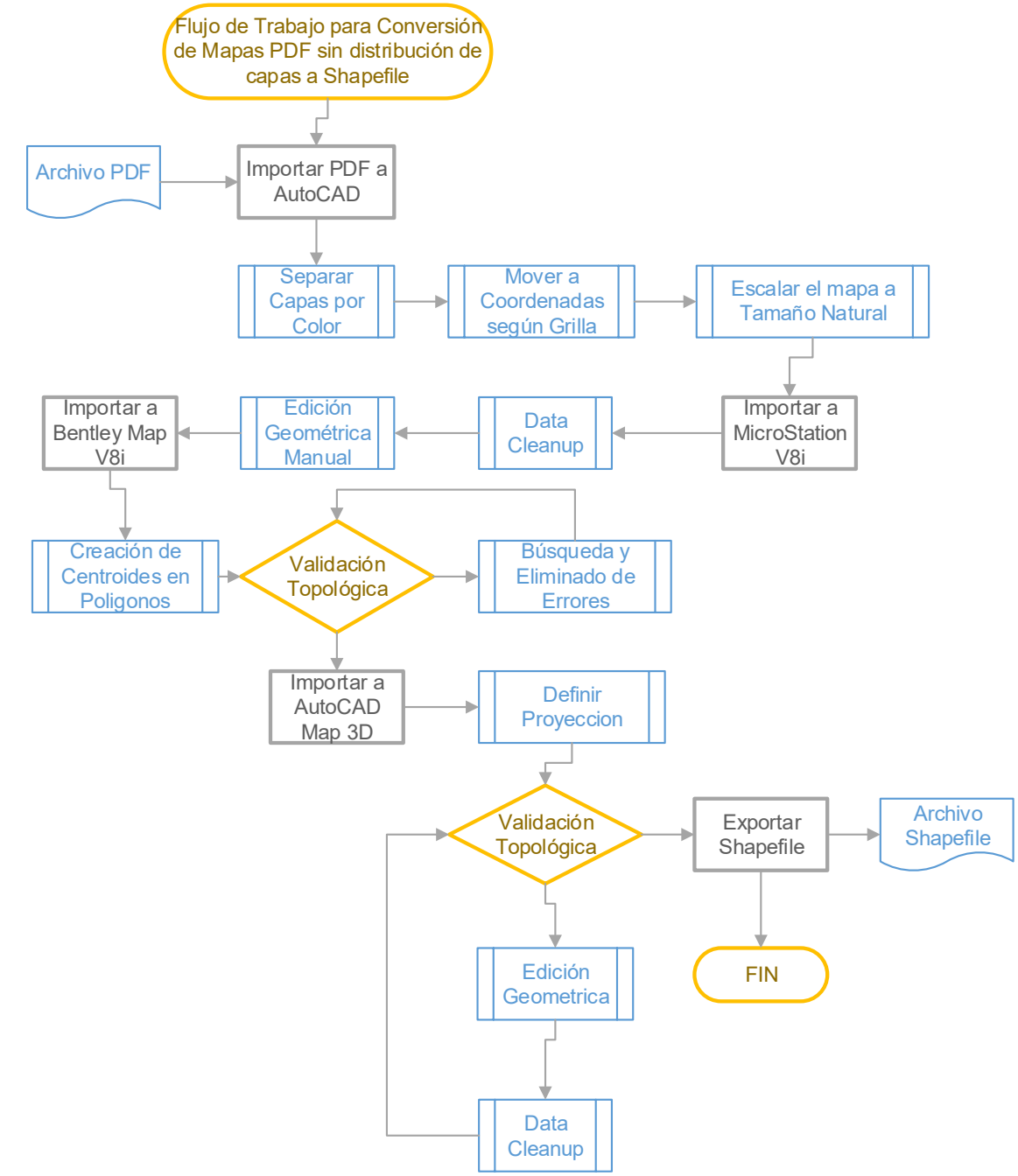
En AutoCAD Map 3D 2014, se realizó una segunda validación topológica con el fin de refinar la realizada anteriormente con Bentley Map V8i, así como garantizar que las geometrías sean completamente planas evitando la generación de geometrías tridimensionales, de igual manera se detectaron errores como ausencia de centroides, polígonos abiertos, superposiciones, etc. Así mismo desde este software se realizó la exportación de la mayoría de la información a formato ESRI Shapefile, empleando el sistema de coordenadas referido al datum MAGNA-SIRGAS usando como origen el ubicado en la ciudad de Bogotá, debido a la cercanía del área de estudio respecto a este.

Tabla 1: Sistema de Coordenadas a emplear en el proyecto

Origen	MAGNA-SIRGAS COLOMBIA BOGOTÁ		
Latitud	4 35 56.57 N	Longitud	74 04 51.30 W
Datum	MAGNA-SIRGAS	Elipsoide	GRS80
Proyección	CILINDRICA TRANSVERSA MODIFICADA (GAUSS-KRUGER)		
Falso Norte	1000000,0	Falso Este	1000000,0

Fuente: IGAC

Esquema 2: Flujo de Trabajo para Conversión de Archivos PDF a ESRI Shapefile.



Fuente: Autor

6.1.5. Atributos no Espaciales

A partir de los datos obtenidos se recopilo una serie de atributos no espaciales de diferentes características que describen de manera adecuada el área de estudio, así como determinar la estructura misma de esta información en forma de tablas las cuales serán empleadas más adelante para el diseño de la base de datos, con información principalmente alfanumérica, junto con la información espacial obtenida conforman el conjunto de información que describe de manera más adecuada el área de estudio. Dicha estructura se halla consignada en el Diccionario de Datos del proyecto, del cual se hablará más adelante. Estos datos se depuraron principalmente respecto a la función que desempeñan en la Base de Datos, siendo relevantes las estadísticas de población, los usos de suelo urbano y rural, información sobre los barrios, hidrografía, barrios, entre otros.

La información concerniente a las proyecciones de población se generó a partir de la información demográfica obtenida de la Alcaldía Municipal, así como del DANE; para ello se siguió una metodología similar a la empleada para realizar proyecciones de población para el diseño de sistemas de acueducto y alcantarillado sanitario. Así mismo con base en la densidad de población actual y de la población proyectada se extrapoló una proyección para la expansión urbana.

Figura 20: Captura de Pantalla de las Estimaciones de Población 1985-2005 y Proyecciones de Población 2005-2020, Total Municipal por Área.

DANE

INFORMACIÓN ESTADÍSTICA

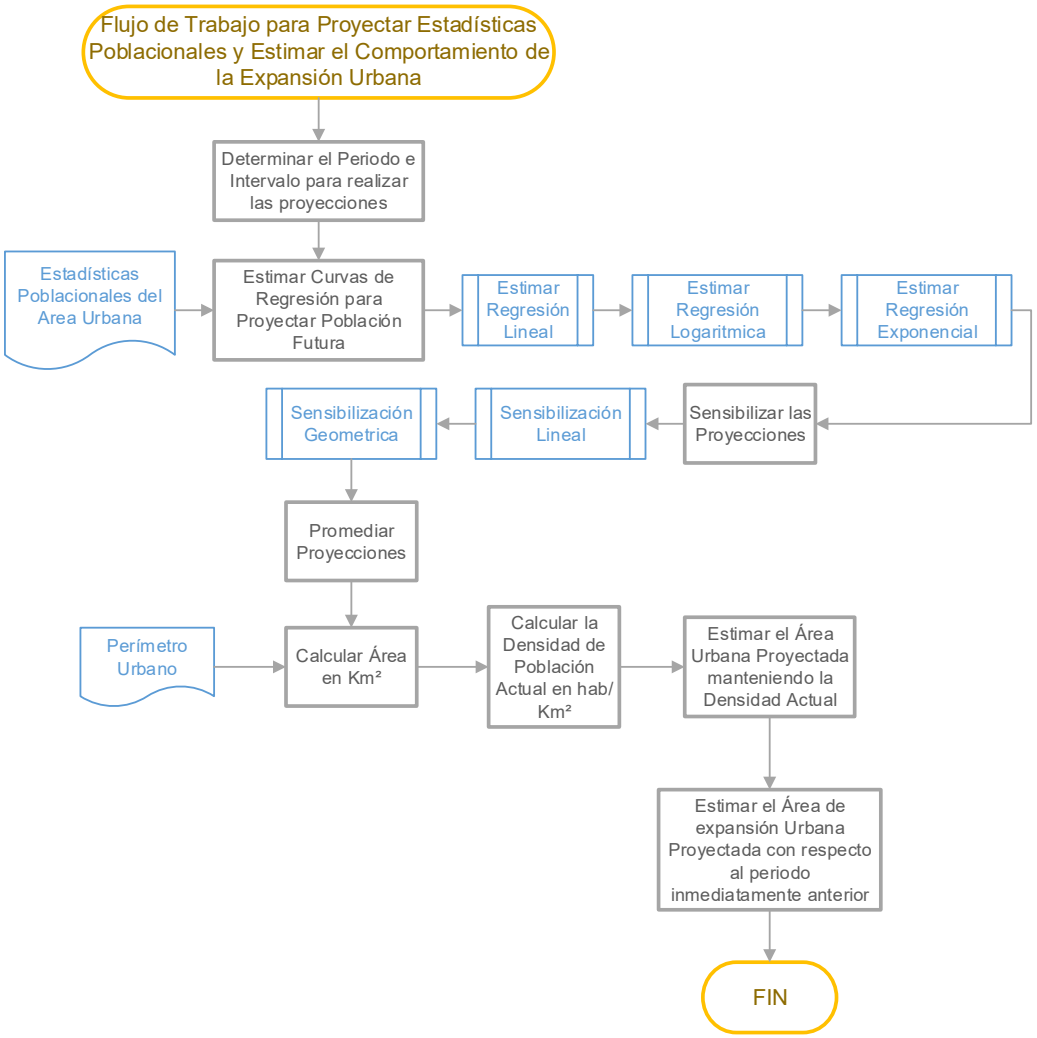
ESTIMACIONES DE POBLACIÓN 1985 - 2005 Y PROYECCIONES DE POBLACIÓN 2005 - 2020 TOTAL MUNICIPAL POR ÁREA

A junio 30

DP	DPNOM	DPMP	MPIO	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
05	Antioquia	05001	Medellín	1,535,955	1,565,394	1,595,095	1,625,321	1,656,333	1,688,394	1,721,767	1,756,711	1,793,491	1,832,197	1,872,241	1,912,6
05	Antioquia	05002	Abejorral	26,049	25,813	25,575	25,331	25,071	24,789	24,479	24,129	23,735	23,297	22,875	22,4
05	Antioquia	05004	Abriaquí	3,067	3,098	3,127	3,156	3,179	3,201	3,214	3,222	3,220	3,209	3,187	3,1
05	Antioquia	05021	Alejandría	4,909	4,903	4,895	4,886	4,872	4,851	4,823	4,784	4,732	4,666	4,589	4,5
05	Antioquia	05030	Amagá	21,984	22,313	22,644	22,974	23,296	23,606	23,901	24,173	24,419	24,633	24,823	25,0
05	Antioquia	05031	Amalfi	17,515	17,719	17,926	18,134	18,339	18,535	18,727	18,907	19,070	19,216	19,344	19,4
05	Antioquia	05034	Andes	38,636	38,637	38,652	38,678	38,714	38,759	38,818	38,884	38,956	39,033	39,118	39,2
05	Antioquia	05036	Angelópolis	6,081	6,084	6,091	6,102	6,119	6,144	6,179	6,226	6,284	6,356	6,442	6,5
05	Antioquia	05038	Angostura	12,680	12,778	12,877	12,972	13,058	13,133	13,195	13,238	13,259	13,254	13,226	13,1
05	Antioquia	05040	Anorí	12,283	12,275	12,273	12,283	12,307	12,351	12,418	12,512	12,634	12,789	12,969	13,1
05	Antioquia	05042	Santafé de Antioquia	20,122	20,222	20,331	20,446	20,569	20,698	20,836	20,979	21,126	21,278	21,432	21,5
05	Antioquia	05044	Anza	6,327	6,414	6,502	6,587	6,671	6,752	6,828	6,899	6,961	7,015	7,061	7,1
05	Antioquia	05045	Apartadó	53,547	56,322	59,143	62,051	65,048	68,183	71,477	74,959	78,650	82,563	86,674	90,9
05	Antioquia	05051	Arboletes	47,043	33,707	32,480	31,302	30,195	29,178	28,275	27,510	26,900	26,464	26,196	26,0
05	Antioquia	05055	Argelia	12,043	12,004	11,964	11,924	11,881	11,831	11,776	11,710	11,632	11,540	11,434	11,3
05	Antioquia	05059	Armenia	7,196	7,111	7,026	6,942	6,857	6,771	6,683	6,592	6,498	6,400	6,296	6,1
05	Antioquia	05079	Barbosa	29,092	29,839	30,586	31,326	32,043	32,746	33,423	34,082	34,698	35,307	35,910	36,5
05	Antioquia	05086	Belmira	5,502	5,522	5,544	5,566	5,591	5,615	5,640	5,664	5,689	5,713	5,736	5,7
05	Antioquia	05088	Bello	228,927	235,514	242,106	248,705	255,339	261,996	268,685	275,419	282,198	289,036	295,945	302,9
05	Antioquia	05091	Betania	12,731	12,614	12,499	12,384	12,270	12,150	12,030	11,903	11,769	11,626	11,477	11,3
05	Antioquia	05093	Betulia	15,156	15,229	15,306	15,384	15,463	15,543	15,623	15,700	15,771	15,838	15,900	15,9
05	Antioquia	05101	Ciudad Bolívar	30,208	30,090	29,984	29,886	29,792	29,703	29,619	29,534	29,446	29,353	29,252	29,1
05	Antioquia	05107	Briceño	8,517	8,552	8,589	8,624	8,659	8,689	8,718	8,741	8,759	8,770	8,773	8,7

Fuente: DANE

Esquema 3: Flujo de Trabajo para realizar estimaciones de población y de expansión urbana,



Fuente: Autor

Tabla 2: Proyección de Población para el Area Urbana del Municipio de Madrid, Cundinamarca.

Proyección de Población							
Año	Método Lineal	Método Geométrico	Método Logarítmico	Método de Regresiones			Promedio
				Lineal	Exponencial	Logarítmica	
2020	74110	76982	77873	74104	82745	73992	76635
2025	80962	88123	90162	80974	96382	80785	86232
2030	87813	100888	104390	87844	112267	87561	96794
2035	94664	115518	120864	94714	130770	94321	108476
2040	101515	132285	139937	101584	152322	101064	121452
2045	108366	151505	162020	108454	177426	107791	135927
2050	115218	173539	187589	115324	206668	114501	152140

Fuente: Autor

Tabla 3: Proyección de la Expansión Urbana del Municipio de Madrid, Cundinamarca.

