UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Implementación de PostGIS sobre la bodega de datos del CDIAC, que permita la espacialización y análisis de los datos ambientales del departamento de Caldas

Vilman Ramiro Rosero Melo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Administración, Departamento de Informática y Computación
Manizales, Colombia
2019

Implementación de PostGIS sobre la bodega de datos del CDIAC, que permita la espacialización y análisis de los datos ambientales del departamento de Caldas

Vilman Ramiro Rosero Melo

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Administración de Sistemas Informáticos

Director (a):

PhD. Néstor Darío Duque Méndez

Línea de Investigación:

Procesamiento y análisis de datos, Inteligencia Artificial
Grupo de Investigación:
Grupo de Ambientes Inteligentes Adaptativos – GAIA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Administración, Departamento de Informática y Computación

Manizales, Colombia

2019

A Dios por su grandeza,
a Mónica, Daniel y Paola
por su apoyo incondicional.

(Espacio para el Acta de Grado)

Agradecimientos

Al profesor Néstor Darío Duque Méndez, quien por su gestión hizo posible que este trabajo se realice.

A los integrantes del grupo de investigación GAIA por su colaboración en todos los requerimientos para la investigación.

Al ingeniero Andrés Herrera por su colaboración y la información brindada.

Resumen

La bodega de datos y el Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC), cumple con la función de almacenar, procesar y poner a disposición del público la información obtenida desde las estaciones de monitoreo, diferentes variables meteorológicas, hidrometeorológicas, pluviométricas y calidad del aire (Li, Pérez, Duque, & Aristizábal, 2016)

La Universidad Nacional de Colombia en convenio con la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CorpoCaldas), desarrollan el proyecto Línea Base Ambiental del Departamento de Caldas, que soporta la integración y análisis de los datos en la bodega de datos, y busca permitir a la población interesada el acceso a los datos y los indicadores generados a partir delos mismos.

Con el fin de fortalecer la gestión ambiental en el territorio, tiene gran interés la dimensión espacial de los datos ambientales y la correcta utilización de técnicas apropiadas al momento de analizarlos y modelizarlos. Este trabajo se orientó en el uso e implementación de software libre para el manejo espacial de la información en la bodega de datos, mediante la selección, procesamiento y análisis de los datos alfanuméricos. Una vez analizadas las fuentes de datos, se realizó un conjunto de procedimientos que respondieron a la metodología para implementar herramientas que permiten espacializar los datos visualizados a través del CDIAC, basándose en la extensión espacial PostGIS del sistema de gestión de base de datos (SGBD) PostgreSQL.

Entre los logros de la implementación de PostGIS están la espacialización de datos desde la bodega y la disponibilidad de herramientas para análisis sobre datos ambientales.

Palabras clave: PostGIS, PostgreSQL, bases datos espaciales, Sistemas de información geográfica, datos ambientales, análisis espacial.

Implementation of postgis about the CDIAC data warehouse, that allows spatialization and environmental data analysis of the department of Caldas

Abstract

The data warehouse and Data Center and Environmental indicators of Caldas (CDIAC), fulfills the function of storage, process and make available to the public the information obtained from monitoring stations, different weather variables, hydro meteorological, rainfall data and air quality (Li et al., 2016).

The National University of Colombia in arrangement with Regional Autonomous Corporation of Caldas (CorpoCaldas), project developer Environmental baseline of department of Caldas, which supports the integration and analysis of data in the storage of data, in addition seek enable the people concerned the data access and the indicators generated from them

In order to reinforce environmental stewardship throughout the region it has great interest the spatial dimension of the environmental data and the correct use of appropriate techniques at the time analyze and model them. This work is meant in the use and software implementation free for spatial management of the information in the storage of data, by selection, process and analysis of data alphanumeric. Once analyzed data sources, was carried out a set of to procedures that respond the methodology so as to implement tools for spatialize the data displayed through CDIAC, on the basis of spatial extend PostGIS of the management system of database (SGBD) PostgreSQL.

Between the achievements of the implementation of PostGIS are the spatialization of data from the storage and the availability of tools from analysis on environmental data's.

KEYWORDS: PostGIS, PostgreSQL, spatial databases, geographic information system, environment data, spatial analysis.

Contenido

Pág.

1. Presentación del trabajo ... 3

1.1 Justificación ... 3
1.2 Problemática ... 5
1.3 Pregunta de investigación ... 9
1.4 Objetivos ... 9
1.4.1 Objetivo general ... 10
1.4.2 Objetivos específicos ... 10
1.5 Metodología ... 10

2. Marco teórico ... 13

2.1 Datos espaciales ... 14
2.2 Bodega de datos ... 14
2.3 Bodega de Datos Ambiental de Caldas ... 15
2.4 Análisis espacial ... 15
2.5 Información Ambiental ... 17
2.5.1 La información Ambiental en Colombia ... 20
2.6 Sistemas de información Geográfica (SIG) ... 22
2.7 Software libre ... 23
2.7.1 Tipos de licencia libres ... 25
2.7.2 Quantum GIS-QGIS ... 26
2.7.3 GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) ... 26
2.7.4 El Open Geospatial Consortium (OGC) ... 27
2.8 Bases de datos ... 27
2.8.1 El administrador de sistemas de bases de datos PostgreSQL ... 27
2.8.2 Bases de Datos Geográficas ... 28
2.8.2.1 Almacenamiento de datos espaciales ... 28
2.8.2.2 PostGIS ... 29
2.8.2.3 ¿Por qué utilizar PostGIS? ... 30
2.9 pgAdmin ... 31

3. Estado del arte ... 33

4. Metodología aplicada ... 39

4.1 Selección y depuración de datos ... 39
4.1.1 Depuración y compilación de la información: ... 40
4.1.1.1 Información No Espacial (Alfanumérica): ... 41
4.1.1.2 Información Espacial ... 43
4.2 Instalación y configuración de PostGIS ... 43
4.2.1 Integración de la Base de Datos con Herramientas y Sistemas de Información Geográfica (SIG) ... 43
4.2.1.1 pgADMIN 4 ... 44
4.2.1.2 QUANTUM GIS (QGIS) ... 47
4.3 Definición e implementación de los elementos de análisis de datos ... 54

4.3.1 Distribución espacial de redes de estaciones Meteorológicas e Hidrometeorológicas del departamento de Caldas 55
4.3.1.1 Redes meteorológicas 58
4.3.1.2 Inventario de las estaciones del departamento de Caldas 58
4.3.2 Análisis de redes meteorológicas e hidrometeorológicas 60
4.3.2.1 Subregiones geográficas 62
4.3.3 Clasificación climatológica según Caldas – Lang del departamento de Caldas con el uso de Sistemas de información Geográfica SIG. 70
4.3.3.1 Clasificación de Caldas 71
4.3.3.2 Clasificación de Lang 71
4.3.3.3 Clasificación Caldas – Lang 72
4.4 Validación del trabajo 77

5. Conclusiones 79

6. Referencias bibliográficas 83

7. Anexos 89

Lista de figuras

Pág.

Figura 1 “Marco de trabajo típico para la construcción de un Data Warehouse. 15
Figura 2 Relación de PostGIS con los SIG. Fuente: www.refractions.net 30
Figura 3 Etapas de la metodología aplicada 39
Figura 4. Vista de la estructura de la bodega de datos con pgADMIN 45
Figura 5. Tablas, vistas, extensiones y funciones que dotan de capacidad espacial una base de datos. 46
Figura 6. Consulta SQL sobre la tabla station_dim. 48
Figura 7. Vista de los campos creados en la tabla station_dim 50
Figura 8. Ventana para añadir una capa de PostGIS a QGIS. 51
Figura 9. Ventana de conexión a la bodega de datos: Elaboración propia 52
Figura 10 Columna geom de la tabla station_dim de tipo espacial. Elaboración propia . 52
Figura 11. Puntos de las estaciones vistas desde QGIS. Elaboración propia 53
Figura 12. Ubicación de las redes de estaciones del departamento de Caldas. Fuente: elaboración propia, 2018 54
Figura 13 Subregiones del departamento de Caldas 57
Figura 14 Inventario de estaciones por entidad. Elaboración propia 59
Figura 15. Inventario de estaciones por categoría. Elaboración propia 60
Figura 16. Distribución de las estaciones en la subregión Magdalena Caldense. Elaboración propia. 63
Figura 17. Distribución de las estaciones en la subregión Alto Occidente. Elaboración propia 64
Figura 18. Distribución de las estaciones en la subregión Alto Oriente. Elaboración propia. 66
Figura 19. Distribución de las estaciones en la subregión Bajo Occidente. Elaboración propia. 67
Figura 20. Distribución de las estaciones en la subregión Centro Sur. Elaboración propia. 68
Figura 21. Distribución de las estaciones en la subregión Norte. Elaboración propia. 69
Figura 22 Clasificación del clima según Caldas-Lang. Fuente: Propia. 75
Figura 23 Precipitación promedio entre municipios 2016-2018. Fuente propia 76
Figura 1 Menú ráster para realizar interpolación 110
Figura 2 *Formulario para diligenciar y establecer la interpolación en QGIS* 111
Figura 3 *Raster de precipitación* 111

Figura 4 *Formulario para temperatura Máxima* 112
Figura 5 *Raster de temperatura Máxima* 113
Figura 6 *Formulario para temperatura mínima* 113
Figura 7 *Raster de temperatura mínima* 114
Figura 8 *Formulario de la calculadora ráster para calcular temperatura media* 115
Figura 9 *Ráster de temperatura media* 116
Figura 10 *Formulario calculadora ráster para calcular factor Lang* 117
Figura 11 *Ráster del factor R de Lang* 117
Figura 12 *Caja de herramienta de procesos GRASS* 119
Figura 13 *Estructura archivo de clima según Lang* Figura 14 *Clases de clima según Lang* 119
Figura 15 *Formulario para reclasificación del ráster factor R_Lang* 120
Figura 16 *Ráster del factor R-Lang* 120
Figura 17 *Estructura txt según clasificación Caldas* 122
Figura 18 *Formulario para obtener clasificación por elevación* 123
Figura 19 *Ráster por elevación* 123
Figura 20 *Formulario para combinar raster de elevación y humedad* 124
Figura 21 *Vectorización del raster para llevarlo a polígono* 125
Figura 22 *Capa resultante de la vectorización* 125
Figura 23 *Tabla de atributos para agregar clasificación Caldas-Lang* 126
Figura 24 *Formulario de SAGA para ejecutar la función Polygon Disolve (by attribute)* 127
Figura 25 *Tabla de atributos para ingresar nombres y símbolos de la clasificación Caldas-Lang* 128
Figura 26 *propiedades de la capa Dissolved para categorizar por colores la clasificación* 129
Figura 27 Capa de la clasificación de Caldas-Lang con sus respectivos atributos 130

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Metodología: Etapas, Objetivos y actividades 11
Tabla 2. Entidades de la bodega de datos 41
Tabla 3. Estaciones suspendidas a la fecha..... 42
Tabla 4. Subregiones y municipios de Caldas con su respectiva área...... 56
Tabla 5 Porcentaje del Análisis curvas de nivel por unidad fisiográfica 61
Tabla 6 Clasificación Climática Caldas. Adaptada:(IDEAM, 2005)..... 71
Tabla 7 Clasificación según Lang. Adaptado de (IDEAM, 2005)..... 71
Tabla 8 Clasificación Caldas - Lang. Adaptado (IDEAM, 2005) 72
Tabla 9 Datos de las estaciones meteorológicas 73
Tabla 1 Clasificación del clima Lang adpatado de Clasificación climática IDEAM 121

Introducción

Más de sesenta millones de registros de variables ambientales del departamento de Caldas Colombia, son almacenados en la Bodega de datos que administrada actualmente el instituto Estudios Ambientales (IDEA) y el Grupo de Ambientes Inteligentes Adaptativos (GAIA), quienes se encargan del soporte y desarrollo de nuevas aplicaciones en el Centro de Datos e Indicadores de Caldas (CDIAC). Almacenar, procesar y poner a disposición del público la información obtenida desde las estaciones de monitoreo, de diferentes variables meteorológicas, hidrometeorológicas, pluviométricas y calidad del aire, es función que cumple la bodega de datos.

Espacializar los datos almacenados en ella, brindará la oportunidad de disponer de toda la información ambiental del departamento de Caldas de manera remota, integrada y centralizada en un mismo estándar geográfico, que facilite a las dependencias de la institución procesar y analizar espacialmente, con el fin de articularla con otros organismos municipales, departamentales y nacionales para la toma de decisiones. Se busca minimizar la redundancia y maximizar la integración y estandarización.

De acuerdo con lo anterior, para el CDIAC se convierte en una necesidad y una oportunidad esencial implementar soluciones gratuitas cuyo núcleo es PostGIS, Quantum GIS, pgAdmin, sobre la bodega de datos, incorporando a la información alfanumérica y geográfica, elementos de un ambiente espacial, de manera organizada, identificada y detallada según el tipo de proceso que facilite la toma de decisiones.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea este trabajo de maestría que tiene como objeto atender las necesidades y oportunidades planteadas, mediante la Implementación de PostGIS sobre la bodega de datos del CDIAC, que permita la espacialización y análisis de los datos ambientales del departamento de Caldas; además, aportará al fortalecimiento del laboratorio de Software Libre, del Departamento de Informática y Computación de la Universidad Nacional de Colombia en la Sede Manizales.

1. Presentación del trabajo

1.1 Justificación

De acuerdo con García y Otálvaro (2009): la información ambiental es un compendio de informaciones alfanuméricas y cartográficas de diversa procedencia, enormemente dependiente de su posición en el terreno. Una buena forma de presentar esta información es mediante el apoyo de mapas bajo soporte digital o en copia papel. Es imprescindible para su planificación y gestión que toda esta información relativa al medio ambiente, esté disponible para estudios y comparativas de los diversos indicadores ambientales. Una gestión ambiental integral debe agrupar el medio ambiente natural (flora, fauna, paisaje, tierra, agua, aire) con el medio ambiente urbano (residuos, vertidos, saneamientos, contaminaciones). Debe ordenar y sistematizar la información, evitando la dispersión y la duplicidad de estudios, tratando de hacerla homogénea y disponible.

El mundo real es representado espacialmente por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una superposición de capas temáticas que utilizan, en el formato vector: líneas, polígonos y puntos para representar los diferentes elementos de cada capa presentes en un área definida. Los atributos de los elementos de cada capa temática se almacenan en una base de datos espacial, que facilita operaciones como consultas y análisis estadísticos, con opciones de visualización y análisis geográficos propios de los mapas, definiendo la topología o relaciones espaciales entre los elementos representados.

En García y Otálvaro (2009) “se representan, no sólo elementos evidentes en un área específica, tales como los ríos, vías, lagunas y centros poblados, sino aquellos que muestran cierta característica del terreno, como las curvas de nivel que representan la topografía y las isolíneas usadas para representar datos como temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Juntas, las capas temáticas dan una visión general del territorio, de tal manera que se pueden analizar relaciones particulares entre ellas, facilitando diferentes perspectivas para los procesos de planificación . Además se estima que el 80% de todo tipo de información tiene un componente espacial. Los datos de la mayoría de las ciencias pueden ser analizados espacialmente” (Molina, López, & Villegas, 2005).

La distribución espacial permite relacionar diferentes disciplinas e integrar el conocimiento científico a ellas, razón por la cual los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son una herramienta eficaz para manejar los datos ambientales del departamento de Caldas, en particular los almacenados en la bodega de datos. Las variables meteorológicas e hidrometeorológicas almacenadas en la bodega y accedidas a través del CDIAC, se representan con datos alfanuméricos y que, a pesar de conocerse las coordenadas de la ubicación de los sensores y estaciones, estos datos no son utilizados para análisis geográfico ni espacial. En este orden de ideas, con la espacialización de las variables mencionadas y, además, con el uso de técnicas dirigidas al análisis espacial, según Madrid y Ortiz (2005), se logrará identificar los componentes del espacio, y utilizar un procedimiento o un conjunto de procedimientos que permitan comprender, en parte, la funcionalidad de algunos de esos componentes espaciales .

Según Madrid y Ortiz (2005):

> “El análisis espacial puede definirse como un momento dentro del proceso investigativo en el que se conjugan una serie de técnicas que

> buscan separar, procesar y clasificar los datos, para contribuir a la búsqueda de respuestas de un problema mayor. Implica descubrir las particularidades de un fenómeno para definir su participación dentro de la globalidad, así, el investigador elige las herramientas a utilizar, para encontrar en sus resultados las relaciones adecuadas para llegar a una visión integral".

De acuerdo con lo anterior, para el CDIAC se convierte en una necesidad y una oportunidad esencial implementar PostGIS sobre la bodega de datos, incorporando a la información alfanumérica y geográficos elementos de un ambiente espacial, de manera organizada, identificada y detallada según el tipo de proceso que facilite la toma de decisiones. Cómo valor agregado el resultado de este trabajo de maestría aportará al fortalecimiento del laboratorio de Software Libre, del Departamento de Informática y Computación de la Universidad Nacional de Colombia en la Sede Manizales.

1.2 Problemática

Desde épocas remotas el análisis y organización de la información con la que cuentan los territorios ha sido un deseo constante en las sociedades. El desarrollo industrial y los avances en todas las esferas del conocimiento suponen un impulso adicional para la adaptación de las tecnologías, desde la década de los sesenta, una serie de innovaciones científicas y tecnológicas conformaron un nuevo paradigma, el cual tiene como fundamento la microelectrónica y la telecomunicación (Rigol-Sánchez, Chica-Olmo, Pardo-Igúzquiza, Rodríguez-Galiano, & Chica-Rivas, 2011). De acuerdo con Lucioni (2013), para el nuevo paradigma, la información constituye tanto el insumo como el producto, lo cual tiene efectos fundamentales en su impacto sobre la sociedad .

En los años sesenta y setenta del siglo pasado, surgieron nuevas formas de utilizar los mapas y la información para la planificación y la valoración de los recursos; posteriormente al observar que las coberturas terrestres y los datos generados a partir de ellas no son independientes, sino que por el contrario guardan algún tipo de relación, se hizo latente la necesidad de evaluar los datos en forma integrada, de acuerdo con esto, la metodología más sencilla para lograr dicha evaluación, era, sin lugar a dudas la superposición de los datos analógicos recopilados en forma de mapas en una mesa para realizar un posterior análisis visual (Bonham-Carter, Cheng, & Wright, 1993).

En la actualidad las organizaciones disponen de técnicas avanzadas para manejar la información espacial, que benefician a las instituciones y empresas tanto públicas como privadas facilitando la toma de decisiones. Dentro de las opciones se puede mencionar los sistemas de información geográfica (SIG) los cuales según Granell, Gould, Manso, & Bernabé (2009) “ son un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para ejecutar de forma coordinada y lógica la captura, almacenamiento, análisis, trasformación y presentación de la información geográfica, tecnología que surge con la necesidad de disponer rápidamente de la información para resolver problemas y responder preguntas de forma inmediata, para proveedores y usuarios en todos los niveles, gubernamentales, institucionales, comerciales, académicos y público en general, de acuerdo con las diferentes escalas empresarial, sectorial, nacional, regional e internacional” .

Estados Unidos, el Reino Unido, Australia y España, son pioneros en la implementación de SIG (Rojas, 2014). De acuerdo con (Departamento Nacional de Planeación - DNP 2009, citado en IGAC, 2010), en Colombia, el problema central de la gestión de la información geográfica es la desarticulación de los procesos de producción, disponibilidad, acceso y uso de la información geográfica a nivel de las entidades del Estado ; y según Rojas (2014):

en la mayoría de los casos la información no se da a conocer, negándose la posibilidad de ser reutilizada en otras actividades, por otra parte, la falta de aplicación de los estándares ocasiona que los datos que se producen difieran en cuanto a plataforma tecnológica, formatos, exactitud, calidad, actualización de la información y documentación de la misma .

En el departamento de Caldas, el Grupo de Trabajo de Hidráulica y Ambiental (GTAHyA) vinculado al instituto de Estudios Ambientales (IDEA), cuenta con un gran número de datos, que son el resultado del monitoreo constante del clima desde hace más de 50 años y del aire desde hace 6 años. Dicha información es administrada actualmente por el Grupo de Ambientes Inteligentes Adaptativos (GAIA), quien se encarga del soporte y desarrollo de nuevas aplicaciones en el Centro de Datos e Indicadores de Caldas (CDIAC) y fundamentalmente de la administración de la bodega de datos que almacena los registros de las variables ambientales de diferentes fuentes externas, para luego organizarlos, transformarlos y convertirlos en una herramienta para el análisis posterior y generación de indicadores.

Para realizar el seguimiento de las diferentes variables ambientales, la Corporación Autónoma Regional de Caldas junto a la Universidad Nacional de Colombia, desarrollan el proyecto Línea Base Ambiental del Departamento de Caldas, en el cual, de acuerdo con Li, Pérez, Duque & Aristizábal (2016) se estructuró una bodega de datos que permite almacenar registros ambientales de diferentes fuentes, los cuales pueden ser visualizados por la población gratuitamente desde la plataforma virtual llamada Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC), el cual cumple con la función de poner a disposición del público la información obtenida desde las estaciones de monitoreo de datos hidroclimatológicos y del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de Manizales.
Las variables ambientales almacenadas en la bodega de datos, son el resultado del desarrollo de proyectos realizados por diferentes instituciones tanto públicas

como privadas y se representan con datos alfanuméricos y que, a pesar de conocerse las coordenadas de la ubicación de los sensores y estaciones, estos datos no son utilizados para análisis geográfico ni espacial. Con el fin de fortalecer la gestión ambiental en el territorio, tiene gran interés la dimensión espacial de los datos ambientales y la correcta utilización de técnicas apropiadas al momento de analizarlos y modelarlos. De acuerdo con Ryel, Caldwell, & Manwaring (1996), Ettema, Coleman, Vellidis, Lowrance, & Rathbun (1998), Stenger, Boada, & Noll (2002), Gallardo, Meave, & García (2005), la distribución espacial es parte fundamental en los estudios de los diferentes factores abióticos relacionados a los distintos organismos . Lo anterior, según Tilman & Kareiva (1997), permite mediante el desarrollo del paradigma espacial, reconocer la importancia del espacio en el funcionamiento del ecosistema.

Cobra importancia estudiar los patrones de comportamiento de los diferentes factores abióticos que intervienen en el ecosistema y así comprender la relación entre ellos, ya que hacen parte de la dinámica y caracterización del espacio (Madrid Soto & Ortiz López, 2005). Esto requiere integrar el conocimiento científico con otras disciplinas y sectores que faciliten y aprovechen el análisis espacial.

La implementación de una Base de Datos Espacial (BDE) integrada y centralizada que permita funciones de procesamiento espacial, trata de minimizar la redundancia y maximizar la integración y estandarización. El análisis de datos y la implementación de nuevas tecnologías trae consigo dificultades que se presentan durante el desarrollo del proceso. La implementación de infraestructuras de datos espaciales es una tarea compleja y de extensa duración, debido a la integración de diferentes tecnologías, servicios y una serie aplicaciones que hacen posible que la información espacial esté disponible y pueda ser accedida por diferentes usuarios (Rodríguez, Asmal & Ramírez, 2011).

Es importante tener en cuenta los posibles inconvenientes que se presentan al momento de espacializar datos con PostGIS, pues esto dará las pautas para corregir los problemas y estructurar las actividades que trae consigo la espacialización de datos. Uno de los inconvenientes para el desarrollo de este tipo de proyectos son los argumentos técnicos, por falta de datos debidamente referenciados ya sea por inconsistencia en la disponibilidad y la calidad de datos de referencia espacial, así como también la falta de estándares y metadatos (Rodríguez et al., 2011). “La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica, está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema y que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real” (Domínguez & Gómez, 2016). Por otro lado, la implementación de un SIG basado en software propietario, genera costos de licenciamiento y actualización y limita las posibilidades de interacción con el código fuente.

1.3 Pregunta de investigación

Una vez planteada la situación encontrada y después de haber realizado la revisión del estado del arte, surge la siguiente pregunta de investigación.
¿Cómo espacializar datos ambientales del departamento de Caldas, almacenados en la bodega de datos y visualizados por el CDIAC, con el uso de software libre?

1.4 Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo general y los específicos, motivados por el problema encontrado.

1.4.1 Objetivo general

Implementar la extensión espacial PostGIS del sistema de gestión de bases de datos PostgreSQL, en la bodega de datos del CDIAC, que permita la espacialización y análisis de los datos ambientales del departamento de Caldas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los datos ambientales a espacializar
- Implementar la extensión espacial PostGIS sobre la bodega de datos del CDIAC
- Aplicar análisis de datos espaciales sobre los datos de la bodega
- Validar la propuesta con expertos del Instituto de Estudios Ambientales (IDEA)

1.5 Metodología

A continuación, se presentan las etapas planteadas, las cuales están asociadas al cumplimento de los objetivos específicos. Además, cada etapa asociada a las respectivas actividades; ver tabla 1:

Tabla 1. Metodología: Etapas, Objetivos y actividades

Etapa	Objetivo	Actividades
Depuración y compilación de la información	Identificar y depurar los datos ambientales almacenados en la bodega de datos del CDIAC para la espacialización y análisis que permita la toma de decisiones	• Identificar las tablas del sistema actual que permitan establecer relación con la base de datos geográfica y ejecutar el proceso de restructuración de la base de datos alfanumérica • Inventariar los datos espaciales (vectoriales, ráster) existentes en la bodega del CDIAC • Analizar datos disponibles e identificar los faltantes lo cual permitirá que el sistema responda a las necesidades de la institución
Instalación y configuración de PostGIS	Implementar y configurar la extensión espacial PostGIS en la bodega de datos del CIDAC y la puesta en marcha de dicho sistema	• Instalar y configurar PostGIS • Adaptación del sistema a nuevas necesidades • Probar la base de datos con la extensión • Probar el nuevo sistema y entregar el sistema para puesta en funcionamiento
Definición e implementación de los elementos de análisis de datos	Probar elementos de análisis para aplicar sobre los datos de la bodega	• Selección de elementos de análisis • Implementación del componente de análisis de datos • Prueba con los datos de la bodega del CDIAC
Validación de la propuesta	Enviar la propuesta al IDEA para la respectiva verificación y análisis de lo expuesto en ella.	• Socializar los análisis realizados con el IDEA

Fuente: Elaboración propia

2. Marco teórico

Keranen & Malone (2018)consideran que:

> El análisis espacial es el aspecto más destacable y fascinante de los SIG. Mediante el análisis espacial, es posible combinar información de muchas fuentes independientes y obtener nuevos resultados aplicando una serie de operadores espaciales. Este conjunto de herramientas extiende sus posibilidades de responder a preguntas espaciales complejas. El análisis estadístico puede determinar si los patrones que se ven son significativos. Es posible analizar varias capas con el fin de calcular la adecuación de un lugar para una actividad específica. Además, el análisis de imágenes permite detectar variaciones con el tiempo. Estas herramientas permiten abordar cuestiones y tomar decisiones cruciales que van más allá del alcance del simple análisis visual .

A continuación, se presentan los conceptos relacionados y más relevantes del tema planteado en el proyecto.

2.1 Datos espaciales

Los datos espaciales representan digitalmente, elementos o fenómenos que suceden en la faz de la tierra o cerca de la misma. Dichos elementos se pueden modelizar mediante modelos de datos Vectoriales y modelos de datos Raster; los datos vectoriales representan formas geométricas como puntos, líneas o polígonos (por ejemplo una casa, una carretera, un bosque, respectivamente); y los datos Raster se caracterizan por la presencia de celdas o cuadrículas, más conocidas como píxeles, en donde cada píxel muestra una cualidad espacial (color, altitud, etc.), (Botella, Camps, & Muñoz, 1989).

2.2 Bodega de datos

Data Warehouse, es un conjunto de datos integrados orientados a una materia, que varían con el tiempo y que no son transitorios, los cuales soportan el proceso de toma de decisiones de la administración (Inmon, 2002), los datawarehouse están implementados mediante procesos de limpieza, integración, transformación, carga y actualización periódica de datos (Duque, Hernández, Pérez, & Espinosa, 2016), ver figura 1.

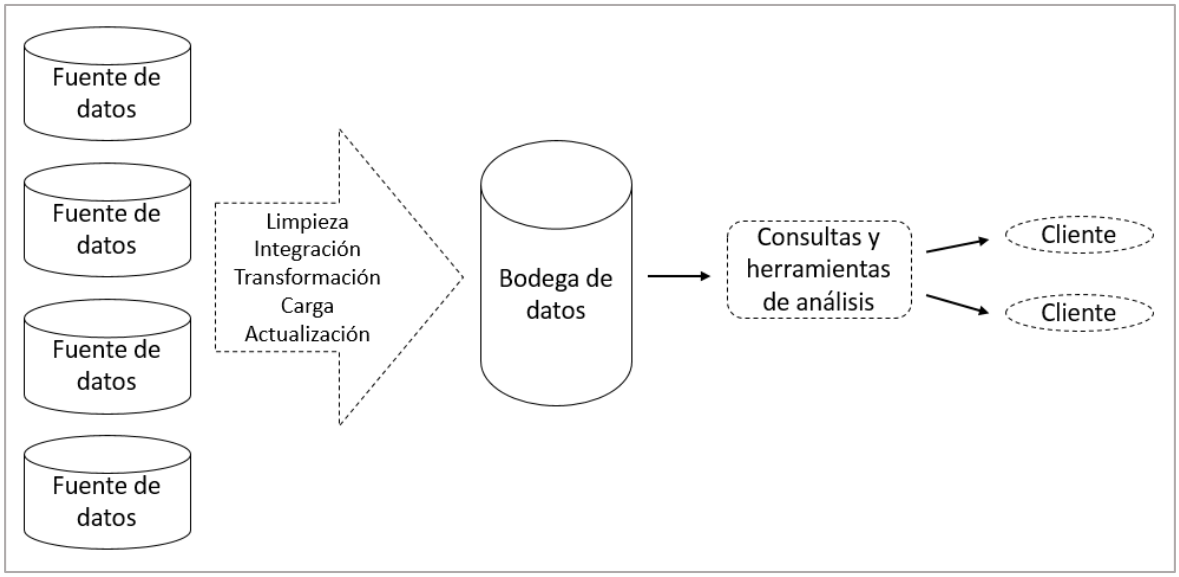


Figura 1 *Marco de trabajo típico para la construcción de un Data Warehouse*.
Fuente: Adaptado de Han, Kamber, y Pei, 2011

2.3 Bodega de Datos Ambiental de Caldas

De acuerdo con Li Ramírez, Perez Zapata, Duque Méndez, & Aristizábal Zuluaga (2016), la bodega de "datos permite disponer de información organizada y de confianza en cualquier momento, también una plataforma de visualización del Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC) que dé a conocer el trabajo realizado y muestre al público la información obtenida para usarse en pro del componente ambiental departamental". Espacializar los datos almacenados en ella, brindará la oportunidad de disponer de toda la información ambiental del departamento de Caldas de manera remota en un mismo estándar geográfico, con el fin de articularla con otros organismos departamentales, nacionales, etc.

2.4 Análisis espacial

Es el conjunto de procedimientos de estudio de los datos geográficos en los que se considera de alguna manera, sus características espaciales (Bosque Sendra, 2000).