Proyección de la Expansión Urbana				
Dens. Pobl. Actual (Hab/km²)			10042	
año	area_proy (km²)	area_proy (ha)	area_rest (km²)	area_rest (ha)
2015	6.7	670		
2020	7.63	763	0.93	93
2025	8.59	859	0.96	96
2030	9.64	964	1.05	105
2035	10.8	1080	1.16	116
2040	12.09	1209	1.29	129
2045	13.54	1354	1.45	145
2050	15.15	1515	1.61	161

Fuente: Autor

6.2. FASE 2: DISEÑO

6.2.1. Diseño de la Base De Datos

Con base a la información recolectada y depurada se procedió a establecer formalmente la estructura de las diversas tablas, así como con la identificación de las relaciones entre entidades, siendo las de mayor relevancia las dadas por la interacción espacial de estas. Inicialmente partiendo de la estructura preliminar de la información procesada durante los preliminares se generó un modelo entidad-relación en el cual se identifican las relaciones entre las distintas entidades así como la multiplicidad de estas, siendo generalmente del tipo *"uno a muchos"* (1:N), aunque también se identificaron relaciones de la clase *"muchos a muchos"* (N:M) y de la clase *"uno a uno"* (1:1); también se determinó el nivel de relación de cada una, siendo las más comunes las de tipo fuerte, debido a que la mayoría de las relaciones son de carácter espacial se determinó que en algunos casos se debía agregar un campo que facilitara las tareas de consulta y análisis, también se determinaron los atributos que servirían como llaves primarias (PK) para asegurar tanto la integridad referencial como la consistencia de la base de datos.

Posteriormente se procedió con la normalización de la base de datos transformando primero el modelo entidad-relación en un modelo relacional basado en tablas, tomando como principales premisas para cada forma normal las siguientes:

1FN = Columnas con información no duplicable, es decir inexistencia de múltiples atributos que expresen la misma información.

Existencia de tuplas únicas identificadas inequívocamente con una llave principal (PK).

2FN = Eliminación de conjuntos de datos aplicables a múltiples tablas, exigiendo la creación de tablas homologas que cumplan esta función.

Existencia de llaves foráneas (FK) para relacionar los diferentes conjuntos de datos.

3FN = Dependencia completa de la llave principal, es decir inexistencia de atributos compuestos por atributos no principales.

FNBC = Existencia de una única clave candidata conformada por un único atributo (PK).

Teniendo en cuenta las anteriores premisas se revisaron cada una de las tablas para determinar si se hallaban en primera forma normal (1FN), lo cual se cumplió de manera inmediata, debido a que en el proceso de estructuración topológica y determinación de atributos no espaciales, se llevó a cabo una metodología que aseguraba que cada una de las tablas generadas cumplieran con las condiciones de atomicidad y unicidad propias de la 1FN así como la ausencia de conjuntos repetidos y la existencia de una clave primaria única para cada tabla, y la dependencia funcional de cada atributo con respecto a esta.

Figura 21: Tabla de Atributos de la Entidad "Manzanas"

cod_mnz	uso	area	cod_cab
1	ZURC	8008.01234592	254300001
2	ZURC	3245.88576099	254300001
3	ZURC	6427.06101499	254300001
4	ZURC	3427.40584777	254300001
5	ZURC	5490.67989947	254300001
6	ZURC	5361.29955602	254300001
7	ZURC	1941.66597903	254300001
8	ZURC	2406.72036285	254300001
9	ZURC	2814.06866696	254300001
10	ZURC	2957.89167754	254300001
11	ZURC	1758.7022273	254300001
12	ZURC	1880.54729199	254300001
13	ZURC	1833.06507282	254300001
14	ZURC	1752.37457551	254300001

Fuente: Autor

Una vez cumplidas las condiciones de 1FN, se procedió a verificar las tablas para buscar la existencia de valores duplicados aplicables a varias columnas, lo cual no se dio debido a que la metodología aplicada evita la generación de este tipo de valores, permitiendo que todas tablas generadas cumpliesen con las restricciones de la 2FN, luego se procedió a revisar si las tablas se hallaban en tercera forma normal (3FN), revisando que los atributos dependieran solamente de la clave principal, lo que efectivamente se cumple pero no para la totalidad de las tablas debido a que en algunos conjuntos de datos es necesario la existencia de atributos compuestos como por ejemplo en la malla vial donde el nombre de la vía depende directamente del prefijo, la numeración del tramo de la vía asi como de los sufijos de ubicación, cuya tabla de atributos se presenta a continuación.

Figura 22: Tabla de Atributos de la entidad "malla_vial".

id_via	prefijo	numero	sufijo_1	sufijo_2	id_princip	id_genera	nom_via	tipo_via	long_m
254301001	CL	15	NULL	NULL	0150000000	NULL	CL 15	AU	146.638926355
254301002	KR	22	A	NULL	022A000000	NULL	KR 22A	LO	22.73674976
254301003	KR	22	A	NULL	022A000000	NULL	KR 22A	LO	22.6150354817
254301004	KR	22	A	NULL	022A000000	NULL	KR 22A	LO	20.8733872012
254301005	CL	3	A	SUR	003A00000S	NULL	CL 3A SUR	LO	58.0573568739
254301006	KR	20	A	NULL	020A000000	NULL	KR 20A	LO	29.1168809914
254301007	KR	19	NULL	NULL	0190000000	NULL	KR 19	LO	24.2978375425
254301008	CL	5	NULL	SUR	005000000S	NULL	CL 5 SUR	LO	25.237654798
254301009	KR	19	A	NULL	019A000000	NULL	KR 19A	LO	25.3973204785
254301010	CL	4	NULL	NULL	0040000000	NULL	CL 4	IN	33.7036108196
254301011	CL	4	NULL	NULL	0050000000	NULL	CL 4	PE	32.7716438759
254301012	CL	5	A	NULL	005A000000	NULL	CL 5A	PE	49.0603836595
254301013	CL	5	B	NULL	005B000000	NULL	CL 5B	PE	47.807680552
254301014	KR	20	A	NULL	020A000000	NULL	KR 20A	PE	25.3996718334
254301015	CL	5	C	NULL	005C000000	NULL	CL 5C	PE	46.3769057891
254301016	CL	5	D	NULL	005D000000	NULL	CL 5D	PE	44.8646196332
254301017	CL	6	NULL	NULL	006A000000	NULL	CL 6	PE	43.3529831361
254301018	KR	20	A	NULL	020A000000	NULL	KR 20A	PE	24.8840682345
254301019	KR	20	A	NULL	020A000000	NULL	KR 20A	PE	1.95974531197
254301020	KR	20	A	NULL	020A000000	NULL	KR 20A	PE	22.6442813725
254301021	CL	6	D	NULL	006D000000	NULL	CL 6D	PE	40.4581174583
254301022	KR	20	A	NULL	020A000000	NULL	KR 20A	PE	18.8242737369
254301023	KR	20	B	NULL	020B000000	NULL	KR 20B	PE	56.9554743657

Fuente: Autor

Finalmente se revisaron las premisas para definir si las tablas cumplían con las condiciones de la forma normal de Boyce-Codd, determinando la existencia de claves candidatas en cada una de las tablas lo cual se cumple en la mayoría debido a que en la definición de estas no existen atributo conjuntos de atributos adicionales que puedan funcionar como clave candidata en las tablas, siendo las únicas candidatas los atributos ya definidos como claves primarias en la 1FN

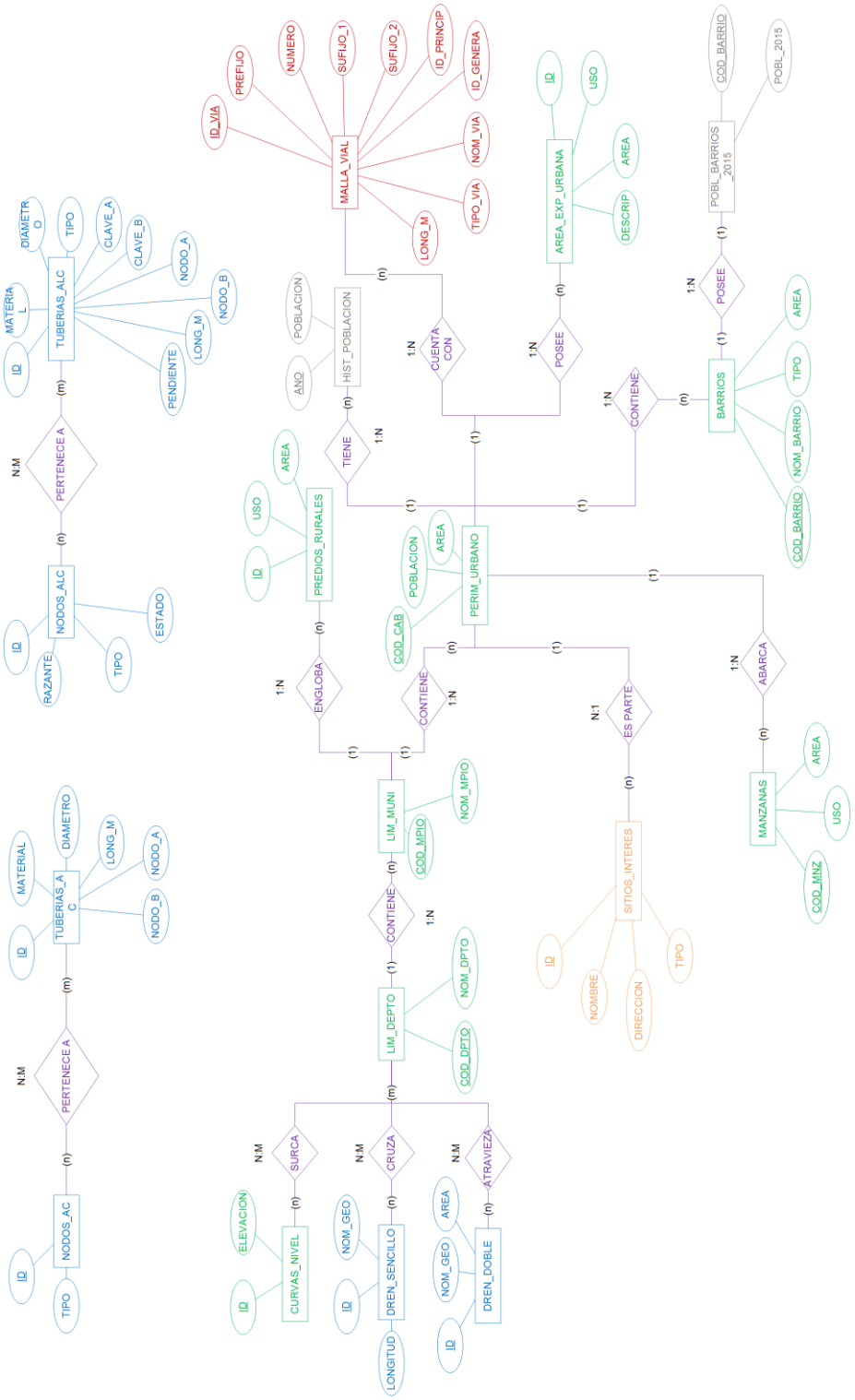
De igual manera se distribuyeron las entidades esquematizadas de acuerdo al conjunto de datos que contienen, estos corresponden a la base cartográfica, hidrografía, sistema vial, toponimia, operaciones espaciales donde se almacenaran los resultados de los análisis espaciales y modelos que ejecutará el SIG, información adicional y resultados de consultas, donde se podrán almacenar los resultados de las consultas realizadas sobre la base de datos.

Tabla 4: Cumplimiento de las formas normales para cada una de las tablas en la BD.

CUMPLIMIENTO DE FORMAS NORMALES					
ENTIDAD	**ESQUEMA**	**1FN**	**2FN**	**3FN**	**FNBC**
lim_depto	base_cartografica	OK	OK	OK	OK
lim_muni	base_cartografica	OK	OK	OK	OK
perim_urbano	base_cartografica	OK	OK	OK	OK
predios_rurales	base_cartografica	OK	OK	OK	OK
barrios	base_cartografica	OK	OK	OK	OK
manzanas	base_cartografica	OK	OK	OK	OK
curvas_nivel	base_cartografica	OK	OK	OK	OK
area_exp_urbana	base_cartografica	OK	OK	OK	OK
dren_sencillo	hidrografia	OK	OK	OK	OK
dren_doble	hidrografia	OK	OK	OK	OK
malla_vial	sistema_vial	OK	OK	NO	NO
nodos_ac	redes	OK	OK	OK	OK
tuberias_ac	redes	OK	OK	OK	OK
nodos_alc	redes	OK	OK	OK	OK
tuberias_alc	redes	OK	OK	OK	OK
sitios_interes	toponimia	OK	OK	OK	OK
hist_poblacion	tablas	OK	OK	OK	OK
pobl_barrios_2015	tablas	OK	OK	OK	OK
proy_poblacion	tablas	OK	OK	OK	OK
proy_exp_urbana	tablas	OK	OK	OK	OK