Según el Environmental Systems Research Institute-ESRI (2017):

> La mayoría de datos y mediciones se pueden asociar con ubicaciones y, por consiguiente, se pueden representar en un mapa. Con datos espaciales, sabemos a la vez qué hay y dónde está. El mundo real se puede representar mediante datos discretos, almacenados con su ubicación geográfica exacta (llamados datos de entidades) o mediante datos continuos representados por cuadrículas regulares (llamados datos ráster). Por supuesto, la naturaleza de lo que se analiza influye en la forma de representarlo. A menudo, el entorno natural (elevación, temperatura, precipitaciones) se representa mediante cuadrículas ráster, mientras que los elementos construidos (carreteras, edificios) y los datos administrativos (países, áreas censales) tienden a representarse como datos vectoriales. Es posible adjuntar información adicional que describe lo que hay en cada ubicación; información a la que, a menudo, llamamos atributos. En los SIG, cada dataset se gestiona como una capa y se puede combinar gráficamente mediante operadores analíticos (lo que se denomina análisis de superposición). Mediante la combinación de capas con operadores y vistas, los SIG permiten trabajar con las capas para analizar preguntas de importancia crítica y hallar la respuesta a estas preguntas .
>
> Además de la información de ubicación y atributos, los datos espaciales contienen, de forma inherente, propiedades geométricas y topológicas. Las propiedades geométricas incluyen la posición y las medidas, como la longitud, la dirección, el área y el volumen. Las propiedades topológicas representan relaciones espaciales tales como la conectividad, la inclusión y la adyacencia. Utilizando estas propiedades espaciales, se pueden plantear incluso más tipos de

preguntas sobre los datos para obtener perspectivas más certeras. La idea de apilar capas con distintos tipos de datos y compararlas entre sí basándose en la ubicación de los distintos elementos, es el concepto fundamental del análisis espacial. Las capas se entrelazan, en el sentido en que todas están georreferenciadas en el espacio geográfico real .

2.5 Información Ambiental

El significado de medio ambiente, entendido como el conjunto de circunstancias físicas, culturales, económicas, etc., que rodean a las personas y a los seres vios , es fundamental para entender el concepto de información ambiental (Uribe B. C, 2007).

Según el Sistema de información Ambiental de Colombia SIAC (Uribe B. C, 2007):

> "En la Convención de Aarthus (Dinamarca), firmada en 1998 por los países de la Comunidad Europea, se definió como toda información disponible en forma escrita, visual, oral o en cualquier otra forma material y se refiere a:
>
> a) El estado de los elementos del medio ambiente tales como aire, atmósfera, agua, suelo, las tierras, el paisaje y los sitios naturales, la biodiversidad biológica y sus componentes, incluidos organismos modificados genéticamente y la interacción entre ellos.
>
> b) Factores como las sustancias, la energía, el ruido, las radiaciones y las actividades o medidas, las medidas administrativas, los acuerdos relativos al medio ambiente, las políticas, leyes, planes y programas que tengan o puedan tener efectos sobre los elementos del medio ambiente que hace referencia en la parte (a)

supra sobre análisis de costo-beneficio y otros análisis e hipótesis económicas utilizadas en la toma de decisiones en materia ambiental.

c) El estado de la salud humana, su seguridad y sus condiciones de vida, así como el estado de los sitios culturales y de las construcciones en la medida que sean o puedan ser alteradas por el estado de los elementos del medio ambiente o, a través de estos elementos, por los factores, actividades o medidas a que referencia la parte b)".

El Código de Recursos Renovables de Colombia expedido en 1974, incluye los términos recursos naturales y elementos ambientales de manera distintivo. En su artículo 3, se refiere a los siguientes recursos naturales no renovables (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), así:

a.- El manejo de los recursos naturales renovables, a saber:

1. La atmósfera y el espacio aéreo nacional;
2. Las aguas en cualquiera de sus estados;
3. La tierra, el suelo y el subsuelo;
4. La flora;
5. La fauna;
6. Las fuentes primarias de energía no agotables;
7. Las pendientes topográficas con potencial energético;
8. Los recursos geotérmicos; 9. Los recursos biológicos de las aguas y del suelo y el subsuelo del mar territorial y de la zona económica de dominio continental e insular de la República;
10. Los recursos del paisaje;

b.- La defensa del ambiente y de los recursos naturales renovables contra la acción nociva de fenómenos naturales .

c.- Los demás elementos y factores que conforman el ambiente o influyan en él denominados en este Código elementos ambientales, como:

1. Los residuos, basuras, desechos y desperdicios;
2. El ruido;
3. Las condiciones de vida resultantes de asentamiento humano urbano o rural;
4. Los bienes producidos por el hombre, o cuya producción sea inducida o cultivada por él, en cuanto incidan o puedan incidir sensiblemente en el deterioro ambiental.

La información ambiental es un compendio de informaciones alfanuméricas y cartográficas de diversa procedencia, enormemente dependiente de su posición en el terreno. Una buena forma de presentar esta información es mediante el apoyo de mapas bajo soporte digital o en copia papel .

Es imprescindible para su planificación y gestión que toda esta información relativa al medio ambiente, esté disponible para hacer estudios y comparativas de los diversos indicadores ambientales. Una gestión ambiental integral debe agrupar el medio ambiente natural (flora, fauna, paisaje, tierra, agua, aire) con el medio ambiente urbano (residuos, vertidos, saneamientos, contaminaciones). Debe ordenar y sistematizar, evitando la dispersión y la duplicidad de estudios, tratando de hacerla homogénea y disponible (Rayón, GonzáLez, & González, 1999) .

2.5.1 La información Ambiental en Colombia

Según (SIAC, 2006):

> "La problemática de la información ambiental en Colombia se hizo manifiesta durante la preparación y discusión del Proyecto de Ley para reorganizar el sector público ambiental del país. En efecto, la información ambiental se encontraba dispersa entre diferentes autoridades públicas e instancias privadas, de distintos sectores y niveles, sin que respondiera a criterios unívocos y homologables, ni a estándares universales de calidad. Ello incidía en la baja utilización de la información para sus diversos fines potenciales, por cuanto en muchas ocasiones se encontraba abundancia de datos imposibles de clasificar, sin coherencia en las escalas, parciales, incomparables, fragmentarios y muchas veces contradictorios. Lo anterior, pese a que el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y Protección al Medio Ambiente –CRNR– previó, desde 1974, la organización de un sistema de información ambiental ".

Por lo mencionado, se observa la necesidad de realizar acciones institucionales que ayuden a ordenar la planeación, captura, producción, administración, difusión, promoción, acceso y uso de la información ambiental. De manera simultánea, deben proveerse los mecanismos que permitan establecer claridad en las reglas de juego, de manera que se logren aprovechar los últimos desarrollos en informática y en telecomunicaciones para potenciar su uso. La producción de información ambiental debe asegurar el efectivo cumplimiento de la misión institucional de cada entidad, así como un propósito colectivo por suplir la información requerida para la toma de decisiones, en forma de productos de información a partir de datos nuevos capturados o a partir de datos en custodia en las instituciones del Sistema Nacional Ambiental – SINA (SIAC, (García & Otálvaro, 2009) .

De acuerdo con los lineamientos de política de información ambiental para Colombia, los principios sobre las responsabilidades de producción institucional de información ambiental según SIAC (2006) son:

- **Recurso estratégico**. La información ambiental es un recurso estratégico para el desarrollo de la Nación, y su gestión seguirá las directrices dictadas por este conjunto de lineamientos de política y por la política ambiental colombiana.
- **La función social de la información ambiental**. La información ambiental debe cumplir una función social, por lo tanto, debe estar disponible para quien la requiera en las condiciones técnicas para su uso, análisis e interpretación. Así, todas las personas tienen derecho a consultar la información ambiental de las entidades productoras y a que se les expida copia de la misma en caso de no existir mejores mecanismos, siempre que dicha información no tenga carácter reservado conforme a la constitución o a la Ley.
- **La información ambiental es patrimonio de la Nación a través de sus instituciones.** La información ambiental colectada o producida por las entidades del Estado es patrimonio institucional y no será susceptible de enajenación por terceros. Los servidores de las entidades que producen o utilizan información ambiental son responsables de la organización, conservación, uso y manejo de la misma. Los particulares son responsables ante las autoridades competentes por el uso se le pueda dar a la misma.
- **Administración de la información ambiental**. El manejo y el aprovechamiento de la información ambiental responden a la naturaleza de la administración pública y a los fines del

Estado y de la sociedad por lo que su administración es responsabilidad de las entidades públicas o privadas con competencias funcionales de carácter público en la gestión ambiental .

- **Calidad de la información ambiental**. La información ambiental deberá ser manejada por las entidades con criterios homologables y estándares reconocidos de calidad de manera que el potencial de uso por parte de un usuario sea satisfactorio a sus necesidades.
- **Racionalidad de las inversiones**. La información ambiental será manejada con criterios de eficiencia que garanticen racionalidad de las inversiones, máximo retorno a la sociedad y no duplicación de esfuerzos. ·
- **Rigor subsidiario**. Las normas y medidas de gestión de la información ambiental, es decir, aquéllas que las entidades expidan, podrán hacerse sucesiva y respectivamente más rigurosas, pero no más flexibles, por las autoridades competentes del nivel regional, departamental, distrital o municipal, en la medida en que se desciende en la jerarquía normativa .

2.6 Sistemas de información Geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica es la combinación de personas calificadas, datos espaciales y descriptivos, métodos analíticos, software y hardware, todos organizados para automatizar, administrar y entregar información a través de la presentación geográfica (Zeiler, 1999), y de acuerdo con (Bustos Catari, 2012) para el apoyo fundamental en áreas como la planificación ambiental, el análisis espacial, la producción cartográfica digital, entre otras. Tradicionalmente, el

componente software de estos sistemas ha sido con licencia propietaria y entre los más utilizados con este tipo de licencias se cuentan el ArcGis de Esri y el Mapinfo de Pitney Bowes Software Inc. Con la aparición del software libre para computadores personales, algunos programas para desarrollo de SIG comienzan a ser liberados bajo este tipo de licencias y puestos a disposición de la comunidad de usuarios interesados; tal es el caso del programa Grass GIS y más recientemente los programas Quantum Gis y GvSig.

En el campo de las bases de datos estos desarrollos no se han quedado atrás y también se cuenta con Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD), libres confiables y robustos (PGSQL, 2012), como es el caso de PostgreSQL que, conjuntamente con la extensión PostGIS, permite a usuarios y desarrolladores la posibilidad de crear bases de bases de datos espaciales .

2.7 Software libre

Según la Fundación de Software Libre (FSF, 2009), el término hace referencia a la libertad de los usuarios para: ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software. Se refiere a cuatro libertades para usuarios del software (Stallmwan, 2004):

Libertad 0: Usar el programa con cualquier propósito. Se autoriza utilizarlo con cualquier fin, ya sea educativo, social, comercial, etc.

Libertad 1: Tener acceso a su código fuente para estudiar su funcionamiento y adaptarlo a las necesidades específicas de quien lo usa.

Libertad 2: Distribuir copias; es permisible redistribuir el programa a quien queramos.

Libertad 3: Mejorar el programa y hacerlo público. Libertad de hacer mejor el programa (para ello es necesario el código fuente), hacerlo más eficiente y redistribuir dichas mejoras, de modo que se beneficie la comunidad.

Estos son términos que de acuerdo con Osuna (2009), están relacionados con software libre:

- **Open Source Software**, enfatizan en la accesibilidad al código fuente, no en el contexto filosófico de las libertades, por lo cual no es debidamente libre; o sea, todo software libre debe tener su código fuente abierto, pero el Open Source Software no pretende otorgar necesariamente las cuatro libertades.
- **Freeware**: es software propietario gratis, pero su código fuente no es asequible.
- **Shareware**: Son programas propietarios que se distribuyen en versiones demo durante un tiempo límite, con funcionalidades restringidas o con molestos mensajes. El código fuente no es accesible en shareware.
- **Copyleft**: Es software libre cuya licencia obliga a que las modificaciones que se distribuyan sean también libres.

2.7.1 Tipos de licencia libres

En el software libre, tienen un papel importante las licencias, pues allí se plasman las condiciones de uso de los programas. Según Stallman (2004), existen distintos tipos de licencias:

Licencias GNU: Licencia Pública General de GNU (GNU GPL) pretende garantizar la libertad de compartir y modificar software libre para asegurar que el software es libre para todos sus usuarios. Esta licencia se aplica a la mayor parte del software de la Free Software Foundation y a cualquier otro programa si sus autores se comprometen a utilizarla.

Licencia AGPL: es derivada de GNU GPL, diseñada para asegurar la cooperación mancomunadamente en caso que el software se ejecute a través de una red de computadores

Licencias BSD: (Berkeley Software Distribution) licencias donde el autor mantiene la protección de copyright solo para exigir la adecuada atribución de derechos de autor en trabajos procedentes, pero se permite la libre redistribución y modificación, incluso si los trabajos derivados tienen como finalidad convertirse en software propietario.

Licencias MPL: (Mozilla Public License) permiten usar, copiar, modificar y distribuir, con y sin modificación, siempre y cuando sea sin ánimo de lucro. Fomentan la colaboración evitando grandes restricciones de GPL y la gran permisividad de BSD, razón por la que se le conoce como un copyleft débil.

2.7.2 Quantum GIS-QGIS

De acuerdo con Quantum GIS (2018), QGIS es un Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto, fácil de usar, licenciado bajo la Licencia Pública General de GNU. QGIS es un proyecto oficial de la Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Se ejecuta en Linux, Unix, Mac OSX, Windows, Android y admite numerosos formatos y funcionalidades de vectores, ráster y bases de datos. Provee un número cada vez mayor de capacidades proporcionadas por funciones centrales y complementos. Puede visualizar, administrar, editar, analizar datos y componer mapas imprimibles .

2.7.3 GRASS (Geographic Resources Analysis Support System)

Es un software SIG bajo licencia GNU General Public License (GPL). Puede soportar información tanto ráster como vectorial y posee herramientas de procesado digital de imágenes. La combinación de GRASS con QGIS es una solución para el tratamiento digital de imágenes, así como análisis y edición de datos vectoriales. El plugin de **GRASS** en QGIS proporciona acceso a las bases de datos y funcionalidades SIG de **GRASS**, esto incluye (https://grass.osgeo.org/, 2018):

- Herramientas de geoproceso para datos vectoriales.
- Conversión de formatos (ráster a vectorial y vectorial a ráster).
- Herramientas de análisis y extracción para datos ráster.
- Procesado de imágenes de satélite.
- Herramientas de corrección topológica.
- Análisis de redes de transporte.
- Cálculo de cuencas hidrográficas.
- Transformación medidas de rumbo y distancia.
- Visualización de datos en 3D.

2.7.4 El Open Geospatial Consortium (OGC)

La OGC es una organización internacional comprometida con la elaboración de estándares abiertos de calidad para la comunidad geoespacial global. Estos estándares se elaboran a través de un proceso de consenso y están disponibles de forma gratuita para que cualquiera pueda utilizarlos y mejorar el intercambio de los datos geoespaciales del mundo.

Los estándares OGC se utilizan en una amplia variedad de dominios, entre los que se incluyen Medio ambiente, Defensa, Salud, Agricultura, Meteorología, Desarrollo sostenible y muchos más. Los miembros provienen del gobierno, organizaciones comerciales, ONG, organizaciones académicas y de investigación (OGC, 2017).

2.8 Bases de datos

Una base de datos es una colección de información perteneciente a un mismo contexto, almacenada organizadamente en ficheros o archivos. Una base de datos se ordena mediante tablas que almacenan información perteneciente a objetos o sucesos. Dichas tablas se relacionan estableciendo vínculos o relaciones entre ellas, que mantienen la información de manera ordenada y coherente. La estructura de las tablas está dispuesta en filas que almacenan **registros** con tantos **campos** como columnas tenga la tabla (López, Castellano, & Ospino, 2013) .

2.8.1 El administrador de sistemas de bases de datos PostgreSQL

Según el Grupo de Desarrollo Global de PostgreSQL (2017), esta herramienta es un sistema gestor (manejador) de bases de datos objeto-relacional. Desarrollado

por el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Berkeley en California. PostgreSQL fue pionero en muchos conceptos que estuvieron disponibles en algunos sistemas de bases de datos comerciales mucho después .

De acuerdo con su sitio oficial (PostgreSQL, 2017), PostgreSQL implementa las características necesarias para competir con cualquier otra base de datos comercial, con la ventaja de tener una licencia de libre distribución BSD. La migración de bases de datos alojadas en productos comerciales hacia PostgreSQL, facilita, gracias a que soporta ampliamente el estándar SQL. PostgreSQL cuenta con una serie de características, como la herencia de tablas (clases) y, un conjunto amplio de tipos de datos que incluyen arreglos, Binary Large Object Block (BLOB), tipos geométricos y direcciones de red. PostgreSQL incluye también, el procesamiento de transacciones, integridad referencial y procedimientos almacenados.