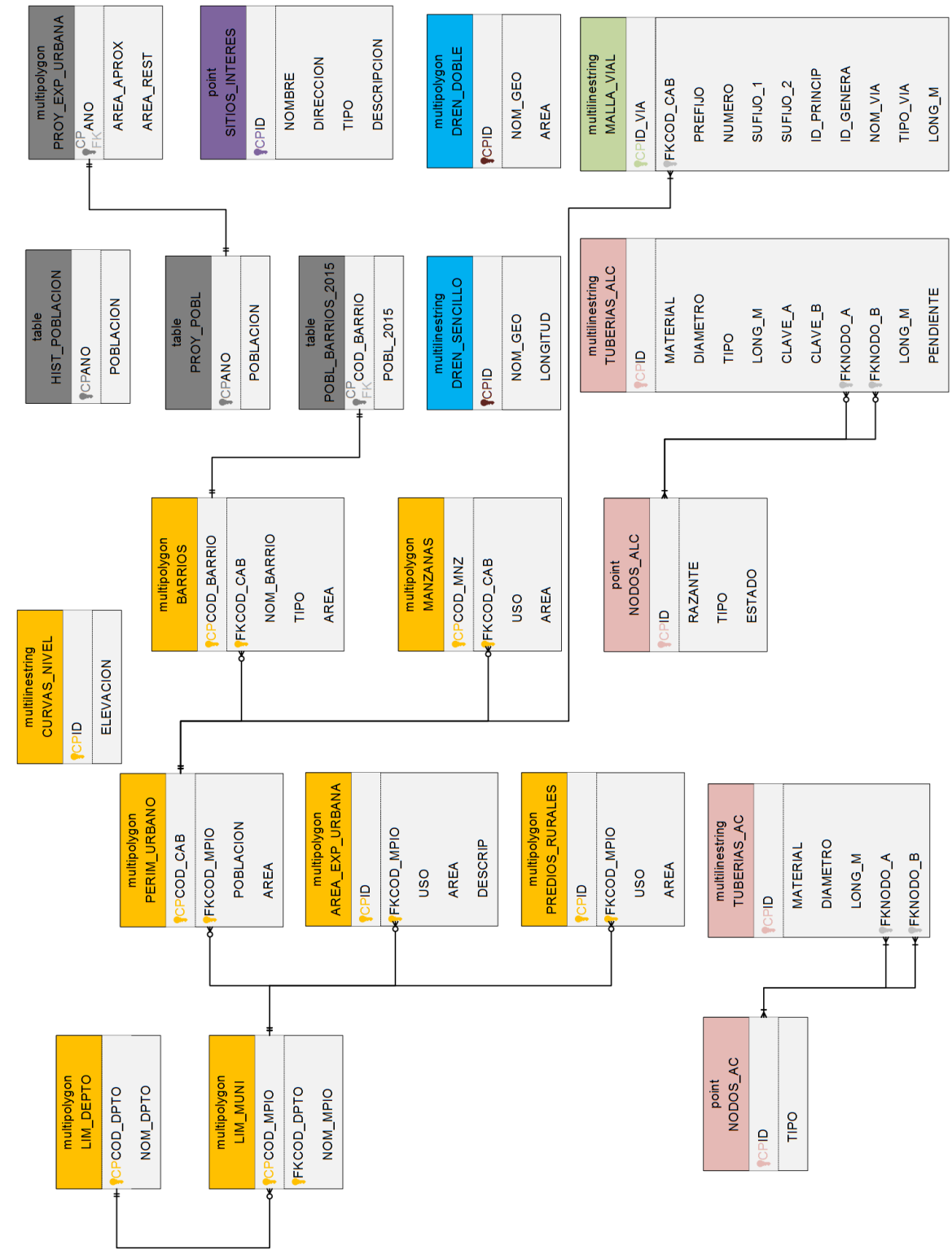
Fuente: Autor

Esquema 4: Modelo Entidad-Relación



Fuente: Autor

Esquema 5: Modelo Relacional usado en la implementación.



Fuente: Autor.

6.2.2. Diccionario de Datos

Se ha creado un diccionario de datos con una estructura sencilla, en primer lugar se halla una tabla que contiene una descripción general de cada una de las entidades almacenada en la base de datos, así como de los resultados que generen las diversas herramientas del SIG. La estructura de este índice está conformada por los siguientes campos:

ENTIDAD: Nombre con el cual se halla almacenado el elemento en la BD.

ESQUEMA: Nombre del esquema en el cual se halla almacenado el elemento en la BD.

TIPO: Tipo de información almacenada en el elemento especifico, se clasificaron de la misma manera en que lo hace el SGBD empleado.

SRID: Corresponde al código EPSG para el sistema de coordenadas en el que se halla referenciado cada elemento.

DESCRIPCION: Es una descripción breve de cada elemento.

De igual manera también se creó una estructura para los metadatos de los elementos en específico, la cual posee los siguientes campos:

ATRIBUTO: Nombre de los atributos que posee cada elemento.

DESCRIPCION: Descripcion breve de cada atributo.

TIPO: Tipo de dato que es almacenado en cada atributo.

LONGITUD: Longitud de cada atributo.

PK: Define si un atributo funciona como llave principal dentro de cada elemento.

FK: Define si uno o varios atributos sirven como llaves foráneas dentro de cada elemento.

REFERENCIA: Si un(os) atributo(s) sirven como llaves foráneas, muestra el nombre de la tabla con la que se halla relacionada mediante la llave foránea.

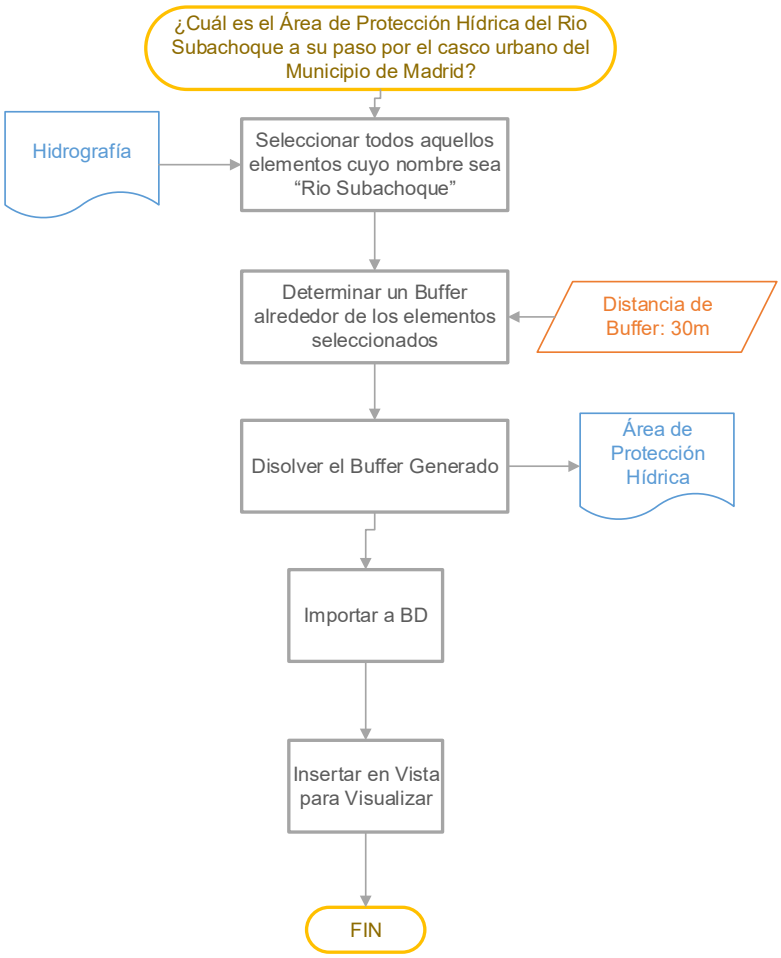
NULL: Muestra si un atributo permite o no la existencia de datos nulos.

6.2.3. Herramientas De Análisis Y Modelos De Automatización

De acuerdo a la información obtenida se ha determinado que los análisis espaciales más adecuados para emplear en el SIG son análisis de buffer para determinar áreas de influencia como las que se tienen en las rondas de los ríos, consultas espaciales, entre otras que se hallan incluidas en la plataforma SIG a emplear, reunidas en diferentes modelos que permiten llevar a cabo análisis específicos, que responden las siguientes preguntas que son claves tanto para la Planificación Urbana como para la Gestión de Riesgos además de ser aquellas que pueden responderse de manera adecuada con la información obtenida:

1. ¿Cuál es el Área de Protección Hídrica del Rio Subachoque a su paso por el casco urbano del Municipio de Madrid?

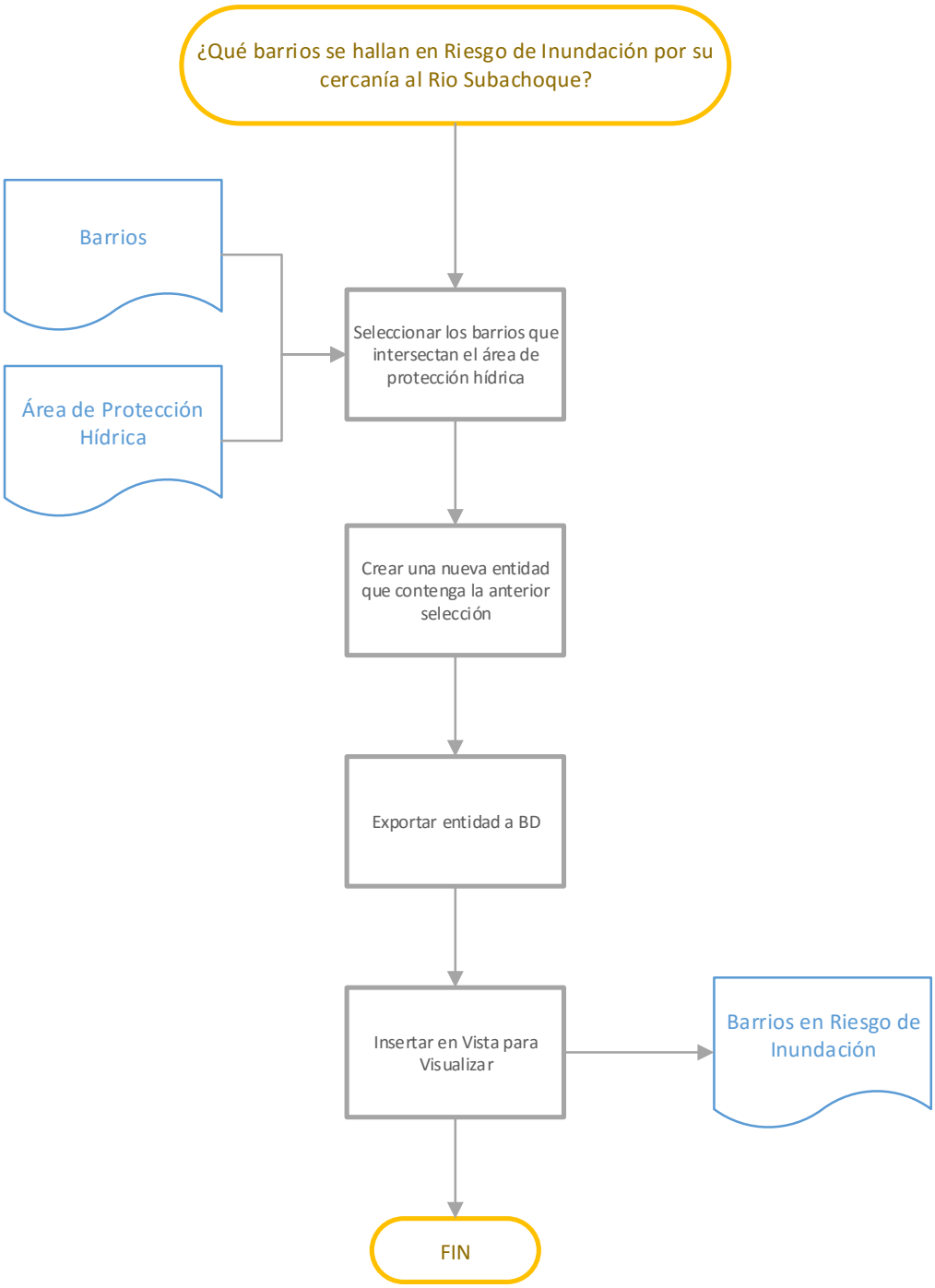
Esquema 6: Modelo para determinar el área de protección hídrica del Rio Subachoque.



Fuente: Autor

2. ¿Qué barrios se hallan en Riesgo de Inundación por su cercanía al Rio Subachoque?

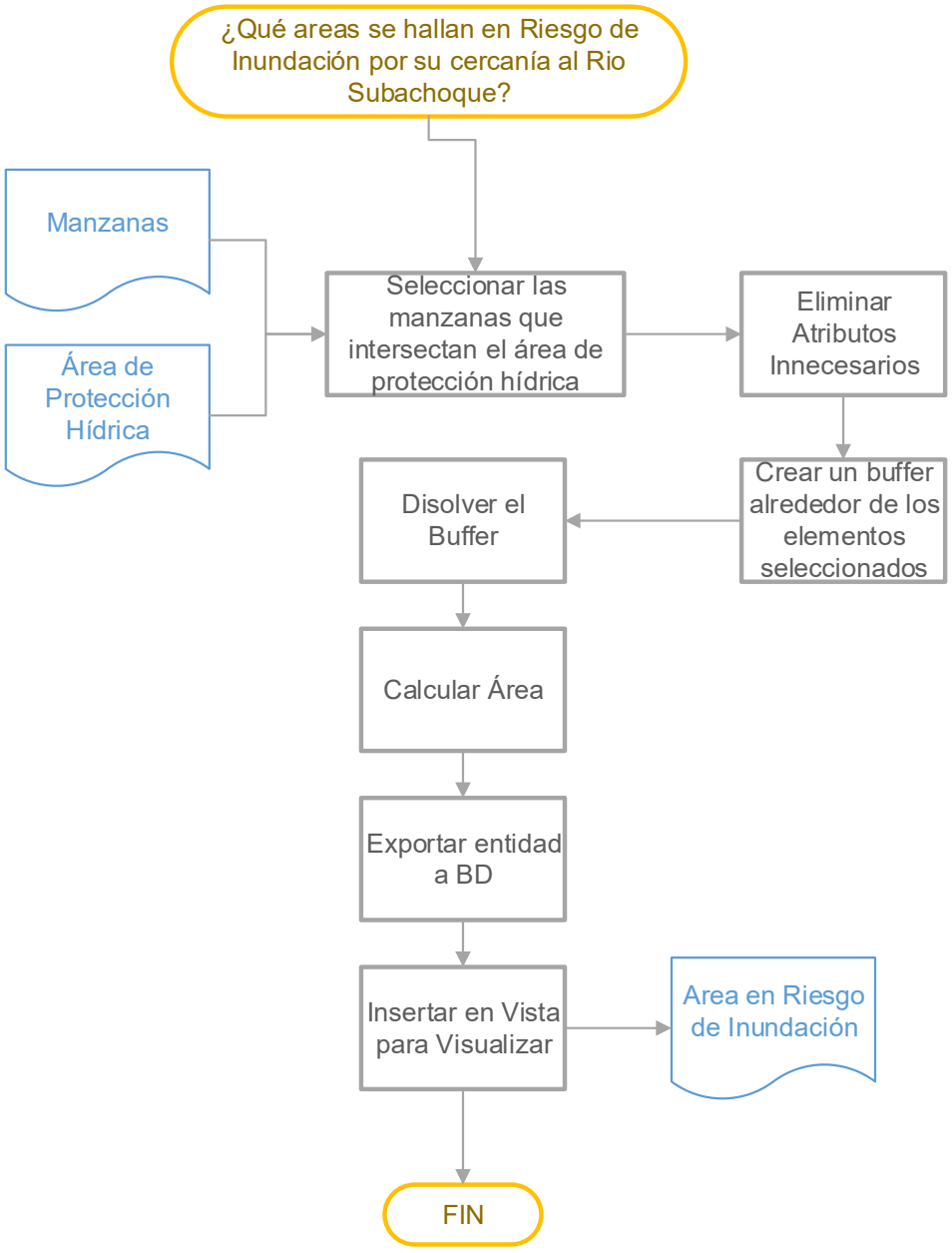
Esquema 7: Modelo para determinar los barrios que presentan riesgo de inundación.