2.8.2 Bases de Datos Geográficas

Las bases de datos geográficas son una colección de datos organizados que permiten la exportación, modificación, consulta y demás aplicaciones SIG, sobre las entidades que recopilen información tanto espacial como alfanumérica. Un elemento geográfico es, pues, el conjunto de la geometría que lo representa sobre el territorio y los atributos alfanuméricos que describen las propiedades (Botella et al., 1989).

2.8.2.1 Almacenamiento de datos espaciales

Para modelar la realidad, existen esencialmente dos formas:

Almacenamiento Vectorial: los datos espaciales se representan básicamente por medio de tres estructuras básicas, puntos, líneas y polígonos. Los siguientes son los formatos de almacenamiento vectorial según (Botella et al., 1989):

Ficheros CAD (Microstation y AutoCAD)
General Electric Smallworld
ESRI Shapefiles
Geomedia Ware houses
PostGIS
Oracle Spatial

Almacenamiento de datos Raster: caracterizados por la presencia de una red de celdas, cuadrículas o píxeles, en la que cada píxel demuestra una cualidad espacial (color, altitud, etc.). Botella et al. (1989) refieren los formatos para almacenamiento ráster como:

- GeoTiff
- MrSID
- ECW
- Georaster (Oracle Spatial)

2.8.2.2 PostGIS

PostGIS es la extensión espacial del sistema de gestión de bases de datos, PostgreSQL, que permite almacenar objetos geográficos como parte de tablas de datos. Un objeto geográfico es un tipo especial de datos que permite almacenar una ubicación geográfica posición o un conjunto de ellos como un punto, una línea o un polígono. Básicamente, PostGIS es una poderosa herramienta que permite manejar datos geográficos complejos y explorar visualmente estos datos cuando los usa junto con herramientas gráficas, como QGIS, ver figura 2.

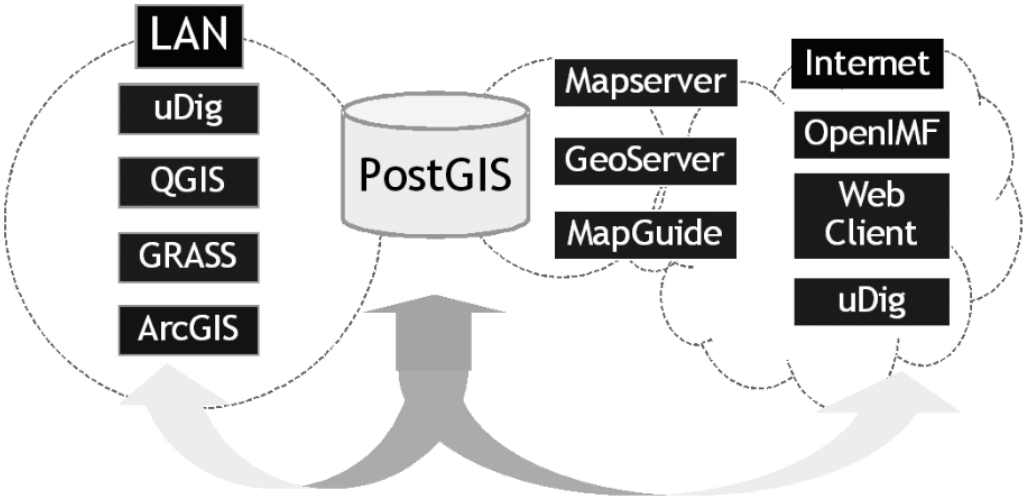


Figura 2 Relación de PostGIS con los SIG. Fuente: www.refractions.net

2.8.2.3 ¿Por qué utilizar PostGIS?

Debido a que está construido sobre PostgreSQL, PostGIS hereda automáticamente sus características, así como los estándares abiertos. Algunas de las características que le hacen único según (Márquez, 2015), son:

> Con licencia GNU General Public License (GPL), es gratuito y una alternativa real al software propietario superándole en estabilidad y rapidez.
>
> Es compatible con los estándares de Open Geospatial Consortium (OGC), con el objetivo de facilitar el intercambio de información geográfica.
>
> Soporta tipos de datos espaciales, índices y tiene cientos de funciones espaciales.
>
> Tiene capacidad para almacenar información topológica.

Tiene capacidades de enrutamiento mediante pgrouting. Esta es una extensión que añade enrutamiento y funcionalidad de análisis de redes a las bases de datos PostGIS/PostgreSQL.

PostgreSQL es una excelente plataforma para PostGIS, por el hecho de que implementa algo llamado Generic Index Structure (GIST), que le permite construir índices en casi cualquier tipo de datos. Dada esta flexibilidad y el hecho de que la estructura de PostgreSQL permite construir funciones personalizadas muy cerca del núcleo.

Tiene a muchas funciones espaciales útiles para buscar, analizar, convertir y administrar datos espaciales.

Permite almacenar varios tipos de geometría en una única tabla.

Permite usuarios concurrentes.

Permite importar y exportar datos fácilmente a través de varias herramientas conversores (shp2pgsql, pgsql2shp, ogr2ogr, dxf2postgis).

Existe un gran número de clientes SIG de escritorio y servidores de mapas web que pueden trabajar con PostGIS:

uDig, QGIS, mezoGIS, OpenJUMP, SpatialKit para ArcGIS, gvSIG, GRASS, ArcGIS, Manifold, GeoConcept,

Actualmente es la base de datos espacial de código abierto más ampliamente utilizada. Muchas y muy variadas organizaciones de todo el mundo usan PostGIS, incluyendo agencias gubernamentales de riesgos adversos y organizaciones que almacenan terabytes de datos y sirven millones de peticiones web al día.

2.9 pgAdmin

Es la plataforma de desarrollo y administración de código abierto más popular y potente en funciones para administrar el gestor de bases de datos PostgreSQL, es la más completa con licencia Open Source. Está escrita en C++ usa la librería

gráfica multiplataforma wxWidgets, lo que permite que se pueda usar en Linux, FreeBSD, Solaris, Mac OS X y Windows. Gestiona a partir de la versión PostgreSQL 7.3, ejecutándose en cualquier plataforma, así como versiones comerciales de PostgreSQL como Pervasive Postgres, EnterpriseDB, Mammoth Replicator y SRA PowerGres. pgAdmin está diseñado para responder a las necesidades de todos los usuarios, desde escribir consultas SQL simples hasta desarrollar bases de datos complejas. La aplicación incluye un editor SQL con resaltado de sintaxis, un editor de código de la parte del servidor, un agente para lanzar scripts programados (https://www.pgadmin.org/, 2018).

3. Estado del arte

En la actualidad las organizaciones disponen de técnicas avanzadas para manejar la información espacial, que benefician a las instituciones y empresas tanto públicas como privadas facilitando la toma de decisiones. A continuación, se presentan trabajos relacionados con la espacialización y análisis de datos ambientales utilizando software libre.

En Viera (2012) se propone: Un modelo de datos espacial para representar cualquier muestra ambiental. El modelo se basó en las familias de normas ISO 5667 (monitoreo de agua) e ISO 19000 (información geográfica), la norma mexicana para el muestreo de suelos NMX-AA-132-SCFI-2006 y las experiencias del laboratorio de ensayos del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), acreditado por la norma cubana NC ISO/IEC 17025:06. Se presenta un modelo conceptual del que se extrapola un modelo lógico para PostgreSQL 9.1 y PostGIS 1.5.

CartoCiudad, es un proyecto que consiste en la obtención de la base de datos oficial de red viaria con estructura topológica de SIG de ciudades y núcleos de población españoles basada en cartografía digital oficial con viales e información textual (Gamo & Manso Callejo, 2005).

Lucioni (2013), discute problemáticas con miras a la integración de datos y experiencias geo-agropecuarias, basado en el análisis del uso de herramientas SIG, el manejo de Software SIG licenciados vs manejo de Software SIG libre o de código abierto; y la necesidad de sistematizar y normalizar las bases de datos

estadísticas y geo-agropecuarias para la implementación de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE).

En el trabajo de Sierra, Merino y Muñoz (s. f.) se propone la producción de una Base Topográfica Nacional 1:100.000 (BTN100) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de España, sobre una base de datos espacial PostGIS, posibilitando un entorno colaborativo con diferentes departamentos, que pueden acceder a los datos mediante cualquier aplicación de información geográfica .

En Rodríguez, Asmal y Ramírez (2011) se presenta el proceso y herramientas utilizadas en la implementación de un SIG para realizar seguimiento a egresados y graduados de la Universidad Politécnica Salesiana, demuestran que se puede construir una aplicación SIG con software libre como PostgreSQL y PostGIS

Crear e integrar los datos geográficos - cartográficos en una única Base de Datos Geográfica, que facilite la gestión de información y proporcione homogeneidad entre datos geográficos es uno de los retos del desarrollo del proyecto en software libre Base de datos geográfica-cartográfica en el Instituto Geográfico Militar del Ecuador con software libre, que potenció las capacidades y aptitudes Institucionales para proyectar nuevas soluciones integrales a futuro, como respuesta a las necesidades del instituto Geográfico Militar del Ecuador (Bravo & Montenegro, 2011). Entre las herramientas utilizadas están PostgreSQL y su extensión espacial PostGIS.

La calidad de los datos espaciales y su importancia para el aprovechamiento de los mismos es el proyecto aplicado a la información almacenada en los Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica (SNEIG) de México el cual busca realizar un marco de referencia para facilitar que los datos sean compatibles e intercambiables (Reyes Cedeño, 2002).

En Bustos Catari (2012) se propone un sistema geomático, siguiendo el Proceso Unificado de Desarrollo de Software, implementado utilizando software libre como alternativa viable al software propietario, también, se evidencian las potencialidades, limitaciones asociadas al uso de las herramientas libres y describe un procedimiento para publicar la información espacial en la web. En lo que respecta a herramientas libres utilizadas, concluye que pueden ser utilizadas en proyectos que manipulen grandes cantidades de información espacial, que deben trabajarse de manera combinada entre ellas, y también demandan el apoyo de otras para lograr los objetivos; esto implica realizar búsquedas profundas en internet, con gran consumo de tiempo. Utiliza herramientas PostgreSQL y su extensión espacial PostGIS, Mapserver, entre otras.

Nguyen (2009) plantea que PostGIS comprende funciones para el análisis básico de objetos SIG y, lo que es más importante, también es compatible con los esquemas de indexación espacial. Los índices son extremadamente importantes para tablas espaciales grandes, ya que permiten la recuperación rápida de registros durante la consulta. PostGIS se utiliza con frecuencia durante el análisis de grandes conjuntos de datos. Para esto realizó experimentos de indexación de bases de datos PostGIS, adoptando el esquema R-Tree-over-GiST (árbol de búsqueda generalizado) y la evaluación del rendimiento de las consultas espaciales indexadas y no indexadas con respecto al tamaño de la base de datos. Dichos experimentos los realizó con datos espaciales obtenidos de ESRI y utilizando la herramienta pgAdmin III, que es un sistema integral de diseño y gestión de bases de datos PostgreSQL. El autor concluye que los resultados experimentales demuestran un aumento aproximadamente lineal en el tiempo de construcción del índice espacial a medida que aumenta el tamaño de las tablas; pero a medida que aumenta el tamaño de la base de datos, el tiempo de procesamiento es mucho mayor si las consultas espaciales no están indexadas. Sin embargo, independientemente del tamaño de la geodatabase, el rendimiento de las consultas espaciales es muy sensible a la elección de los parámetros geométricos a los que hacen referencia las consultas.

En González, Peñarrubia, Higón, Sanz, & Anguix (s. f.) se referencia proyecto aplicando el decreto 3.390, estatuto mediante el cual se dispone que la Administración Pública Nacional de la República Bolivariana de Venezuela empleará prioritariamente software libre desarrollado con estándares abiertos en sus sistemas, proyectos y servicios informáticos, siempre que no se justifique la imposibilidad de su uso todos los componentes del sistema debían tener licencias libres. Los autores manifiestan que el mundo de la geomática libre ha madurado lo suficiente últimamente para considerar que cumple los mismos requisitos que cualquier otra herramienta de pago, superando a estas en más de una parcela. Por tanto, concluido el análisis, se determinó que el proyecto de construcción de la IDE nacional podía ser abordado en todas sus parcelas con tecnología 100% libre. Las herramientas utilizadas son gvSIG como cliente SIG-IDE avanzado, PostgreSQL+PostGIS como base de datos espacial, MapServer y Geoserver como servidores de mapas , entre otras.

Ponce (2008) propone desarrollar una herramienta que facilite el análisis de datos estadísticos asociados al PTMB (Plan territorial metropolitano de Barcelona), de manera que se puedan extraer conclusiones concretas. En esta propuesta se realiza un análisis de las herramientas comerciales y las de tipo libre, decidiéndose por las ultimas que en su mayoría ofrecen el mismo rendimiento que las comerciales como es el caso de MapServer, PostgreSQL+PostGIS".

En el trabajo de García & Otálvaro (2009) plantean una alternativa para estructurar sistemáticamente la información ambiental relacionada con el uso y manejo de los recursos naturales y con las comunidades que dependen de estos para su desarrollo. Proponen un modelo que soporta la gestión de organizaciones ambientales, a partir de un estudio de caso en la Corporación de Estudios, Educación e Investigación Ambiental – CEAM, ubicada en el Oriente Antioqueño.

Se obtuvo el Modelo de Datos Geográfico, diseñado bajo el modelo Geodatabase, elaborado de forma participativa con los asociados y directivos de la Corporación CEAM. Según los autores, este modelo puede ser implementado en otras organizaciones adaptando previamente a sus necesidades el Diccionario de Datos y el Diagrama .

En Gomariz Castillo, Moreno Brotons, Cánovas García, & Sarría (s. f.) se plantea un Sistema de Información para el Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente de la Universidad de Murcia y el Instituto Euro mediterráneo del Agua, un sistema de información con un marcado carácter espacial, consistente en el diseño e implantación física de una estructura corporativa capaz de dar solución a aspectos tan heterogéneos como herramientas, datos y soluciones adoptadas, así como evitar que aparezcan problemas de duplicidad en cuanto a datos o programas y escasa congruencia en los formatos de datos, características en torno a una Base de Datos Espacial (BDE) integrada y centralizada que permita todas las funciones de procesamiento espacial que las diferentes unidades y personas de las organización requieran . Este proyecto se realizó con software libre entre ellos PostgreSQL+PostGIS.

En la revisión de literatura, se evidencian trabajos enfocados en la implementación de sistemas de información geográfico, que utilizan software libre, y reportan que en su mayoría ofrecen el mismo rendimiento que las opciones comerciales. El sistema de gestión de bases datos PostgreSQL y la extensión espacial PostGIS son las más utilizadas en gran parte de los proyectos, debido a que PostgreSQL implementa las características necesarias para competir con cualquier otra base de datos comercial, con la ventaja de tener una licencia de libre distribución BSD. PostgreSQL cuenta con una serie de características atractivas, como son la herencia de tablas (clases) y, un conjunto amplio de tipos de datos que incluyen arreglos, Binary Large Object Block (BLOB), tipos geométricos y direcciones de red; incluye también el procesamiento de transacciones, integridad referencial y procedimientos almacenados (Bustos, 2012). Por otro lado, PostGIS es una

poderosa herramienta que permite manejar datos geográficos complejos y explorar visualmente estos datos cuando los usa junto con herramientas gráficas (Márquez, 2015).

Como se aprecia, en la revisión realizada, las herramientas de software libre se han convertido en una opción para gestionar la información en el territorio, manteniendo las condiciones de desempeño y confiabilidad. Pero su implementación requiere de habilidades y conocimientos para la gestión de los sistemas que lo soportan y lograr su aplicación en el problema específico planteado.

4. Metodología aplicada

El trabajo se desarrolló cumpliendo las etapas de la metodología que observa en la figura 3.