Fuente: Autor

3. ¿Qué áreas del casco urbano se hallan en riesgo de Inundación por su cercanía al Rio Subachoque?

Esquema 8: Modelo para determinar áreas en riesgo de inundación.

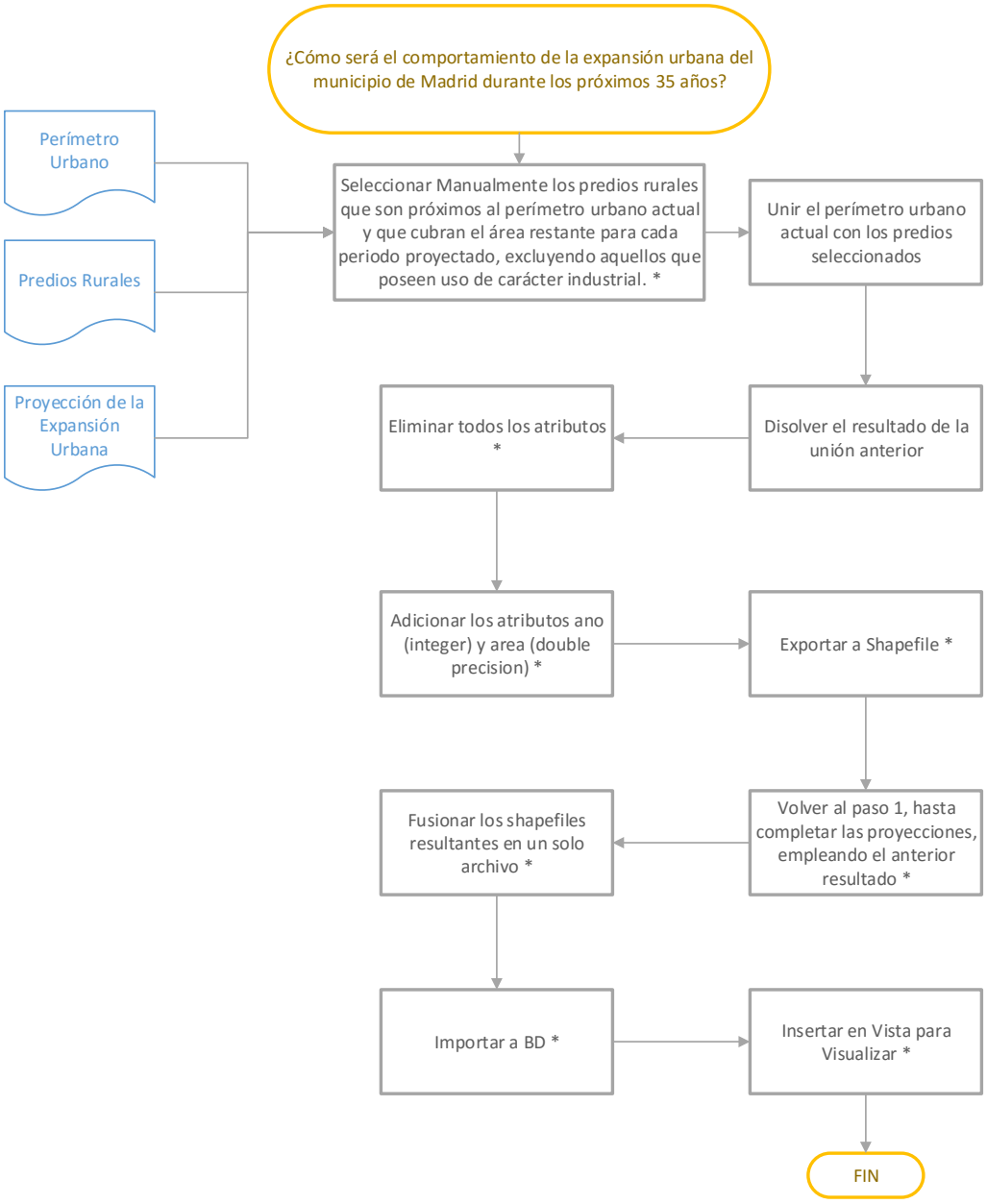


Fuente: Autor

4. ¿Cómo será el comportamiento de la expansión urbana del municipio de Madrid durante los próximos 35 años?

Debido a que este modelo es semiautomático, requiere que el usuario lleve a cabo algunas operaciones, las cuales se señalan con el símbolo *.

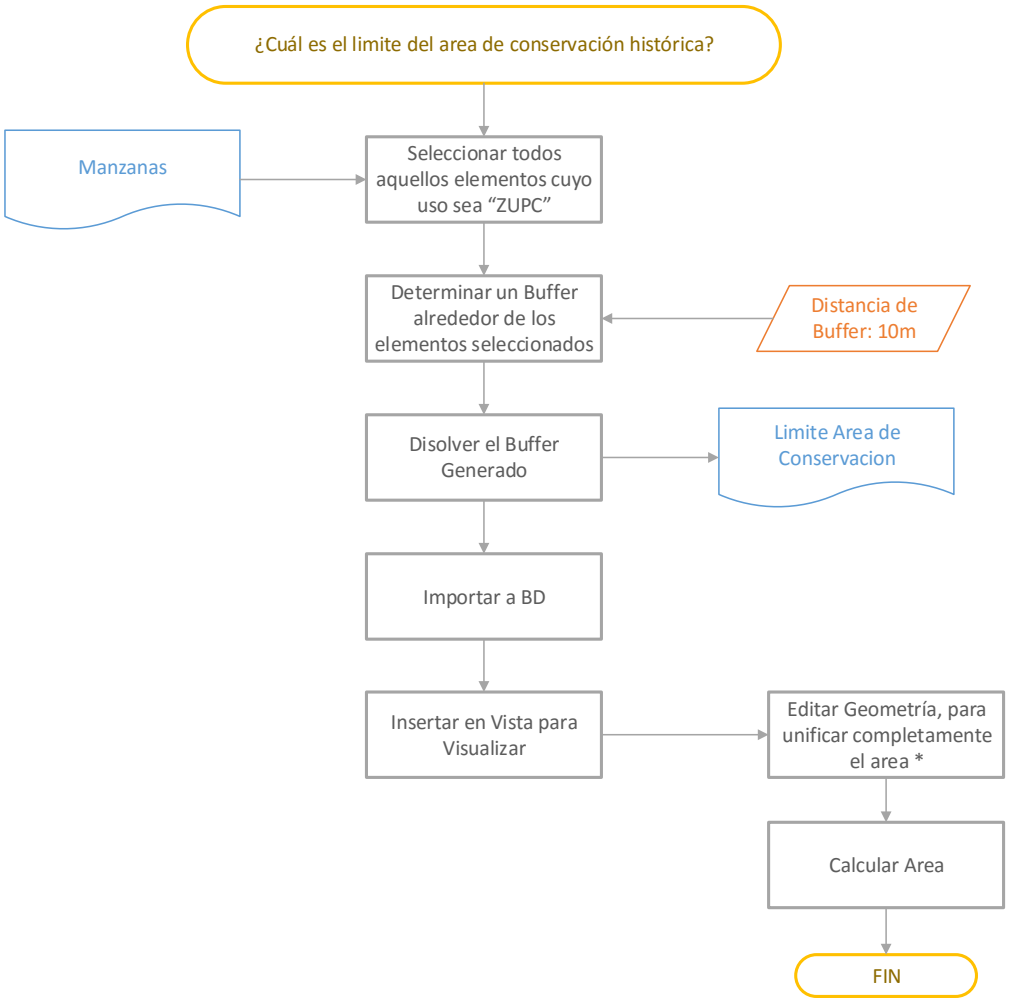
Esquema 9: Modelo para determinar el comportamiento espacial óptimo de la expansión urbana.



Fuente: Autor

5. ¿Cuál es el límite de la Zona de Conservación Histórica?

Esquema 10: Modelo para determinar los límites del área de conservación histórica.



Fuente: Autor

6.2.4. Salidas Gráficas

Se ha diseñado un formato en tamaño pliego (500mm x 700mm) y uno en tamaño carta, principalmente para la generación de cartografía en escalas 1:10000 y 1:12500, del área urbana del municipio de Madrid, las especificaciones de estos formatos son las siguientes.

Formato Pliego

Medidas: 500mm x 700mm

Orientación: Horizontal

Márgenes Externas: 20mm

Área de Mapa Principal: 640mm x 360mm

SRID del Mapa Principal: 3116, MAGNA Colombia Origen Bogotá

Área de Mapa Auxiliar: 60mm x 60mm

SRID del Mapa Auxiliar: 4326, WGS84

Área de Rótulo: 640mm x 70mm

Espaciado de la Grilla (Interna y Externa) (Mapa Principal): 100mm, independiente de escala.

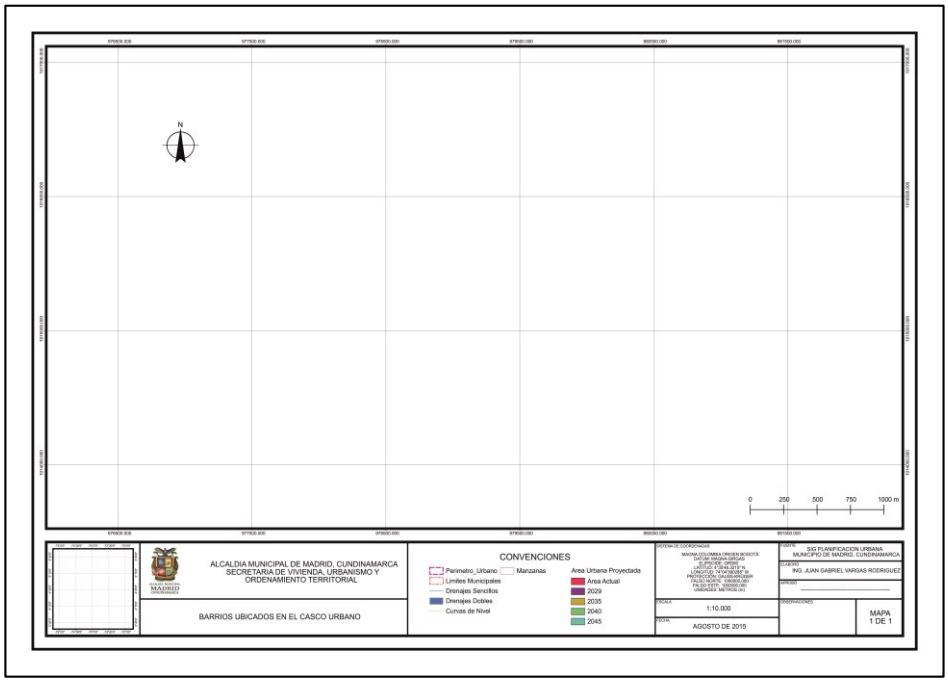
Espaciado de la Grilla (Interna y Externa) (Mapa Auxiliar): 0.5°, independiente de la escala.

Grosor de Márgenes: 2mm

Grosor de Divisiones de Rótulo: 1mm

Longitud de Escala Grafica: 100mm, independiente de escala.

Figura 23: Formato en Tamaño Pliego



Fuente: Autor

Formato Carta

Medidas: 215.9mm x 279.4mm

Orientación: Horizontal

Márgenes Externas: 10mm

Área de Mapa: 244.4mm x 140.9mm

SRID del Mapa: 3116, MAGNA Colombia Origen Bogotá

Área de Rótulo: 244.4mm x 32.5mm

Espaciado de la Grilla (Interna y Externa): 50mm, independiente de escala.

Grosor de Márgenes: 1.5mm

Grosor de Divisiones de Rótulo: 1mm

Longitud de Escala Grafica: 50mm, independiente de escala.

También se ha incluido en las salidas cartográficas, información sobre el Sistema de Coordenadas y la Proyección.

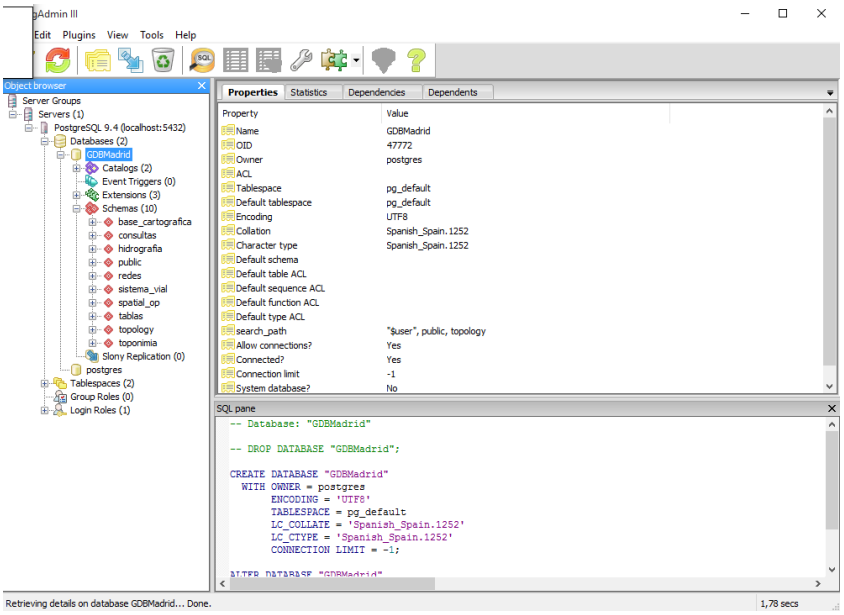
6.3. FASE 3: IMPLEMENTACIÓN

6.3.1. Implementación en el SGBD

Se ha empleado como SGBD la plataforma de software libre llamada PostgreSQL debido a sus ventajas en la protección de la estructura y de la información almacenada en la BD, así mismo el lenguaje de consulta empleado por la plataforma denominado *Structured Query Language* (SQL) posee una sintaxis natural y fácil de emplear, sin embargo el solo SGBD no es de utilidad por lo que se requirió utilizar una extensión que permitiera no solo gestionar sino también almacenar información espacial dentro de la BD, para ello se recurrió a la extensión para PostgreSQL denominada PostGIS, que soporta tanto información espacial como operaciones espaciales.