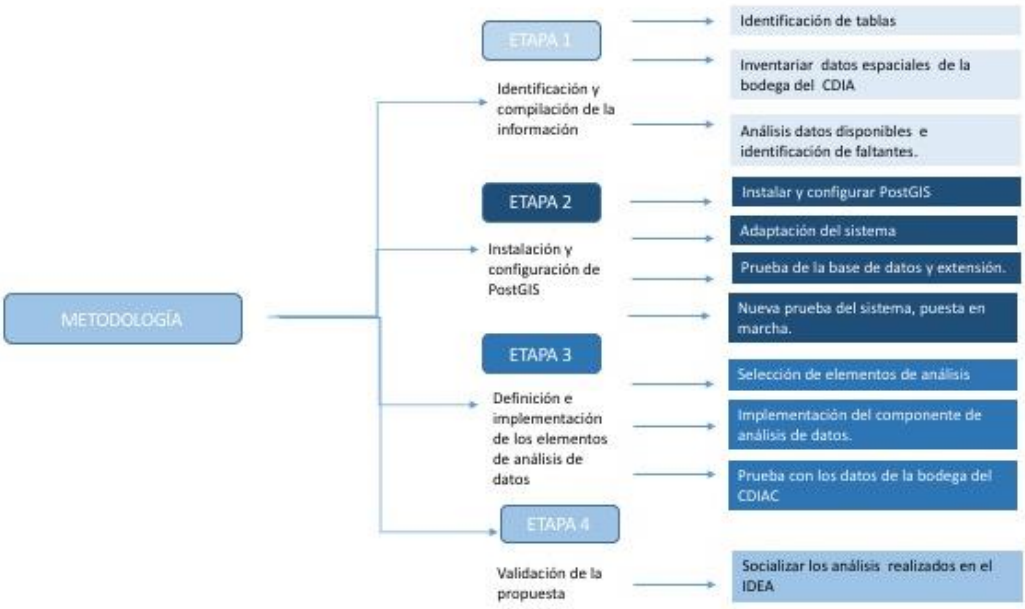


Figura 3 Etapas de la metodología aplicada

Fuente: elaboración propia

4.1 Selección y depuración de datos

La gran cantidad de datos obtenidos de las diferentes estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas están almacenados en una bodega de datos

multidimensional con modelo en estrella centralizada, que fue diseñada para el almacenamiento de datos estructurados (Duque Méndez, Orozco Alzate, & Vélez, 2014; Duque, Vélez Upegui, Orozco Alzate, & Aristizabal Zuluaga, 2015).

La Bodega de datos cuenta con más de sesenta millones de registros de las variables ambientales del departamento de Caldas, almacenados en la tabla fact_table y administrada actualmente por el instituto Estudios Ambientales (IDEA) y el Grupo de Ambientes Inteligentes Adaptativos (GAIA), quien se encarga del soporte y desarrollo de nuevas aplicaciones en el Centro de Datos e Indicadores de Caldas (CDIAC).

Las variables meteorológicas e hidrometeorológicas almacenadas en la bodega y que son visualizados a través del CDIAC, se representan con datos alfanuméricos.

La plataforma de la Bodega de Datos Ambientales de Caldas está alojada en un servidor con sistema operativo Debian 9.3 y motor de base de datos PostgreSQL 9.3. Para el tratamiento de los datos de partida se utilizó la interface gráfica PgAdmin4 que soporta todas las características de PostgreSQL y facilita la administración de la misma.

4.1.1 Depuración y compilación de la información:

La bodega de datos, contiene 30 tablas (ver tabla 2), de las cuales 28 tienen registros, aunque con algunos campos incompletos y 2 no contienen ningún registro correspondiente a tabla central y tabla variables_aire.

Tabla 2. Entidades de la bodega de datos

Nombre_tabla	Nombre_tabla	Nombre_tabla
Central *	**Rol**	**variables_aire ***
centralaire	**indicador_aire**	**variable**
confiabilidad	**inventory_fact**	**tipo_indicador**
confiabilidad_aire	**Observaciones**	**usuario**
correcciones	**Indicador**	**basedatos**
date_dim	**source_dim***	**Tablas**
fact_aire	**station_dim**	**estacion**
fact_table	**Tablasxvariable**	**estacion_indicador**
groundwater_fact	**time_dim**	**esta_var**
historial_correccion	**variables**	**rol_usuario**
***Sin datos**		

Fuente: Elaboración propia, 2018

4.1.1.1 Información No Espacial (Alfanumérica):

En su totalidad, los datos almacenados en la bodega son alfanuméricos. Existen campos sin registros de los objetos identificados para el proceso de espacialización, lo cual implica obtener los datos para completar los campos.

Los datos ambientales almacenados en la bodega, corresponden a variables como evapotranspiración, velocidad y dirección del viento, presión barométrica, radiación solar, humedad relativa, precipitación, temperatura nivel y caudal las cuales provienen de 171 estaciones meteorológicas, hidrometeorológicas, de calidad del aire, sísmicas y de aguas freáticas, dispuestas en el departamento de Caldas y que pertenecen a entidades como CORPOCALDAS, la Federación Nacional de Cafeteros, la Gobernación de Caldas, la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC),

la Alcaldía de Manizales, La Universidad Nacional de Colombia, la Corporación Regional de Risaralda (CARDER) y la Empresa Metropolitana de Aseo (EMAS). Del total de estaciones, 22 pertenecen a la Federación Nacional de Cafeteros, quienes administran la información, a la cual no tiene acceso el CDIAC desde el año 2010, y una a CORPOCALDAS (ver tabla 3). De las 171 estaciones, 12 no contenían datos de longitud y latitud que en su mayoría corresponden a estaciones de tipo Aguas freáticas. Sin embargo, dichas estaciones pueden ser incorporadas una vez se actualice la información de ubicación geográfica.

Tabla 3. Estaciones suspendidas a la fecha

Estación	Red	Tipología	Propietario	Incio_Fun	Suspendida
CENICAFE	CENICAFE	M	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1942	31/08/2008
LA DIVISA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/05/1992	31/12/2007
LA FRANCIA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1977	31/08/2008
LA ROMELIA	CENICAFE	PG	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1994	31/12/2007
LA SIERRA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1988	31/12/2007
LOS POMOS	CENICAFE	PM	Federación Nacional de Cafeteros	01/02/1992	30/04/2008
MORAVO	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/04/1996	31/12/2007
NARANJAL	CENICAFE	CP	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1956	31/01/2009
AGRONOMIA	CENICAFE	CP	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1956	31/12/2010
ALMACAFE	CENICAFE	CP	Federación Nacional de Cafeteros	01/05/2000	31/12/2007
JAVA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/10/1980	31/10/2007
LA FLORA	CENICAFE	PG	Federación Nacional de Cafeteros	01/07/2000	31/07/2007
LA SELVA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1985	31/08/2007
LAS COLINAS	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/05/1991	31/12/2007
PLANALTO	CENICAFE	CP	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1994	31/12/2007
SANTA TERESA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/07/1991	31/07/2007
SANTA TERESITA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/05/1989	31/07/2007
REPETIDORA EL RECREO	CALDAS	R	Corpocaldas	01/01/1970	31/12/2008
GRANJA LUKER	CENICAFE	CP	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1964	31/12/2008
LA ARGENTINA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1986	31/12/2008
LA MARGARITA	CENICAFE	PG	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/2000	31/12/2007
SANTA ANA	CENICAFE	PV	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1994	31/08/2006
SANTAGUEDA	CENICAFE	R	Federación Nacional de Cafeteros	01/01/1964	28/02/2009

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2 Información Espacial

La tabla station_dim contiene campos geográficos de longitud y latitud en coordenadas geográficas, los cuales representan un punto en el mapa y que pueden ser el objeto de espacialización. Estos datos presentan el inconveniente que tanto el punto cardinal como los grados, minutos y segundos (N 5Â° 6' 55,59''; "4Â° 59"" 35.47"") se encuentran en el mismo campo o falta el indicador de cardinal, comillas dobles para el dato de minutos, etc., lo cual dificulta la depuración y procesamiento al momento de espacializarlos.

Para este caso, en una hoja de cálculo se utilizó la función relleno rápido para separar los grados, minutos y segundos en filas individuales, se revisó que los datos correspondan a cada campo y se armó un archivo de texto para volcarlos a la base de datos.

4.2 Instalación y configuración de PostGIS

PostGIS es una herramienta gratuita de código abierto que permite almacenar y gestionar información espacial, en el motor de base de datos de PostgreSQL. La instalación se describe en el Anexo 1. Instalación de PostGIS.

4.2.1 Integración de la Base de Datos con Herramientas y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Para integrar la bodega de datos con las herramientas necesarias en un SIG, se realizó la conexión entre la base de datos de PostgreSQL con pgAdmin4, interfaz gráfica para el tratamiento de los datos de partida que facilita la administración de la misma y Quantum GIS (QGIS), plataforma libre que posee funcionalidades como

consulta espacial, superposición, herramientas de análisis como buffer, entre otros, para la implementación de un SIG. Por otro lado, se agregó PostGIS Builder, complemento que permite consultas espaciales que incluyan más de dos entidades y pensando que a futuro se incorporen datos Ráster para realizar simulaciones en diferentes campos, como crecimiento urbano ente otros.

4.2.1.1 pgADMIN 4

pgADMIN es la plataforma de desarrollo y administración de código abierto más popular y potente en funciones para PostgreSQL, incluye una interfaz gráfica, una herramienta de consulta SQL, un depurador de código de procedimiento, etc. La herramienta está diseñada para responder a las necesidades de desarrolladores, administradores de bases de datos y administradores de sistemas («pgAdmin - Herramientas PostgreSQL», 2019). La instalación de esta herramienta se describe en el Anexo 2.

Después de la instalación de PostGIS, la activación de las respectivas extensiones (ver figura 4) y la instalación de pgADMIN (ver Anexo 2), se gestionó la bodega de datos aprovechando la interfaz gráfica provista.

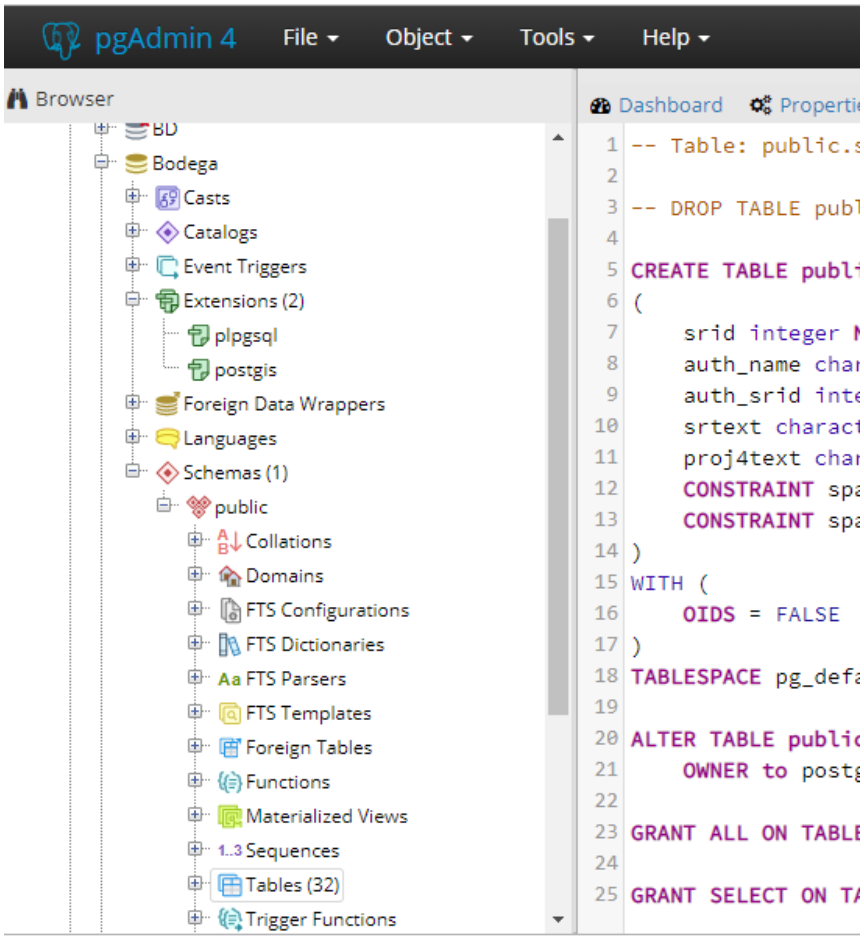


Figura 4. Vista de la estructura de la bodega de datos con pgADMIN
Fuente: elaboración propia

Después de la instalación de pgADMIN, observamos que aparece una nueva tabla: spatial_ref_sys, numerosas funciones, vistas como geometry_columns en el esquema public y extensiones en la base de datos, ver figura 5.

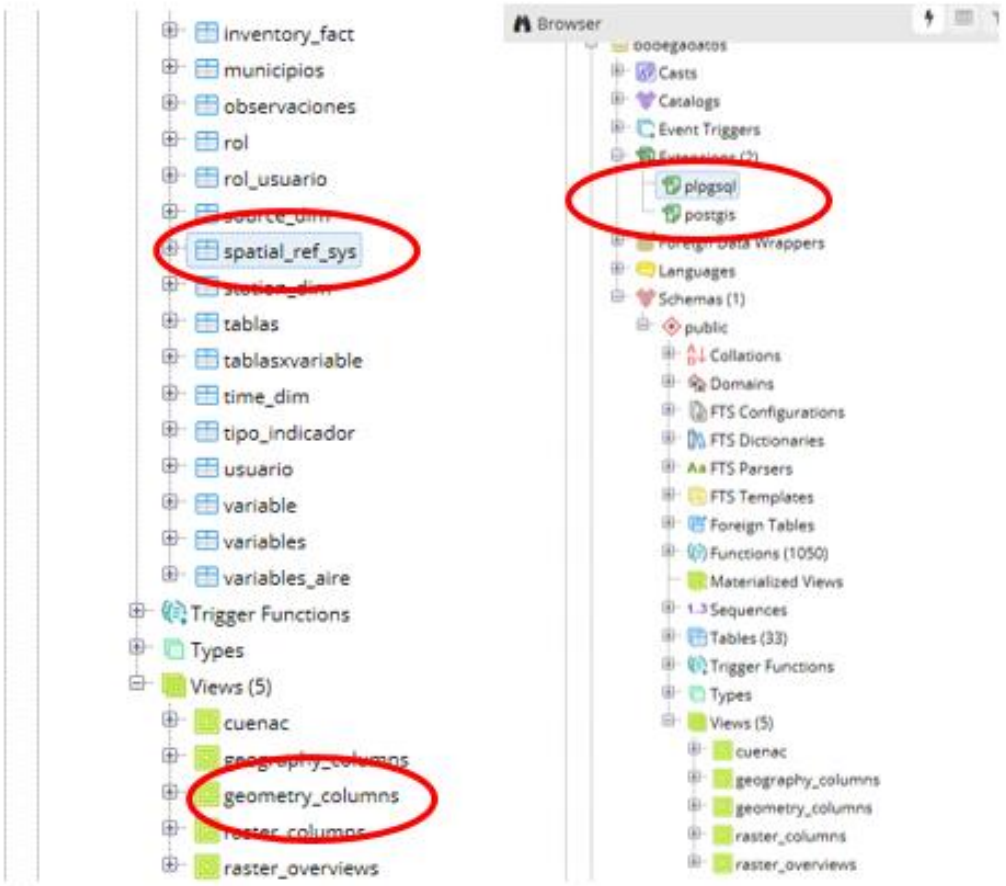


Figura 5. Tablas, vistas, extensiones y funciones que dotan de capacidad espacial una base de datos.

Elaboración propia

La vista **geometry_columns** es un catálogo de las columnas espaciales existentes en la base de datos. Como PostGIS no utiliza tipos de datos espaciales de PostgreSQL, busca la forma de identificar qué campo contiene geometrías. Esto se hace de manera estándar (OGC) conservando un catálogo con la lista de columnas espaciales existentes. Cuando un SIG, como QGIS, intente identificar las tablas espaciales existentes en la base de datos irá a la tabla **geometry_columns** y verá referencias a las tablas que contienen datos espaciales, razón por la cual se debe mantener actualizada. La tabla **spatial_ref_sys** contiene una lista con los

sistemas de referencia disponibles. De esta manera, ya se tiene la base de datos espacializada (Garcia & Arevalo, 2012).

4.2.1.2 QUANTUM GIS (QGIS)

QGIS es un Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto, fácil de usar, licenciado bajo la Licencia Pública General de GNU, admite numerosos formatos como vectores, ráster y funcionalidades como bases de datos. Provee enormes capacidades proporcionadas por funciones centrales y complementos. Es posible visualizar, administrar, editar, analizar datos y componer mapas imprimibles (QGIS, 2019a). En el Anexo 3 se detalla su instalación.

Después de la integración de la base de datos con las herramientas del SIG se procede a gestionar los datos ambientales del departamento de Caldas.

Con el uso de la consola de SQL se revisaron las diferentes entidades que componen la base de datos de la bodega. La tabla station_dim almacena datos de las estaciones como código, nombre, altitud, propietario, longitud y latitud y en estos últimos encontramos grados, minutos y segundos los cuales nos indican la ubicación de dichas estaciones en el departamento. Desde SQL se realiza la siguiente consulta sobre la tabla station_dim específicamente sobre los campos latitud y longitud:

```
select s.estacion_sk, s.estacion, s.latitud, s.longitud
from station_dim s
```

El resultado se muestra en la figura 6.

SQL Editor | Graphical Query Builder

Previous queries

```
select s.estacion_sk, s.estacion, s.latitud, s.longitud
from station_dim s
```

Output pane

Data Output | Explain | Messages | History

	estacion_sk integer	estacion character varying(255)	latitud character varying(20)	longitud character varying(20)
1	21	CHEC-URIBE	N 5° 3' 6,95''	W 75° 32 6,14
2	76	LICEO ISABEL LA CATÓLICA		
3	143	EST-05 - AuditorioUN		
4	5	MARULANDA - EL PÁRAMO	N 5° 18' 03,3''	W 75° 20' 58,3''
5	6	QUEBRADA TESORITO	N 5° 2' 15,9''	W 75° 26' 3,26''
6	7	QUEBRADA OLIVARES- EL POPAL	N 5° 3' 53,8''	W 75° 28' 38,0''
7	8	RÍO GUACAICA- CHEC	N 5° 8' 23,3''	W 75° 29' 59,1''
8	200	MOLINOS		
9	9	RÍO GUACAICA- EL JORDAN	N 5° 6' 35,5''	W 75° 39' 30,44''
10	10	RÍO PENSILVANIA - MICROCENTRAL	N 5° 23' 6,4''	W 75° 8' 5,9''
11	206	SUPÍA- BOMBEROS		
12	11	RÍO POZO	N 5° 26' 43,7''	W 75° 33' 35,7''
13	12	RÍO RIOCLARO- LA GUAYANA	N 4° 57' 2,23''	W 75° 30' 37,37''
14	210	Q. Rosario Autopistas		
15	17	MANZANARES	N 5° 15' 40,1''	W 75° 9' 14,2''
16	22	EL CARMEN	N 5° 3' 41,4''	W 75° 31' 11,2''
17	23	EMAS	N 5° 4' 49,42''	W 75° 30' 32,19''
18	24	LA NUBIA	N 5° 1' 44,1''	W 75° 28' 20''
19	25	HOSPITAL DE CALDAS	N 5° 3' 46,6''	W 75° 30' 2,1''
20	26	INGEOMINAS	N 5° 4' 17,2''	W 75° 31' 27,5''
21	27	LA PALMA	N 5° 5' 45,5''	W 75° 31' 45,9''

Figura 6. Consulta SQL sobre la tabla station_dim.

Fuente: Elaboración propia, 2018

En el resultado de la consulta, se observa la estructura de los datos almacenados en los campos latitud y longitud. Estos datos son alfanuméricos y se deben procesar para convertirlos en grados decimales y posteriormente espacializarlos. Para esto, en una hoja de cálculo se separan grados, minutos y segundos en celdas individuales y se aplica la ecuación (1) para la conversión, dicho procedimiento se describe en el Anexo 4.

$$DD = \left(\frac{Seconds}{360}\right) + \left(\frac{minutes}{60}\right) + Degress \qquad (1)$$

Para almacenar los valores de las coordenadas convertidas en grados decimales en la base de datos, se crearon o adicionan los campos **long** y **lat,** como se muestra en la Figura 6, en la tabla *station_dim* mediante las siguientes sentencias SQL:

alter table station_dim add column long double precision;
alter table station_dim add column lat double precision;

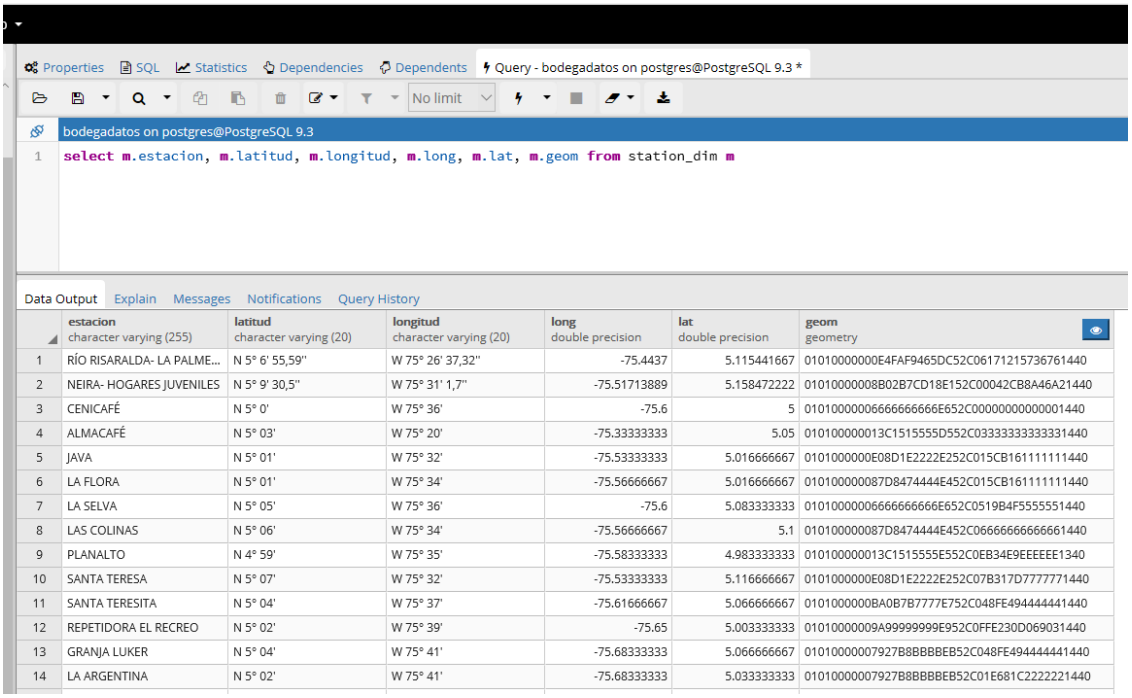
Los valores en grados decimales, se insertaron o volcaron sobre la tabla *station_dim* más exactamente en los campos creados anteriormente, para cada una de las estaciones mediante la siguiente instrucción SQL:

update station_dim set lat=5,29955556 where estacion_sk=1;
update station_dim set lat=5,139805556 where estacion_sk=8;
update station_dim set lat=5,109861111 where estacion_sk=9;
update station_dim set lat=5,385111111 where estacion_sk=10;
update station_dim set lat=5,445472222 where estacion_sk=11;
update station_dim set lat=4,90619444 where estacion_sk=12;
update station_dim set lat=5,208972222 where estacion_sk=13;
commit;

Como la bodega de datos es alfanumérica, se creó una columna de geometría (ver Figura 7) sobre la tabla *station_dim* para que se puedan consultar las tablas con información espacial con algún Sistema de Información Geográfica (SIG) cliente. Para agregar un campo de geometría se utiliza la función **AddGeometryColumn** de PostGIS.

ALTER TABLE public.station_dim ADD COLUMN geom geometry;

Al utilizar ésta función, los datos automáticamente quedan registrados en la tabla **geometry_columns** creada al instalar PostGIS y quedar visibles desde un SIG como QGIS.



	estacion character varying (255)	latitud character varying (20)	longitud character varying (20)	long double precision	lat double precision	geom geometry
1	RÍO RISARALDA- LA PALME...	N 5° 6' 55,59"	W 75° 26' 37,32"	-75.4437	5.115441667	01010000000E4FAF9465DC52C06171215736761440
2	NEIRA- HOGARES JUVENILES	N 5° 9' 30,5"	W 75° 31' 1,7"	-75.51713889	5.158472222	01010000008B02B7CD18E152C00042CB8A46A21440
3	CENICAFÉ	N 5° 0'	W 75° 36'	-75.6	5	0101000000666666666E652C00000000000001440
4	ALMACAFÉ	N 5° 03'	W 75° 20'	-75.33333333	5.05	010100000013C1515555D552C03333333333331440
5	JAVA	N 5° 01'	W 75° 32'	-75.53333333	5.016666667	0101000000E08D1E2222E252C015CB161111111440
6	LA FLORA	N 5° 01'	W 75° 34'	-75.56666667	5.016666667	010100000087D8474444E452C015CB161111111440
7	LA SELVA	N 5° 05'	W 75° 36'	-75.6	5.083333333	0101000000666666666E652C0519B4F5555551440
8	LAS COLINAS	N 5° 06'	W 75° 34'	-75.56666667	5.1	010100000087D8474444E452C06666666666661440
9	PLANALTO	N 4° 59'	W 75° 35'	-75.58333333	4.983333333	010100000013C1515555E552C0EB34E9EEEEEE1340
10	SANTA TERESA	N 5° 07'	W 75° 32'	-75.53333333	5.116666667	0101000000E08D1E2222E252C07B317D7777771440
11	SANTA TERESITA	N 5° 04'	W 75° 37'	-75.61666667	5.066666667	0101000000BA0B7B7777E752C048FE494444441440
12	REPETIDORA EL RECREO	N 5° 02'	W 75° 39'	-75.65	5.003333333	0101000000 9A99999999E952C0FFE230D069031440
13	GRANJA LUKER	N 5° 04'	W 75° 41'	-75.68333333	5.066666667	01010000007927B8BBBBEB52C048FE494444441440
14	LA ARGENTINA	N 5° 02'	W 75° 41'	-75.68333333	5.033333333	01010000007927B8BBBBEB52C01E681C2222221440

Figura 7. Vista de los campos creados en la tabla station_dim

Fuente: Elaboración propia

Después se creó una geometría puntual 2D, debido a que se tienen registros con coordenadas en los campos long y lat; esto genera la ubicación de cada una de las estaciones en el mapa y se almacén en la columna **geom** creada con la sentencia anterior.

Las geometrías tipo POINT se generan con la función de PostGIS **St_MakePoint (x, y),** que requiere como long(X) y lat(y) en coordenadas geográficas y se actualiza el campo geométrico *geom,* de la siguiente manera:

update station_dim set geom=St_MakePoint(Long, Lat);

De aquí en adelante, se puede acceder y visualizar la bodega de datos y todas sus entidades, ubicar las estaciones como puntos en el mapa del departamento de Caldas, analizar, gestionar la información ambiental para la toma de decisiones

desde un SIG de escritorio, porque tiene el componente espacial que le proporciona la extensión PostGIS, como se aprecia en las figuras 8, 9,10,11 y 12.

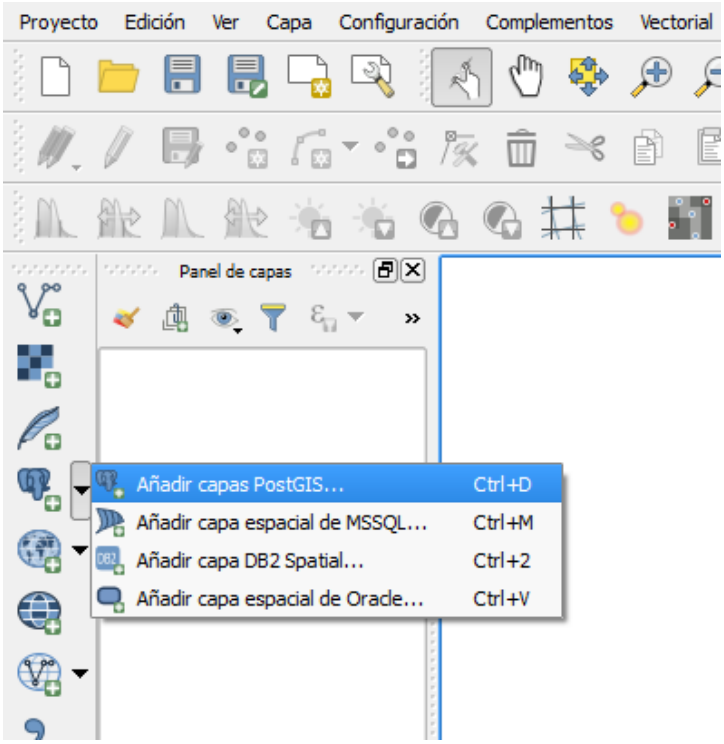


Figura 8. Ventana para añadir una capa de PostGIS a QGIS.