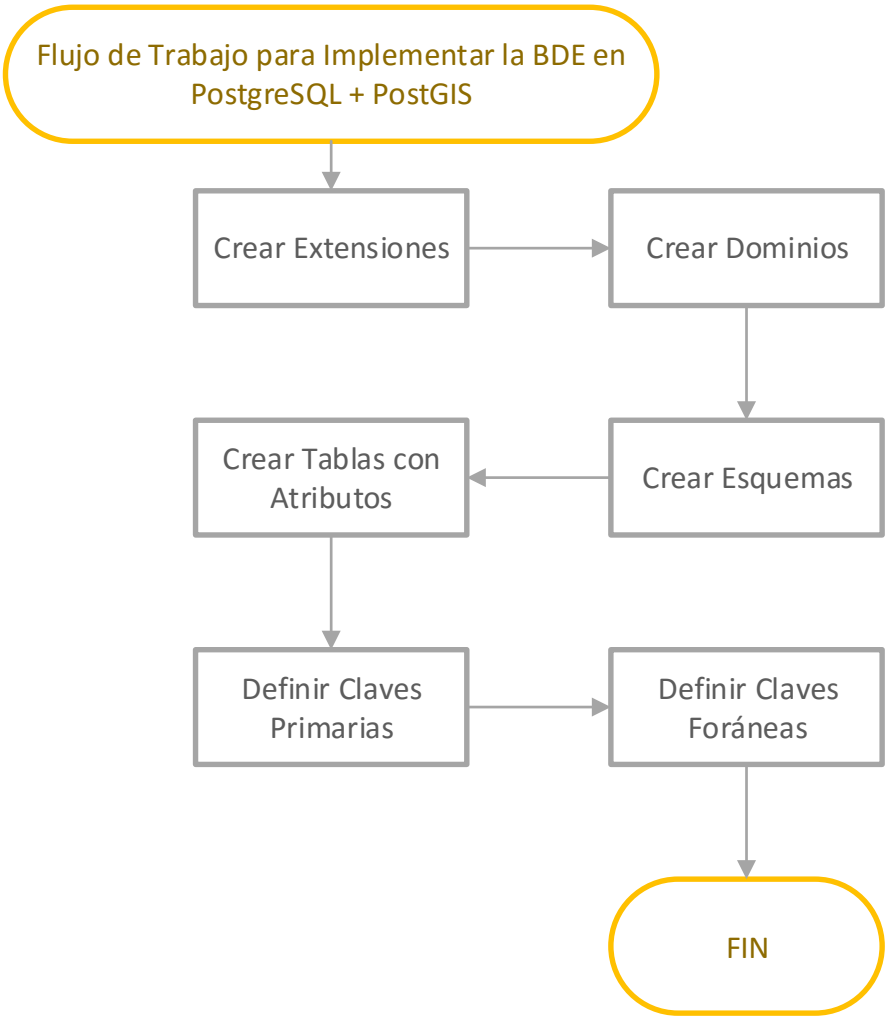
Para implementar la BD dentro del SGBD, primero se crearon las extensiones que permiten almacenar la información espacial dentro de esta, luego se crearon los dominios para restringir los valores de algunos de los atributos en algunas de las entidades, posteriormente se crearon los esquemas para clasificar adecuadamente la información, seguido se crearon las tablas que almacenan la información como tal dentro de la BD, para finalmente definir dentro del SGBD los campos que funcionan tanto como claves principales y claves foráneas junto con las tablas de referencia, sin embargo debido a la falta de datos en algunas tablas se omitieron algunas restricciones establecidas en el diseño inicial con el fin de facilitar el almacenamiento de la información.

Figura 24: Ventana de pgAdmin III mostrando la Base de Datos Implementada en el Trabajo.



Fuente: Autor

Esquema 11: Flujo de Trabajo empleado para la Implementación de la BD en PostgreSQL.



Fuente: Autor

6.3.2. Código SQL de la implementación de la BD en el SGBD (Modelo Físico)

```
create extension postgis;

create extension postgis_topology;

create domain d_uso_suelo as varchar (10) check (value in ('MULT', 'ZUCC', 'ZUCD',
'ZUIC', 'ZUInC', 'ZUInCo', 'ZUPC', 'ZUR', 'ZURC', 'ZURD', 'ZExR', 'ZExIn'));

create domain d_tipo_barrio as varchar (30) check (value in ('N/A', 'BR', 'UR',
'CO'));

create domain d_prefijo as varchar (3) check (value in ('AU', 'AV', 'AC', 'AK',
'BL', 'CL', 'KR', 'CT', 'CQ', 'CV', 'CC', 'DG', 'PJ', 'PS', 'PT', 'TV', 'TC',
'VT', 'VI'));

create domain d_tipo_via as varchar (3) check (value in ('AR', 'AU', 'IN', 'LO',
'PE', 'FER', 'CV'));

create schema base_cartografica;

create schema hidrologia;

create schema sistema_vial;

create schema toponimia;

create schema redes;

create schema spatial_op;

create schema tablas;

create schema consultas;

create table base_cartografica.lim_dpto (cod_dpto integer primary key, nom_dpto
varchar (50), geom geometry (multilpolygon, 3116));

create table base_cartografica.lim_muni (cod_mpio integer primary key, cod_dpto
integer, geom geometry (multipolygon, 3116));

create table base_cartografica.perim_urbano (cod_cab integer primary key, cod_mpio
integer, poblacion integer, area double precision, geom geometry (multipolygon,
3116));

create table base_cartografica.barrios (cod_barrio integer primary key, cod_cab
integer, nom_barrio varchar (250), tipo d_tipo_barrio not null, pobl_2015 integer,
area double precision, geom geometry (multipolygon, 3116));

create table base_cartografica.manzanas (cod_mnz integer primary key, cod_cab
integer, uso d_uso_suelo, area double precision, geom geometry (multipolygon,
3116));
```

```
create table base_cartografica.area_exp_urbana (id integer primary key, cod_mpio varchar (25), area double precision, descrip varchar (100), geom geometry (multipolygon, 3116));

create table base_cartografica.curvas_nivel (id integer primary key, elevacion integer, geom geometry (multilinestring, 3116));

create table base_cartografica.predios_rurales (id integer primary key, cod_mpio integer, uso varchar (10), area double precision, geom geometry (multipolygon, 3116));

create table hidrologia.dren_sencillo (id integer primary key, nom_geo varchar (100), longitud double precision, geom geometry (multilinestring, 3116));

create table hidrologia.dren_doble (id integer primary key, nom_geo varchar (100), area double precision, geom geometry (multipolygon, 3116));

create table sistema_vial.malla_vial (id_via integer primary key, cod_cab integer, prefijo d_prefijo not null, numero integer not null, sufijo_1 varchar (10), sufijo_2 varchar (10), id_princip varchar (10), id_genera varchar (10), nom_via varchar(15), tipo_via d_tipo_via not null, long_m double precision, geom geometry (multilinestring, 3116));

create table toponimia.sitios_interes (id integer primary key, nombre varchar (250), direccion varchar (150), tipo varchar (30) not null, geom geometry (point, 3116));

create table redes.nodos_ac (id integer primary key, tipo varchar (10), geom geometry (point, 3116));

create table redes.nodos_alc (id integer primary key, razante double precision, tipo varchar (10), estado varchar (10), geom geometry (point, 3116));

create table redes.tuberias_ac (id integer primary key, material varchar (10), diametro double precision, long_m double precision, nodo_a integer, nodo_b integer, geom geometry (multilinestring, 3116));

create table redes.tuberias_alc (id integer primary key, material varchar (25), diametro double precision, tipo varchar (4), clave_a double precision, clave_b double precision, nodo_a integer, nodo_b integer, long_m double precision, pendiente double precision, geom geometry (multilinestring, 3116));

create table tablas.hist_poblacion (año integer, poblacion integer);

create table tablas.pobl_barrios_2015 as select cod_barrio, pobl_2015 from base_cartografica.barrios;

create table tablas.proy_pobl (ano integer primary key, poblacion integer);

create table tablas.proy_exp_urbana (ano integer primary key, area_aprox integer, area_rest integer);

alter table base_cartografica.barrios add constraint cod_cab_fkey foreign key (cod_cab) references base_cartografica.perim_urbano (cod_cab);
```

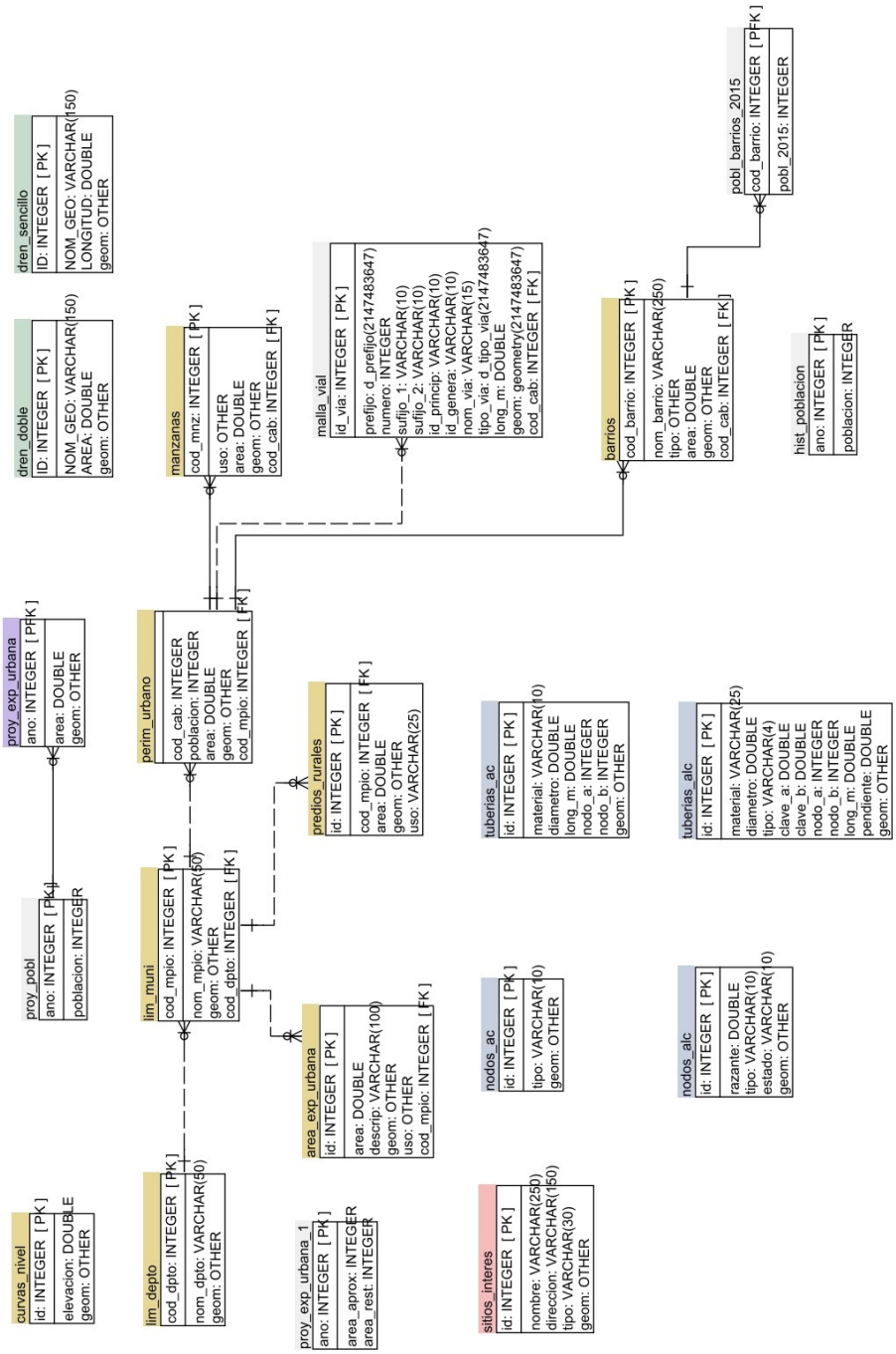
```
alter table base_cartografica.manzanas add constraint cod_cab_fkey foreign key (cod_cab) references base_cartografica.perim_urbano (cod_cab);

alter table base_cartografica.area_exp_urbana add constraint cod_mpio_fkey foreign key (cod_mpio) references base_cartografica.lim_muni (cod_mpio);

alter table base_cartografica.predios_rurales add constraint cod_mpio-fkey foreign key (cod_mpio) references base_cartografica.lim_dpto (cod_mpio);

alter table tablas.pobl_barrios_2015 add constraint cod_barrio_fkey foreign key (cod_barrio) references base_cartografica.barrios (cod_bario);
```

Figura 25: Modelo Relacional Final de la BD obtenido de la implementación a través de SQL Power Arquitect (Forma Final).



Fuente: Autor

6.3.3. Almacenamiento de la Información

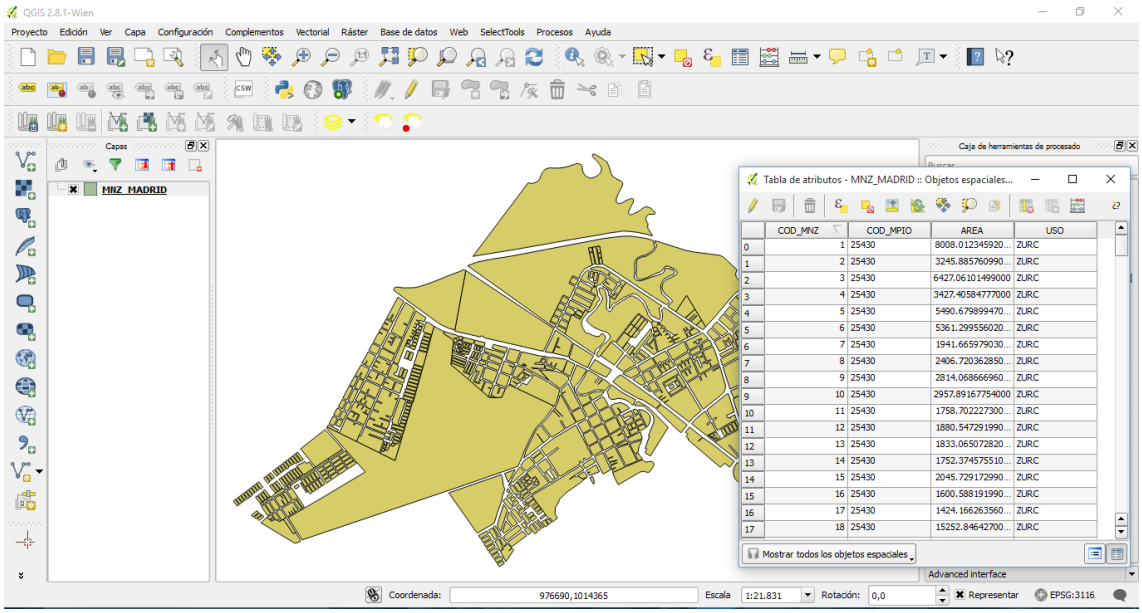
El almacenamiento de la información espacial en la BD, fue bastante simple al emplear la sintaxis de la extensión PostGIS, empleando la importación de archivos en formato Shapefile mediante código fuente desde la consola de Windows aunque puede utilizarse el cargador gráfico, sin embargo primero se almacenaron las entidades de mayor extensión, como los limites departamentales y los límites municipales, para luego continuar con las de menor extensión hasta concluir con las entidades tipo punto, pues las diferentes restricciones que presenta la BD evita que se haga de otra manera.

```
shp2pgsql -s 3116 -a -W LATIN1 -g geom
D:/GDBMADRID/SHAPEFILES/DEPARTAMENTOS/LIM_DPTO.shp base_cartografica.lim_depto |
psql -h localhost -d GDBMadrid -U postgres
```

Ejemplo 1: Línea de Código Fuente para insertar información espacial en una BD de PostgreSQL + PostGIS

De igual manera los archivos Shapefile ya poseen atributos que son inherentes a cada uno de las entidades y estos coinciden completamente tanto en nombre como en tipo con los definidos durante el diseño de la base de datos y la implementación de esta en el SGBD, así mismo se hallan referenciados en el SRID mencionado en la tabla 1.

Figura 26: Vista del Shapefile generado que contiene información espacial sobre las manzanas del Municipio de Madrid.



Fuente: Autor

Se almacenaron en total 5 entidades tipo Línea, 8 entidades tipo Polígono, y 3 entidades tipo Punto, cuyos metadatos se hallan almacenados en el diccionario de datos. La información no espacial fue mucho más fácil de insertar debido a que se emplea solamente una sentencia SQL de inserción en cada una de las tablas, finalmente se almacenó esta información en 4 tablas.

```
insert into tablas.hist_poblacion (ano, poblacion) values (1985, 27921);

insert into tablas.hist_poblacion (ano, poblacion) values (1986, 28806);

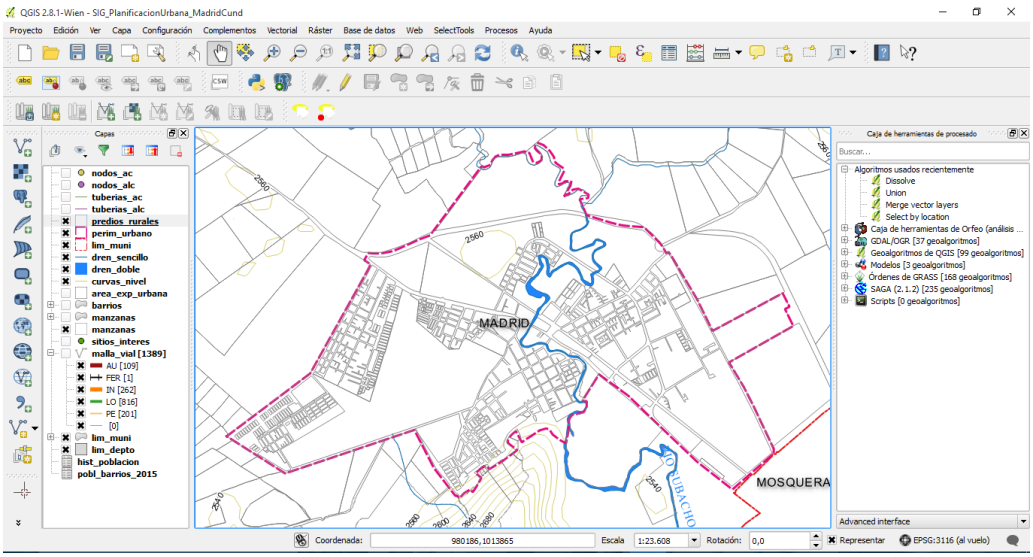
insert into tablas.hist_poblacion (ano, poblacion) values (1987, 29678);
```

Ejemplo 2: Sentencias de Inserción de Datos en lenguaje SQL.

6.3.4. Integración de la BD, Herramientas y Modelos en el SIG

La integración de las base de datos con las herramientas necesarias en el SIG, se realizó efectuando la conexión entre la BD en el servidor de PostgreSQL con la aplicación SIG que para los efectos del presente trabajo se trata de la plataforma libre QGIS, así mismo este software posee todas las funcionalidades necesarias para la implementación del SIG, y van desde herramientas de consulta espacial hasta herramientas de análisis como Buffer, Superposición entre otras, además se agregó el complemento postgisQueryBuilder para facilitar consultas espaciales que impliquen más de dos entidades, de igual manera no se descarta que en el SIG se incorporen datos Raster en un futuro, por lo que se podrán agregar complementos que permitan realizar simulaciones sobre los cambios de uso de suelo, crecimiento urbano entre otros empleando este tipo de información.

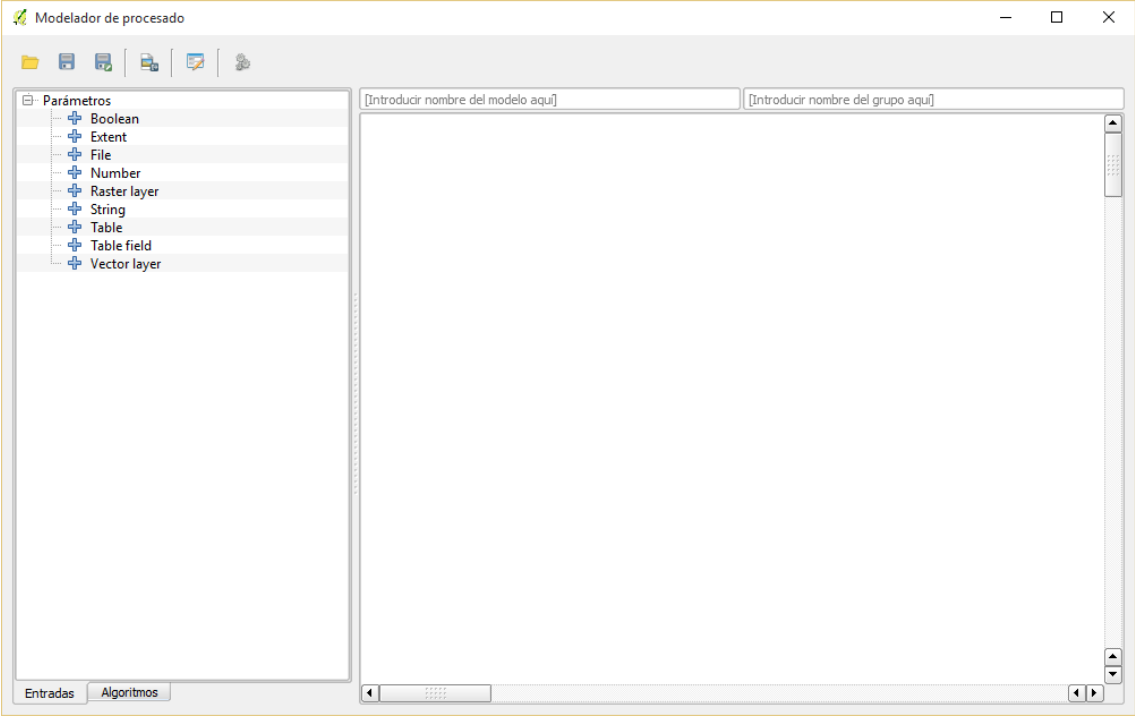
Figura 27: Capas de la Base de Datos incorporadas desde PostgreSQL en QGIS



Fuente: Autor

Específicamente se emplearon la herramienta de Buffer para determinar las áreas de influencia de diferentes entidades como ríos y plantas de tratamiento, herramientas de selección espacial y por atributos así como de unión y disolución para la determinación de objetos que intersectan áreas de influencia así como para la creación de la proyección espacial de la expansión del perímetro urbano, también se emplearon herramientas de administración de bases de datos y de exportación para migrar los diferentes resultados a la base de datos implementada, todos estas herramientas se hallan integradas en el software empleado, así mismo estas herramientas en algunos casos se compilaron en diversos modelos que facilitan la ejecución de algunos procesos.

Figura 28: Ventana del Modelador Grafico de QGIS.

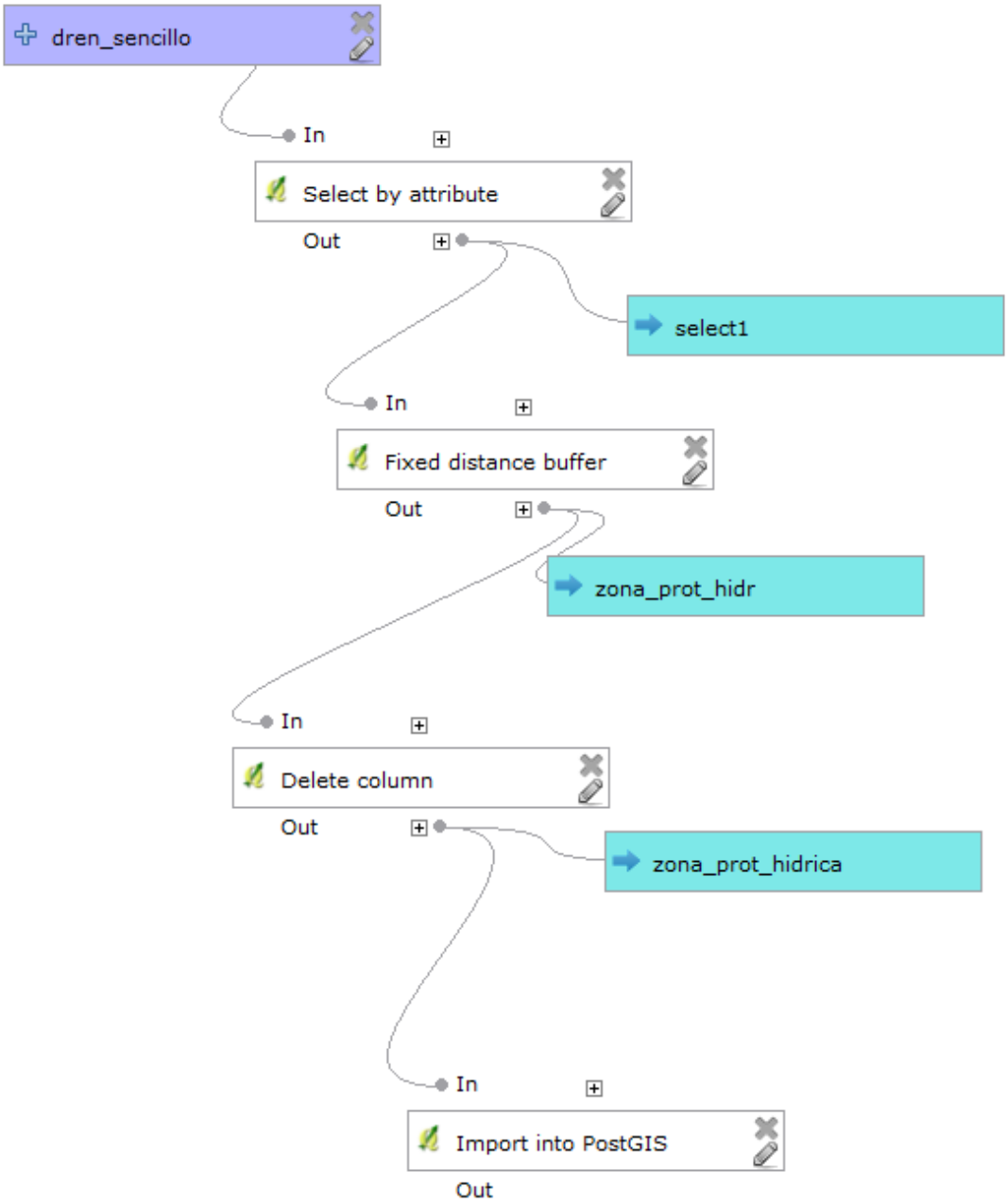


Fuente: QGIS

Los modelos de automatización diseñados anteriormente se incorporaron en el SIG mediante el Modelador Grafico de QGIS, cuyas capturas se muestran a continuación.

1. Área de Protección Hídrica del Rio Subachoque

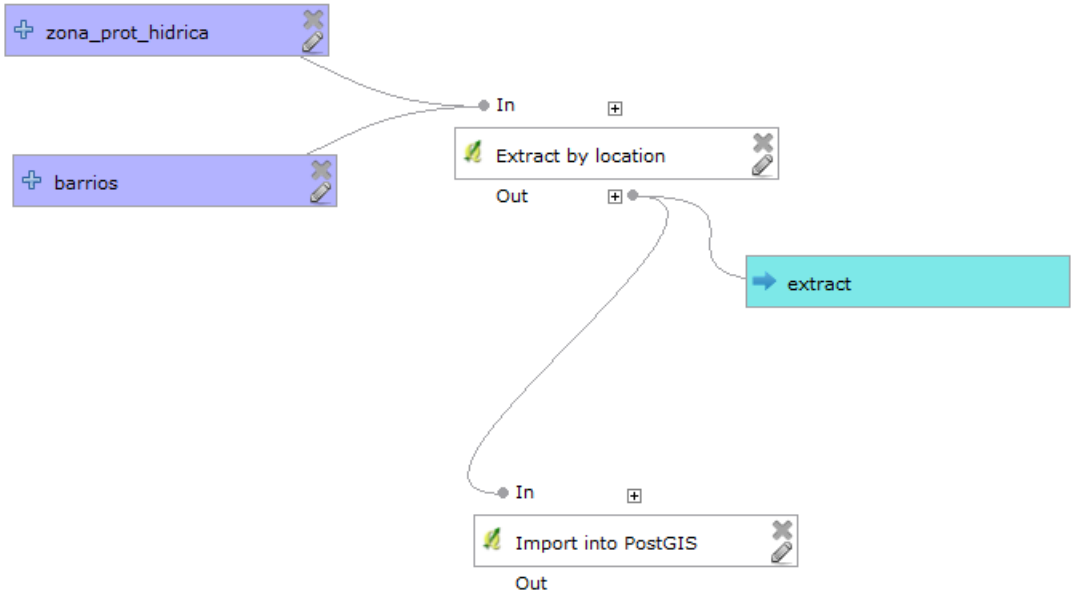
Figura 29: Captura del Modelo 1.