Elaboración propia

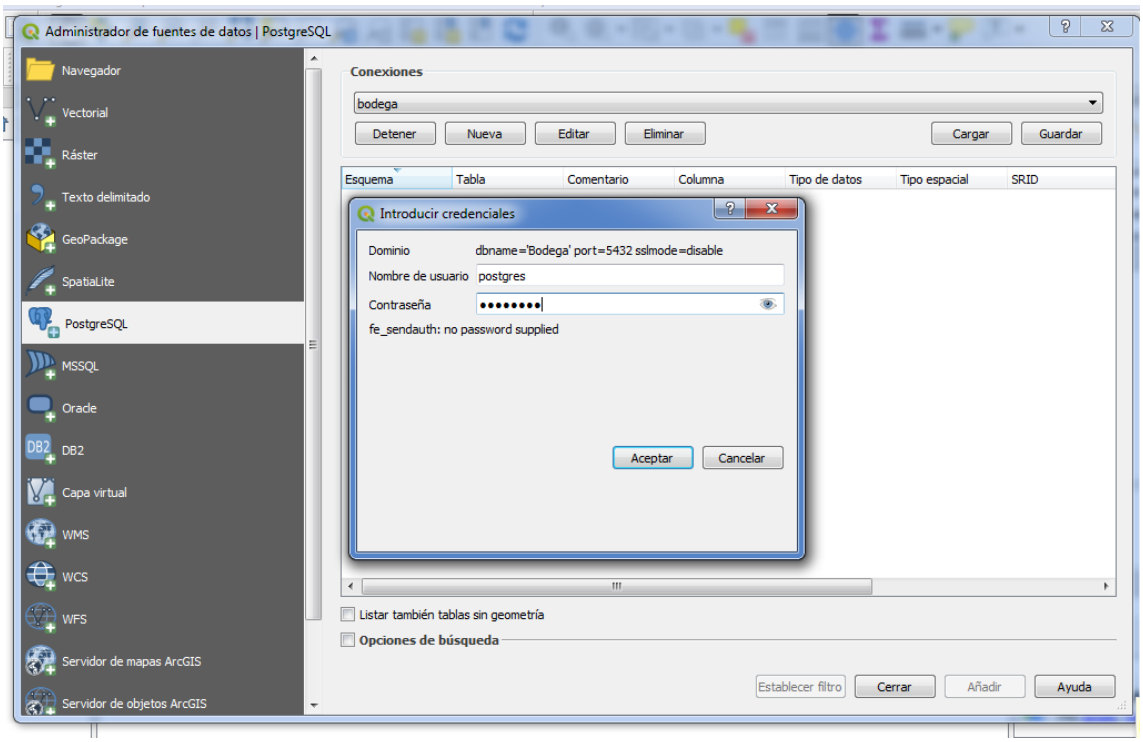


Figura 9. Ventana de conexión a la bodega de datos: Elaboración propia

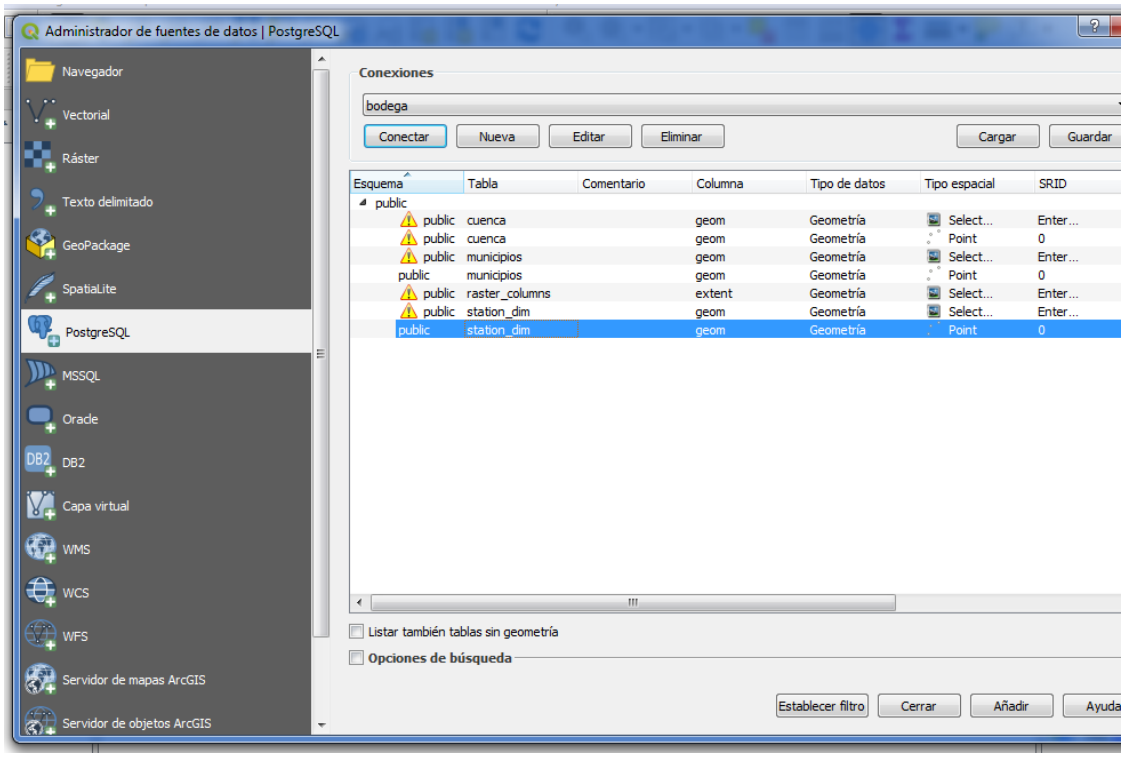


Figura 10 Columna geom de la tabla station_dim de tipo espacial. Elaboración propia

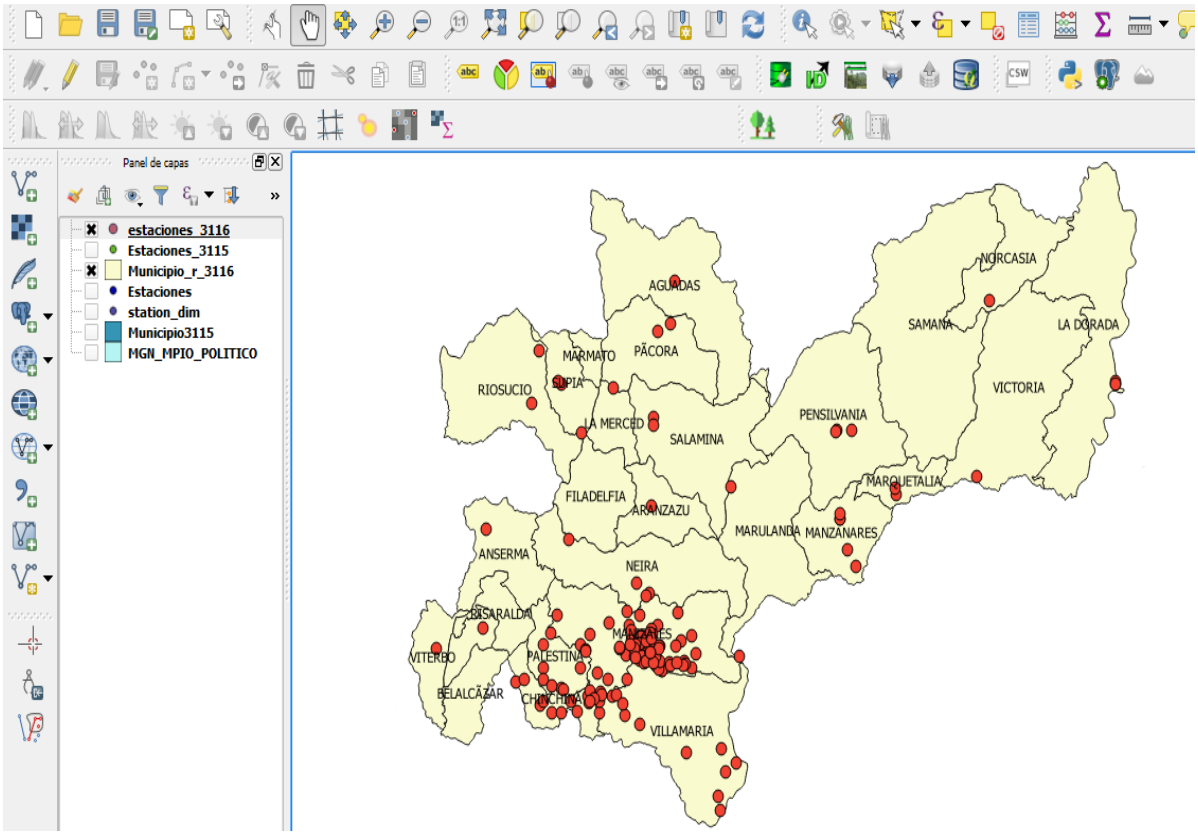


Figura 11. Puntos de las estaciones vistas desde QGIS. Elaboración propia

En la figura 11 se muestra la ubicación de las estaciones en el departamento de caldas; en la generación de los mapas y la ubicación de los puntos se utilizó el sistema de coordenadas proyectadas UTM MAGNA SIRGAS propio de cada país. Tanto la capa de estaciones como la capa de municipios se generaron con el sistema de referencia de coordenadas MAGNA SIRGAS EPSG 3116.

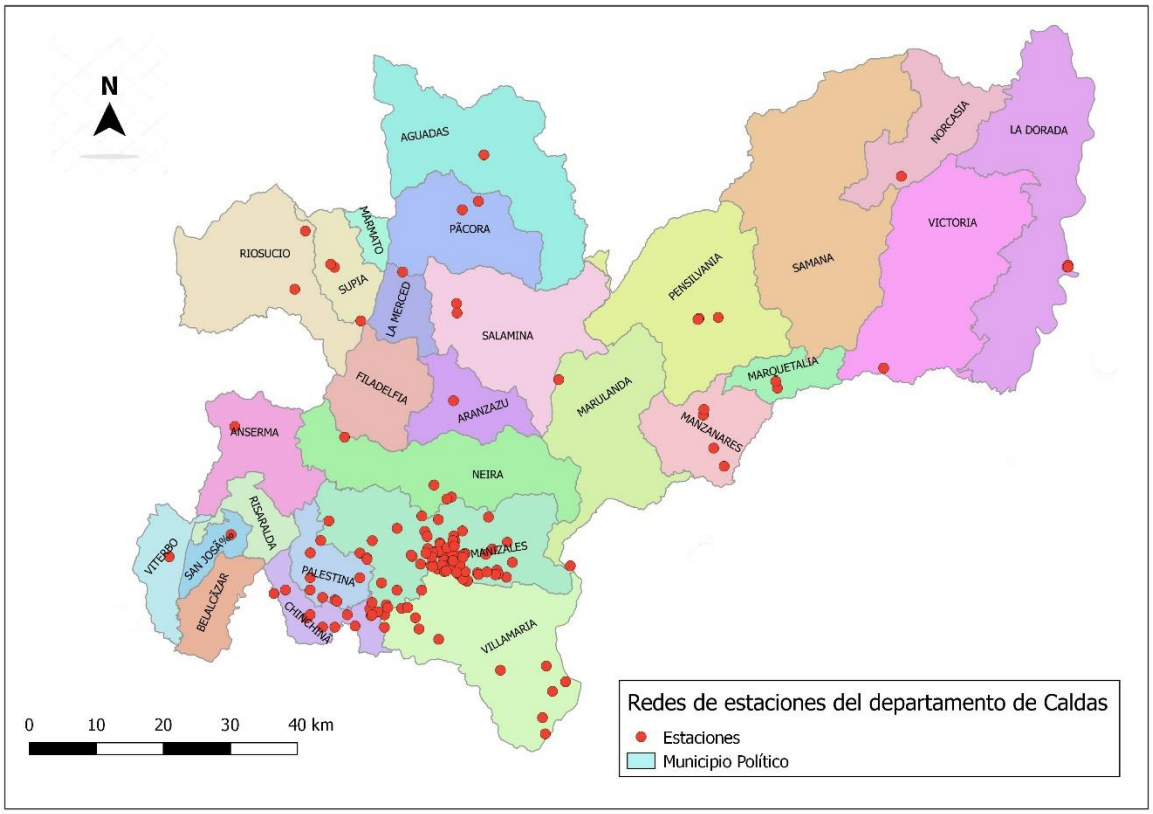


Figura 12. Ubicación de las redes de estaciones del departamento de Caldas. Fuente: elaboración propia, 2018

4.3 Definición e implementación de los elementos de análisis de datos

Los SIG, son herramientas innovadoras que facilitan la administración de información espacial, también, permiten trazar y aplicar modelos para pronosticar situaciones futuras. Para el manejo de información climática, los SIG permiten generar información confiable, como por ejemplo la ubicación de las estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas, con el fin de mejorar su uso en el análisis espacial de las variables climáticas (Jacob, 2002).

Teniendo en cuenta la amplia aplicación de los SIG en análisis espacial de variables climáticas, en este trabajo, se realizaron procedimientos tales como el análisis de la distribución espacial de las estaciones, la Clasificación climatológica Caldas – Lang con el uso de Sistemas de información Geográfica SIG y análisis de variables como la precipitación enfocado específicamente en las estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas.

4.3.1 Distribución espacial de redes de estaciones Meteorológicas e Hidrometeorológicas del departamento de Caldas

Con una extensión de 7888 km^2 y situado en la parte centro-occidental de Colombia, a 04°48'32" y 05°46'53" de latitud Norte 74°37'44" y 75°55'52" de longitud oeste, el departamento de Caldas, está conformado política y administrativamente por 27 municipios, los cuales han sido agrupados en 6 subregiones de acuerdo con características geográficas y socioeconómicas comunes denominadas: Alto Occidente, Alto Oriente, Bajo occidente, Centro Sur, Magdalena Caldense y Norte (Gispert, Gay, & Vidal, 1997) , concentrando los municipios como lo muestra la tabla 4 y la figura 13.

Tabla 4. Subregiones y municipios de Caldas con su respectiva área.

Subregión	Municipio	Población DANE*	Área Km2	Total, Área Km2
Alto Occidente	Filadelfia	10548	215	902
	La Merced	5172	100	
	Marmato	9290	41	
	Riosucio	63822	422	
	Supía	27300	124	
Alto Oriente	Manzanares	22781	195	1236
	Marquetalia	15010	94	
	Marulanda	3382	374	
	Pensilvania	26344	573	
Bajo Occidente	Anserma	33397	228	633
	Belalcázar	10559	121	
	Risaralda	9254	101	
	San José	7603	61	
	Viterbo	12398	122	
Centro Sur	Chinchiná	50880	114	1583
	Manizales	400136	477	
	Neira	31180	393	
	Palestina	17639	119	
	Villamaría	59598	480	
Magdalena Caldense	La Dorada	78135	574	2173
	Norcasia	6228	226	
	Samaná	25794	796	
	Victoria	8124	577	
Norte	Aguadas	21439	510	1361
	Aránzazu	11026	157	
	Pácora	11130	283	
	Salamina	15697	411	

Fuente: IGAC-DANE www.todacolombia.com. Población Proyección DANE 2018

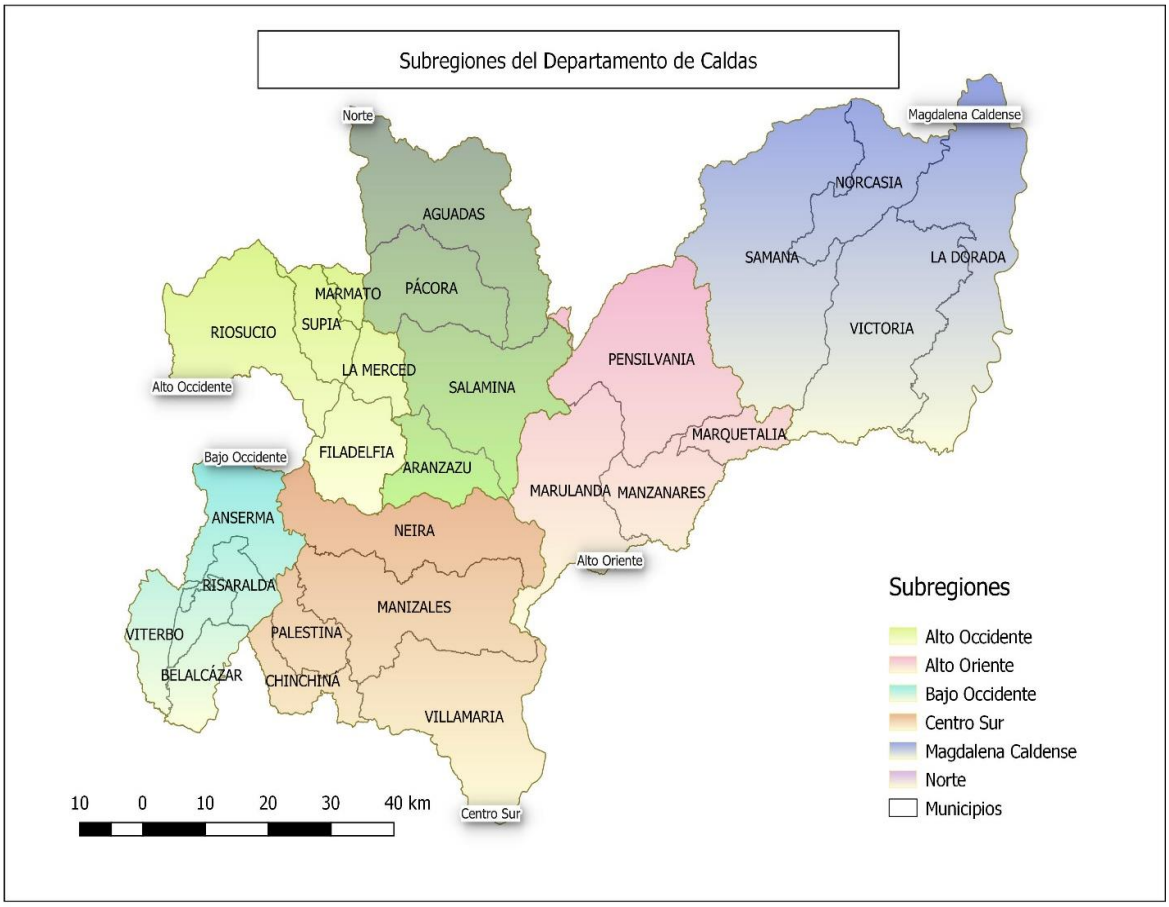


Figura 13 Subregiones del departamento de Caldas

Fuente: Elaboración propia

El departamento de Caldas presenta gran variedad de climas debido a su localización en plena zona de Confluencia Intertropical. Su estructura geológica y geomorfológica es bastante compleja, se encuentran áreas de las cordilleras central y occidental y extensas áreas de los valles de los ríos Magdalena y Cauca. Caldas posee, en proporción a su territorio, el relieve más montañoso del país donde sobresale el volcán nevado del Ruiz, cuyos picos superan los 5.400 msnm.