Fuente: Autor

2. Barrios en Riesgo de Inundación

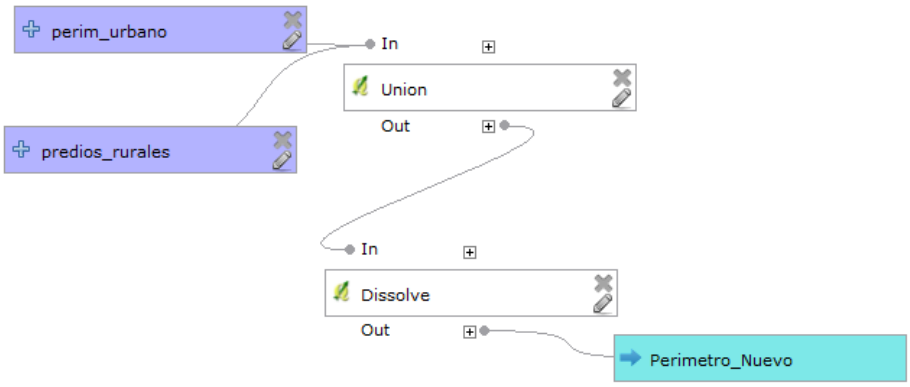
Figura 30: Captura del Modelo 2.



Fuente: Autor

3. Generación de Perímetros para determinar comportamiento de la expansión urbana (componente automatizado)

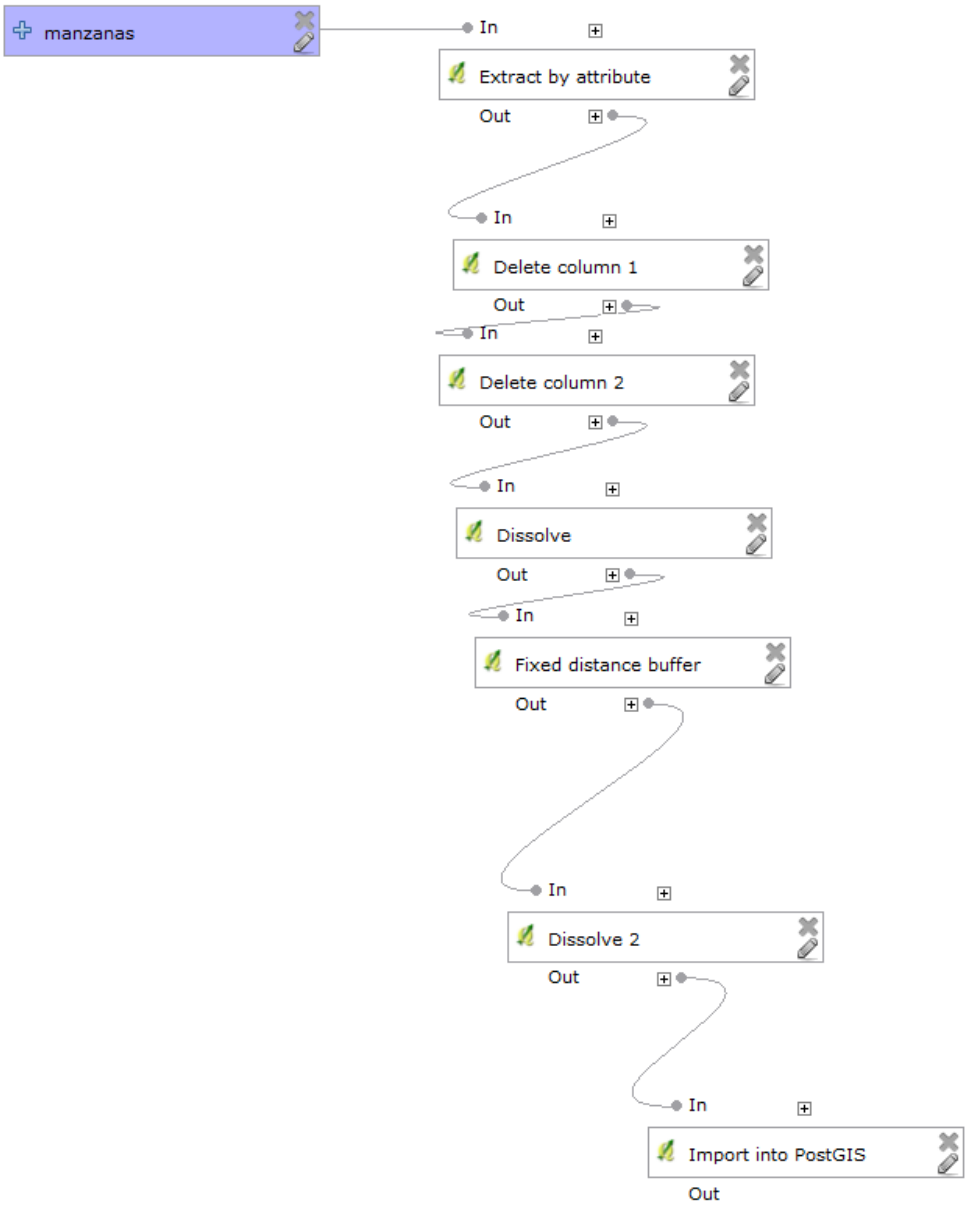
Figura 31: Captura del modelo 3.



Fuente: Autor

4. Área de Conservación Histórica

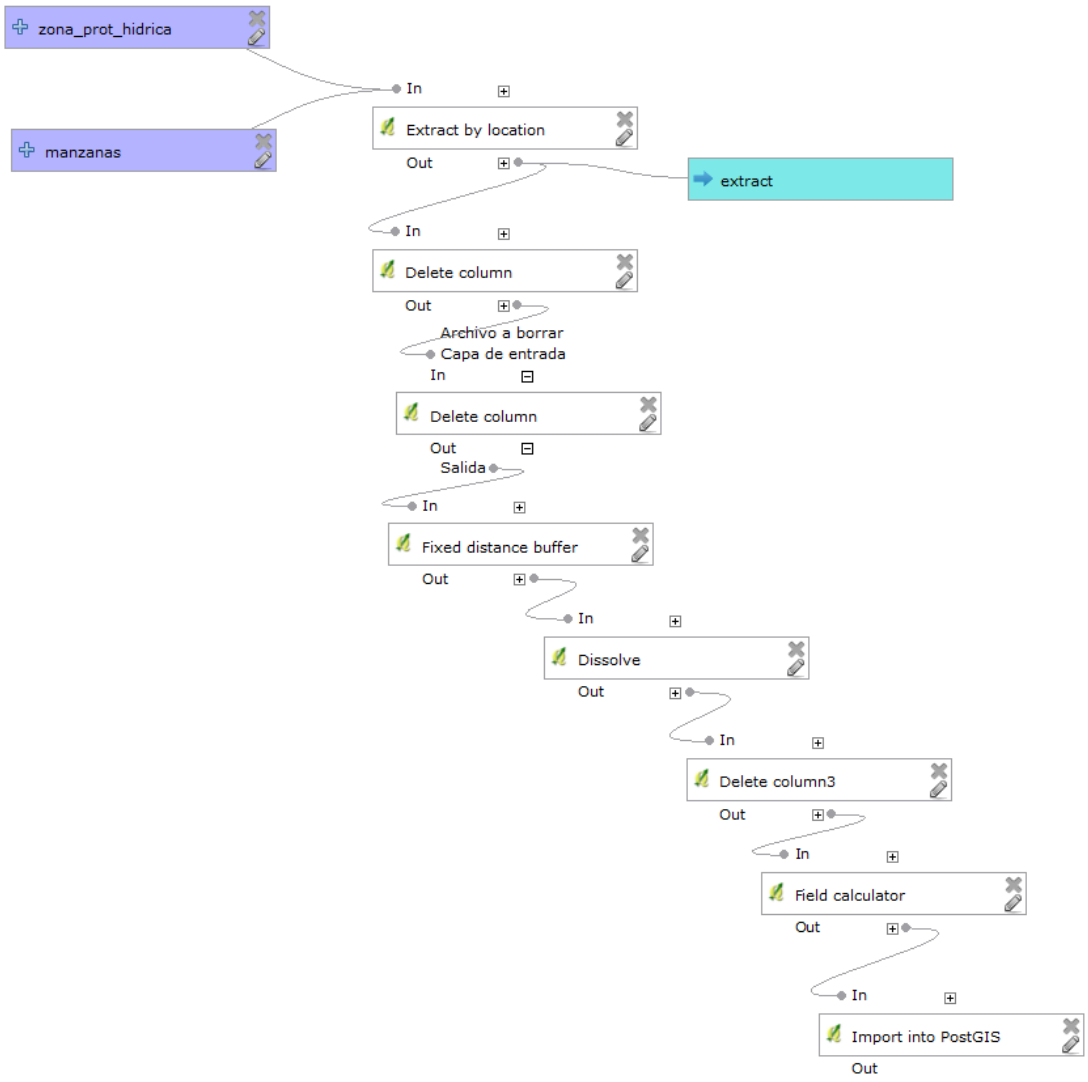
Figura 32: Captura del Modelo 4



Fuente: Autor

5. Área Efectiva en Riesgo de Inundación

Figura 33: Captura del Modelo 5.



Fuente: Autor

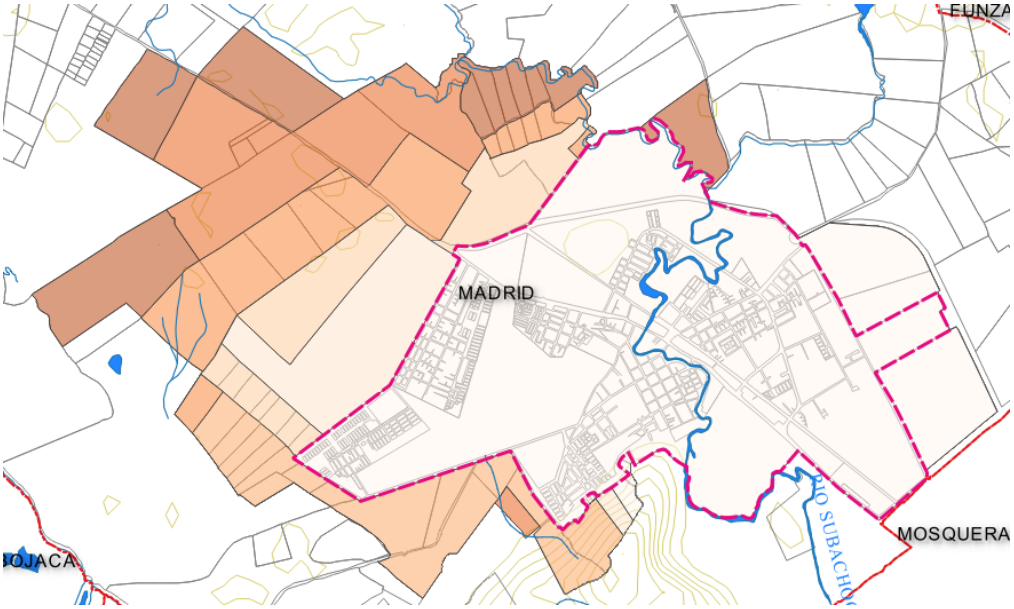
7. RESULTADOS

En primer lugar se evidencia una mejora significativa en el método de almacenamiento de la información, que se pasa de tener múltiples archivos que describen múltiples eventos a una base de datos que puede contenerlos todos sin saturación de recursos, así mismo se ha habilitado la capacidad de realizar consultas sobre la base de datos implementada así como extraer información con mayor eficiencia y facilidad, además el tipo de base de datos implementada permite realizar consultas indirectas y espaciales gracias al grado de normalización y a las relaciones espaciales existentes entre las entidades almacenadas.

También se ha permitido que múltiples usuarios de diferentes dependencias puedan no solo acceder sino también manipular la información de su interés, mejorando el nivel de intercambio de información, al igual se ha mejorado el proceso de actualización cartográfica, pues ahora no es necesario obtener información de toda el área de estudio, sino que se puede obtener información a medida se generen los cambios, permitiendo así que las decisiones sobre la planificación urbana y el ordenamiento territorial sean más certeras y precisas.

Así mismo la integración de las herramientas del SIG con la BDE permite realizar análisis más completos respecto a la expansión urbana, la cual se determinó para el periodo 2020-2050 en intervalos de 5 años, con un crecimiento promedio de 129 hectáreas para todo el periodo, manteniendo una densidad de 9385 hab/Km² correspondiente al presente año, haciendo que para el año 2050 el perímetro urbano haya duplicado su tamaño con respecto al área actual, con una tendencia de expansión mayormente hacia el occidente del municipio, pues los predios rurales de esa área son mayormente de vocación agrícola además de ser compatibles con otros usos como el residencial y el comercial.

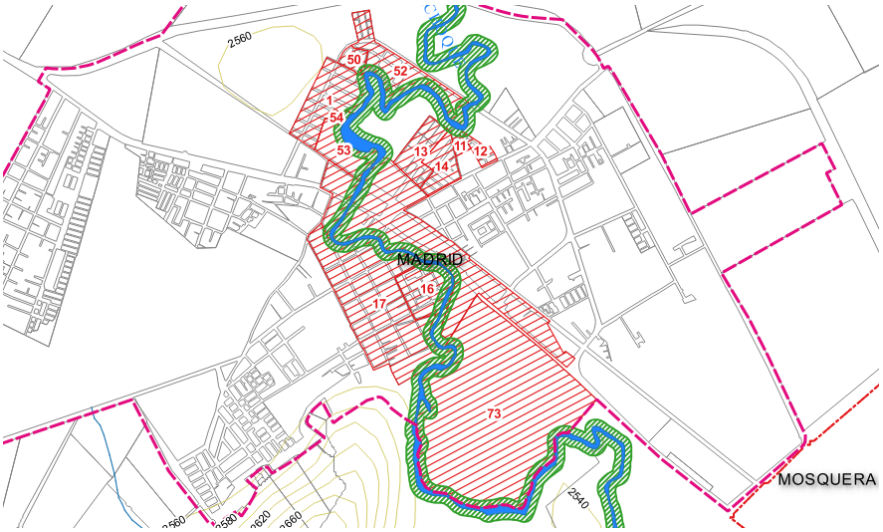
Figura 34: Proyección espacial de la expansión urbana del casco urbano del Municipio de Madrid, Cundinamarca.



Fuente: Autor

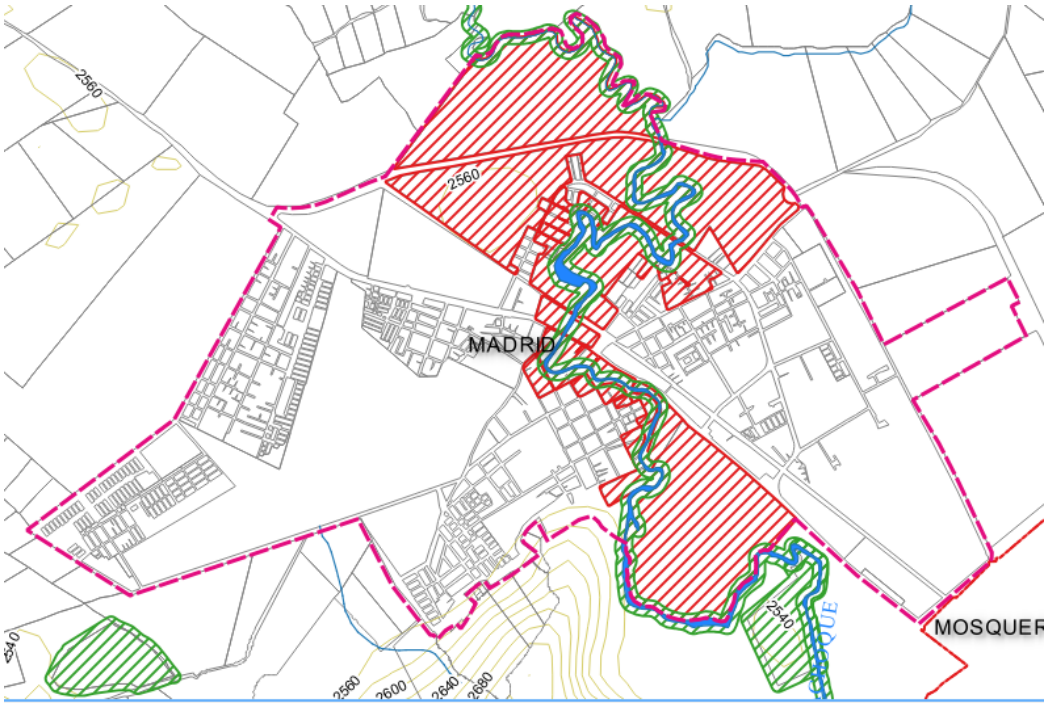
También se determinó que un total de 13 barrios se encuentran en riesgo de inundación a lo largo del curso del Rio Subachoque, dentro de los que se encuentra la Zona Centro y San Francisco donde se concentra la actividad comercial así como las diferentes dependencias administrativas del municipio junto con varias edificaciones de interés histórico, así como un área de aproximadamente 2 Km² dentro del casco urbano, que se intersecta con la zona de protección hídrica del rio.

Figura 35: Barrios en Riesgo de Inundación en el Casco Urbano del Municipio de Madrid, Cundinamarca



Fuente: Autor

Figura 36: Área Efectiva en Riesgo de Inundación dentro del Casco Urbano del Municipio de Madrid.



Fuente: Autor

Asimismo, se delimitó el área de conservación histórica del municipio correspondiente a un área de 196426 metros cuadrados, ubicados principalmente en los barrios San Francisco y Zona Centro.

Figura 37: Limite del Área de Conservación Histórica sobre los Barrios del Municipio de Madrid, Cundinamarca.



Fuente: Autor

Respecto a las salidas cartográficas, se resolvieron errores gráficos que presentaban los mapas de los cuales se extrajo la mayoría de información, el principal de ellos, la ausencia de información sobre el sistema de proyección en el cual esta se hallaba referenciada, así mismo se mejoró su apariencia, pues en la mayoría no se veían claramente elementos como los rótulos de las curvas de nivel y de la grilla principal, mejorándose la armonía de los espacios, también se agregó un mapa auxiliar para apoyar la identificación del área del municipio por parte de usuarios ajenos a este, junto con un rótulo que proporciona mayor y mejor información sobre los mapas.

Se incluyeron dos leyendas, una principal que se halla en el rótulo y otra auxiliar en el área del mapa para distinguir las clasificaciones en casos como la malla vial y los usos de suelo urbano, además se crearon formatos en tamaño pliego y en tamaño carta con especificaciones similares de manera que se mantiene la uniformidad en la presentación de información geográfica.

Asimismo al estar toda la información contenida en un solo directorio, la generación de mapas se agiliza pues no es necesario crear un archivo por cada mapa, sino que cambiando la visualización de capas en el SIG se obtienen diferentes salidas con la información requerida por el usuario.

CONCLUSIONES

El desarrollo del proyecto permitió hallar errores en la información espacial suministrada tanto por la Secretaría de Vivienda, Urbanismo y Ordenamiento Territorial como por parte de la Empresa de Acueducto, Aseo y Alcantarillado de Madrid; en los mapas obtenidos de la Secretaría de Vivienda se aprecian errores gráficos que dificultan el uso e interpretación de los mapas, estos se han resuelto con la implementación de dos formatos para salidas gráficas, tanto en tamaño pliego como en tamaño carta, que al estar integrados directamente en el SIG permite generar salidas graficas de manera eficiente y en diferentes escalas según se requiera sin alterar o modificar la información almacenada, además también se brinda comodidad y versatilidad para los usuarios tanto del SIG como de los mapas que se pueden elaborar con este.

Al migrar la información al SIG se ha estandarizado el formato de almacenamiento de la información, lo cual se venía realizando en archivos de AutoCAD con múltiples capas incluso para un mismo tipo de información, además la información entregada al público se almacena en formato PDF lo que dificulta su uso práctico por parte de terceros, la migración a un formato SIG almacenado en una base de datos espacial ahora permite entregar dicha información en mayor cantidad de formatos sin violar ningún tipo de licencia, mejorando enormemente el intercambio e interoperabilidad de la información, así como la interdisciplinariedad de este pues múltiples entes administrativos pueden hacer uso de la misma información para diferentes fines, en el caso del presente trabajo la Secretaría de Planeación, la Empresa de Acueducto y la Secretaría de Vivienda, del mismo modo el espacio de almacenamiento se reduce enormemente en comparación con otros formatos.

De igual manera, al almacenar la información espacial en una base de datos, estos se protegen de cualquier clase de daño que pueda ocasionar un usuario, manteniendo la integridad de esta, además se almacenó en formato de tablas lo que facilita la edición y actualización de los datos almacenados, agilizando procesos como la actualización cartográfica, la cual es normalmente efectuada de manera tradicional y mediante información suministrada por terceros, ahora se podrá actualizar la información de manera periódica sin recurrir a recursos excesivos para este fin, minimizando los costos para llevar a cabo este proceso; así mismo, se estandarizó la información en sí, pues al almacenarse en forma de tablas se almacenan con ella atributos específicos que poseen formatos y tamaños determinados, además no presentan susceptibilidad de ser interpretados de manera errónea por parte de los usuarios del SIG, debido a la existencia de un diccionario de datos que almacena los metadatos de las entidades almacenadas.

Esta herramienta permitirá a la Administración Municipal planificar de manera inteligente políticas urbanísticas que puedan tener efecto no solo a corto sino a mediano y largo plazo, lo que permitirá a las dependencias administrativas la planificación de obras de infraestructura, normatividades, entre otros en el momento adecuado sin comprometer el desarrollo del municipio, asi como ser más competitivo frente a sus vecinos y frente a otras regiones del país.

Al realizar la proyección de la expansión urbana se encontró que en el año 2050 el área urbana del municipio de Madrid crecerá hasta el doble en comparación con el área urbana actual, así mismo, debido a los tipos de suelo existentes en el área rural se encontró que el crecimiento seguirá su tendencia hacia el occidente en la misma dirección de la vía Bogotá – Facatativá.

El crecimiento poblacional que genera la expansión urbana proyectada hará que la administración municipal lleve a cabo políticas que permitan planificar de manera adecuada tanto espacios, como utilitarios urbanos para cubrir la demanda futura sobre los suelos del municipio, así como proyectos que permitan atender adecuadamente las necesidades de servicios públicos e infraestructura, tanto de transporte como social (Centros de Salud, Centros Educativos, etc.) ante el crecimiento poblacional que experimentará el área urbana.

También se encontró que el área de conservación histórica se halla en una área que presenta un posible riesgo de inundación, por lo que se requiere de políticas que permitan mitigar los posibles daños que se puedan dar en las edificaciones del centro histórico así como para las áreas de desarrollo residencial y consolidación residencial que también se hallan en peligro ante la posible ocurrencia de este fenómeno.

Así mismo, puede decirse que se han cumplido con la totalidad de los objetivos planteados para el desarrollo del trabajo pues se ha creado una herramienta tecnológica de fácil manejo con capacidad prospectiva, que ofrece enormes beneficios para la generación de cartografía, como para la disponibilidad de la información tanto al interior de la Administración Municipal como para el público en general.

Finalmente cabe aclarar que este trabajo ha sido implementado con propósitos académicos, aunque no se descarta que pueda ser implementado de manera definitiva por la administración municipal, en vista de que se aproximan una serie de obras de infraestructura que requieren de la atención adecuada y alrededor de las cuales se puede dar un cambio en las políticas urbanísticas, que pueden ser anticipadas empleando la herramienta desarrollada en este trabajo.

GLOSARIO

Planificación Urbana: Proceso mediante el cual se organiza y proyectan los usos de suelo urbano y acciones urbanísticas en pro de factores medioambientales, sociales, económicos entre otros.

Expansión Urbana: Proceso que sufren los centros urbanos en respuesta a su crecimiento poblacional y demás factores intrínsecos o extrínsecos que afecten sus dinámicas.

Información Espacial: Información que se halla ligada a un sistema de referencia con respecto a la tierra.

Base de Datos: Colección de datos catalogada y almacenada ordenadamente de manera que se facilita su uso.

Base de Datos Espacial: Base de Datos con la capacidad de almacenar y gestionar información espacial.

Datos Raster: Información espacial almacenada en forma de imágenes cuya unidad mínima es el pixel.

Datos Vectoriales: Información Espacial almacenada en forma de puntos, líneas y polígonos, su unidad mínima depende del sistema de referencia.

Sistema de Información Geográfica: Conjunto de herramientas computacionales combinadas con información geográfica.

Normalización: Proceso que se le realiza a las bases de datos para aumentar su confiabilidad y protección así como eliminar redundancias y dependencias innecesarias.

Diccionarios de Datos: Almacén desarrollado para guardar los metadatos de una base de datos.

Buffer: En análisis espacial se le llama buffer al área de influencia de un elemento dada por una distancia específica.

SQL (Structured Query Language): Lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales, que permite especificar múltiples operaciones, emplea algebra y calculo relacional.

Modelo de datos: Descripcion de la realidad que interviene en un problema específico y la forma en que se relacionan los diversos elementos entre sí.

Modelo Entidad-Relación: Herramienta para el modelado de datos que permite representar entidades según relevancia, así como sus relaciones y propiedades.

Modelo Relacional: Modelo de datos basado en lógica de predicados y teoría de conjuntos, emplea principalmente tablas para representar las entidades, cuyos atributos permiten determinar la relación de estos.

Sistema Gestor de Bases de Datos: Software que permite la definición de las bases de datos, así como la elección de la estructura de datos para el almacenamiento y búsqueda de datos bien sea de manera interactiva o a través de un lenguaje de programación.

Código EPSG: Código de identificación de referencia espacial, empleado para identificar de manera global los diversos sistemas de referencia existentes, desarrollado inicialmente por el European Petroleum Survey Group, y actualmente empleado por la OGP, su actualización se realiza de 3 a 4 veces por año.

Sistemas de Coordenadas: Sistema de referencia global o local que cuenta con un punto de origen referido a un elipsoide especifico y en una proyección específica, empleado tanto en la representación cartográfica como para la orientación y ubicación de objetos en un area geográfica determinada.

Metadatos: Conjunto de datos que describen las características intrínsecas de un objeto, permiten la ubicación y la recuperación de datos tanto en servidores de información como en bases de datos.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal de Madrid. (7 de Abril de 2015). *Sitio Oficial del Municipio de Madrid, Cundinamarca*. Obtenido de http://www.madrid-cundinamarca.gov.co/

Andalucia, C. d. (01 de 01 de 2010). *Sistemas de Información Geográfica, tipos y aplicaciones empresariales*. Obtenido de Sistemas de Información Geográfica, tipos y aplicaciones empresariales: http://sig.cea.es/SIG

Baeriswyl Rada, S. (2006). NUEVOS DESAFIOS URBANOS Y NUEVAS HERRAMIENTAS DE PLANIFICACION. *URBANO, 9*, 44-47.

Belgrano, U. d. (s.f.). *Universidad de Belgrano, Catedras de Ingenieria*. Obtenido de Funciones de un SGBD.

DANE, D. A. (2012). *Geoportal DANE*. Obtenido de Descargas Marco Geoestadistico Nacional: http://geoportal.dane.gov.co/geoportal/descarga-mgn

EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Sistema_Gestor_de_Base_de_Datos.

Elaboracion Propia. (2015).

Elmasri, R., & Navathe, S. (2007). *Fundamentos de Bases de Datos 5ta Edición.* Madrid: Pearson Educación S.A.

ESRI. (10 de 10 de 2015). *ArcGIS Resource Center*. Obtenido de http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/#/na/018p00000007000000/

Garcia, H. A. (01 de Septiembre de 2011). *Sistemas de Información Geográficos*. Obtenido de 2. Componentes de un SIG: https://sites.google.com/site/sigarcgis/home/componentes-de-un-sig

Gonzalez, R. (s.f.). *1.1. ¿Qué son las bases de Datos?*

Instituto Geográfico Nacional, E. (s.f.). *Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de Sistemas de Información Geográfica: http://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesSistemaInfoGeografica.do

Lagos Casares, S. (2009). *El Planeamiento Urbano.*

López Montalbán, I., & de Castro Vázquez, M. (2014). *Gestión de Bases de Datos 2da Edición.* Madrid: IBERGARCETA PUBLICACIONES.

Microsoft Corporation. (2015). *Soporte de Microsoft*. Obtenido de Fundamentos de la normalización de bases de datos: https://support.microsoft.com/es-es/kb/283878

Olaya, V. (2012). *Sistemas de Información Geográfica* (Primera ed., Vol. I). Global: Licencia Creative Commons. Obtenido de http://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG

Parrott, F., & Stutz, F. P. (1991). URBAN GIS APPLICATIONS. *Geographical Information Systems*, 247-260.

Pueyo Campos, A. (1991). EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: UN INSTRUMENTO PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN URBANA. *Universidad de Zaragosa*, 175-192.

Ricardo, C. (2009). *Bases de Datos.* Mexico D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V.

Rigaux, P., Scholl, M., & Voisard, A. (2002). *Spatial Databases With Application to GIS.* San Francisco, CA: Elsevier Science (USA).

Silberschatz, A., Korth, H., & Sudarshan, S. (2002). *Fundamentos de Bases de Datos Cuarta Edición.* Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.

UNAD, U. N. (s.f.). *Datateca UNAD*. Obtenido de Bases de Datos: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301330/Contenido_Linea_EXE-1/tipos_de_bases_de_datos_segn_su_estructura.html

Villamil Barrera, L. (24 de Septiembre de 2012). Planificación Urbana. *El Espectador*.

Yeh, A. G.-O. (1999). Urban Planning and GIS. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management 2nd Edition*, 877-888.