Por su ubicación e influencia de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa, el departamento cuenta con una variedad de zonas climáticas.

4.3.1.1 Redes meteorológicas

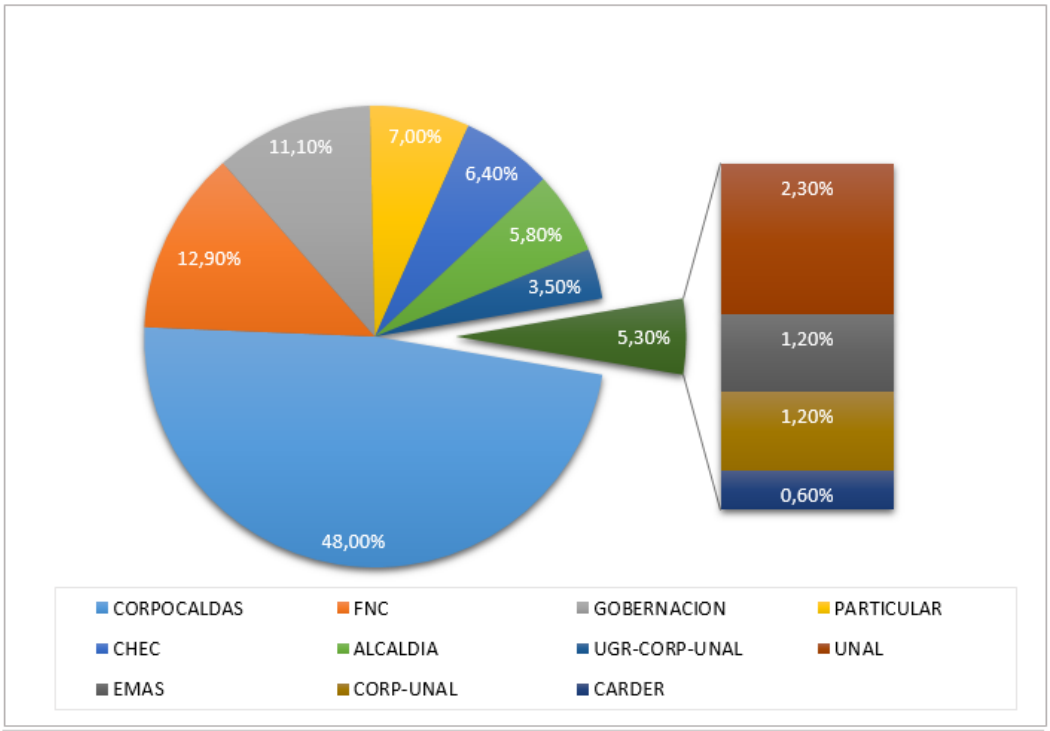
La Organización Meteorológica Mundial-OMM (1996), define una red meteorológica como “el conjunto de estaciones, convenientemente distribuidas, en las que se observan, miden y/ o registran las diferentes variables, fenómenos y elementos atmosféricos que son necesarios en el conocimiento y la determinación del estado del tiempo y el clima de una región, para su posterior aplicación a diversos usos y objetivos”. La diversidad climática, es un recurso importante del país y cumple un importante papel en el desarrollo socioeconómico (Duque et al., 2015). El departamento de Caldas, a partir de sus redes climatológicas ha generado datos que sobrepasan los 60 años, que con la optimización de los mismos se puede generar información consistente para la investigación.

De acuerdo con Suárez, Amaya y Costa (2005), una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones puntuales de parámetros meteorológicos con el uso de equipos adecuados para establecer el comportamiento atmosférico de las zonas de un territorio. Según los fines para los que se instalan, la OMM, clasifica las estaciones así: “Pluviométricas (PM), Pluviográfica (PG), Climatológicas Principales y Ordinarias (CP y CO), Agrometeorológicas (AM), Sinópticas Principales y Secundarias (SP y SS) y Meteorológicas Especiales (ME)”.

4.3.1.2 Inventario de las estaciones del departamento de Caldas

El inventario de estaciones meteorológicas se tomó de la Bodega de datos que almacena los registros de las variables ambientales del departamento de Caldas, que cuenta con 171 estaciones en el departamento (ver Anexo 5). Se encontró que el 48% pertenecen a CORPOCALDAS, el 12,9% corresponden a la Federación Nacional de Cafeteros y el 39,1% restante pertenecen a otras instituciones como la Gobernación de Caldas, la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC), la Alcaldía

de Manizales, La Universidad Nacional de Colombia, la Corporación Regional de Risaralda (CARDER) y la Empresa Metropolitana de Aseo (EMAS), ver Figura 14.

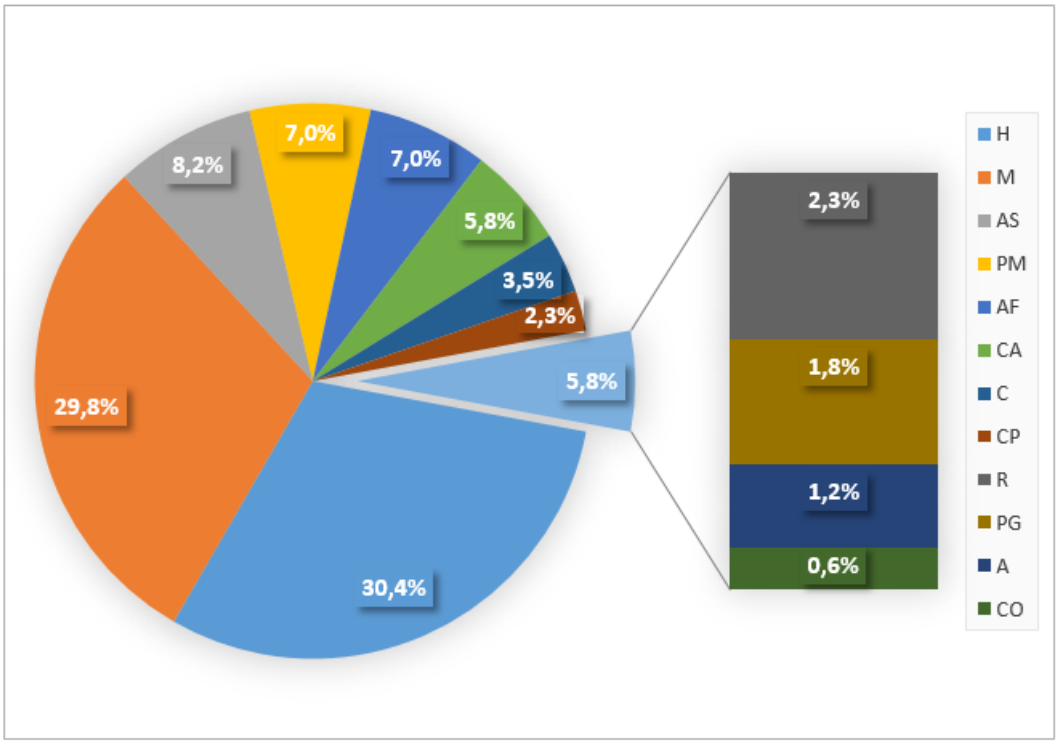


ENTIDAD	Corpocaldas	Federación Cafeteros	Gobernación	Particular	CHEC	Alcaldía	UGR-CORP-UNAL	UNAL	EMAS	CORP-UNAL	CARDER
ESTACIONES	82	22	19	12	11	10	6	4	2	2	1

Figura 14 Inventario de estaciones por entidad. Elaboración propia

El 30,4% de las estaciones encontradas en el departamento de Caldas (52 estaciones) son de categoría Hidrometeorológica (H), es decir que tienen equipos que permiten medir el nivel de agua en ríos y quebradas, el 29,8% (51 estaciones) corresponde a estaciones de categoría Meteorológica (M) donde se efectúan observaciones de parámetros climáticos como humedad relativa y temperatura, el 8,2% hace referencia a estaciones de tipo Alarma, el 7% (12) de categoría Pluviométrica (PM), Aguas freáticas 7% (12 estaciones), el 5,8% (10) de Calidad

del Aire, el 3,5% (6) de tipo Central, Climática principal (CP) el 2,3% (4), el 2,3% (4) Repetidora (R), Pluviográficas (PG) el 1,8% (3), Alerta 1,2% (2) y Climática ordinaria (CO)el 0,6% (1), como se aprecia en la Figura 15



CATGORIAS	H	M	AS	PM	AF	CA	C	R	CP	PG	A	CO
# ESTACIONES	52	51	14	12	12	10	6	4	4	3	2	1

Figura 15. Inventario de estaciones por categoría. Elaboración propia

4.3.2 Análisis de redes meteorológicas e hidrometeorológicas

Las estaciones meteorológicas (51) e hidrometeorológicas (52) del departamento de Caldas 103 en total, están distribuidas en todo el territorio, con mayor concentración en la subregión Centro Sur (Manizales, Neira, Villamaría, Palestina y Chinchiná); dichas estaciones pertenecen a diferentes instituciones como se muestra en la figura 14.

.

Con el sistema de información QGIS, se realiza un análisis de curvas de nivel, para conocer la elevación de cada uno de los puntos de las líneas que representan la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno (Felísimo, 2000). Se tomó el relieve como criterio para el análisis de la distribución espacial de zonas planas y montañosas; se seleccionaron las estaciones que tienen datos de ubicación exacta, que están activas a la fecha y se tomó la distribución territorial del departamento en las 6 subregiones. El análisis de curvas de nivel realizado muestra el porcentaje de zona plana y montañosa para cada subregión del departamento de Caldas, como se aprecia en la tabla 5.

Tabla 5 Porcentaje del Análisis curvas de nivel por unidad fisiográfica

Subregión	**Unidad Fisiográfica**	**Curvas Nivel**	**%**
Magdalena Caldense	Plana	11981	87%
	Montañosa	1807	13%
Norte	Plana	228	5%
	Montañosa	4249	95%
Centro Sur	Plana	117	1%
	Montañosa	8021	99%
Alto Occidente	Plana	171	4%
	Montañosa	4436	96%
Bajo Occidente	Plana	81	3%
	Montañosa	2748	97%
Alto Oriente	Plana	67	2%
	Montañosa	3645	98%

Fuente Elaboración propia

De acuerdo al análisis de curvas de nivel entre un 95 y 99% del área, 5 de las 6 subregiones en que está dividido el departamento de Caldas es relieve montañoso, mientras que la zona Magdalena Caldense es en su mayoría plana (87%).

Según la OMM(1994), la densidad mínima para la instalación de estaciones pluviométricas en zonas montañosas es de 250 km^2 , en zonas planas o llanuras interiores de 575 km^2 y 900 km^2 en zonas costeras; sin embargo, autores como Pabón, Saavedra, Cárdenas, Niño, Parra, Garzón y Reyes (2002), afirman que la ubicación ideal de los nodos de medición por área es de 500 km^2 para zonas montañosas y 1000 km^2 para zonas planas.

Utilizando estos parámetros a continuación se hace un análisis de la ubicación de las estaciones en el territorio.

Teniendo como base el modelo de elevación digital o archivo ráster que contiene información sobre la elevación de un área de estudio, en este caso del departamento de Caldas; a este archivo, mediante la opción extraer curvas de nivel del menú ráster de QGIS, se le extraen las líneas que unen los puntos de igual altitud dentro del mapa. Con estos valores se obtiene un promedio de cada altitud y se obtiene el porcentaje de zonas planas y montañosas como lo muestra la tabla 5; valores que nos permiten analizar cada una de las subregiones.

Los colores en los mapas van de la gama del verde (zonas planas, llanuras) y marrón (zonas montañosas) y corresponden a escalas secuenciales para datos que varían ordenadamente desde un valor bajo a otro alto, siendo más claros los valores bajos y más oscuros los valores altos de la variable altitud.

4.3.2.1 Subregiones geográficas

Magdalena Caldense

Esta región comprende una superficie de 2173 kilómetros cuadrados y posee un total de 6 estaciones meteorológicas, un 87% de su área corresponde a zonas planas donde están ubicadas 5 estaciones y un 13% a zonas montañosas con 1 estación.

El número de estaciones meteorológicas distribuidas en esta región es insuficiente teniendo en cuenta que según lo propuesto en la *Guía de prácticas hidrológicas No. 168* (1994) de la OMM en áreas como la correspondiente a la Magdalena Caldense se requiere 3.7 estaciones en relación a la extensión montañosa y el 8.6 para zonas planas, encontrando un déficit en el total de estaciones distribuidas en la extensión total analizada (ver figura 16).

En cuanto al número de años de registros, existen datos registrados entre 2 y 5 años.

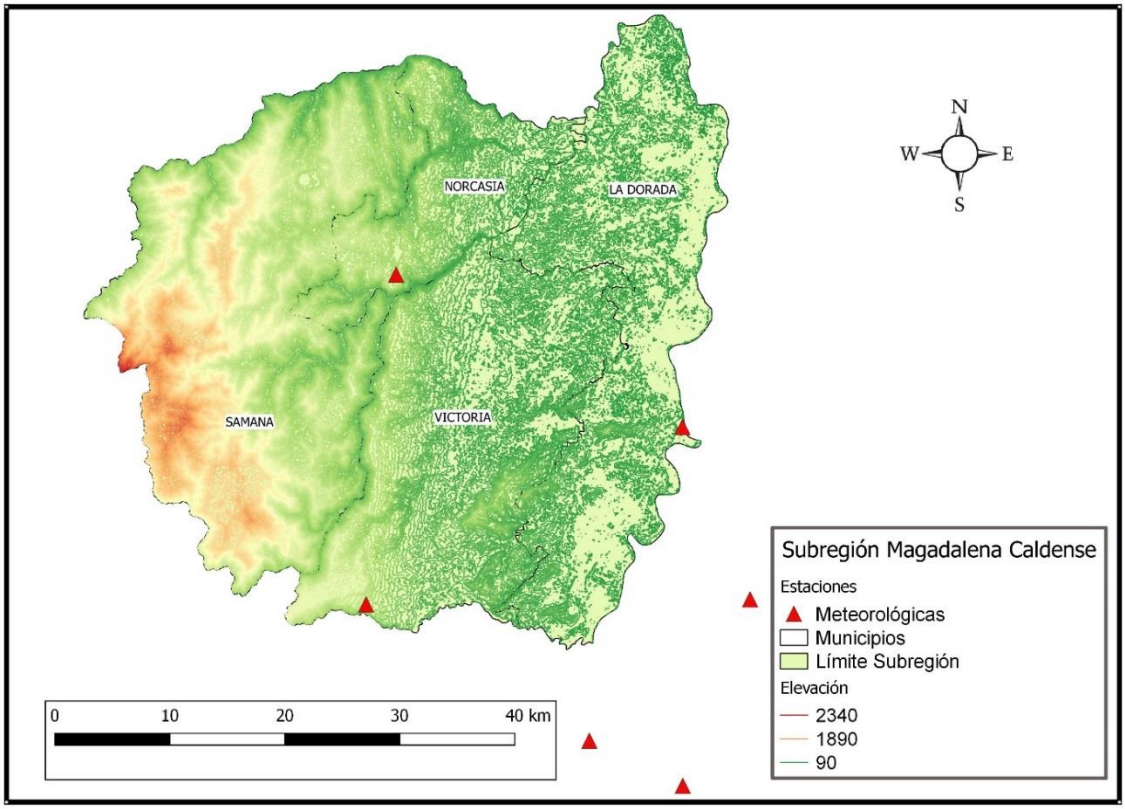


Figura 16. Distribución de las estaciones en la subregión Magdalena Caldense. Elaboración propia.

Alto Occidente

Una subregión que abarca una extensión de 902 kilómetros cuadrados, que cuenta con un 96% de zona montañosa y 4% de zona plana; en las cuales se encuentran 3 estaciones hidrometeorológicas distribuidas en su totalidad en la zona de mayor extensión (montaña), sin presencia de estaciones en la zona plana (figura 17). Teniendo en cuenta lo planteado en la literatura y la extensión del terreno se puede decir que el total de estaciones distribuidas en la subregión Alto Occidente es aceptable, pues se encuentra una estación cada 11 Km aproximadamente.

En cuanto al número de años de registros, existen datos registrados entre 7 y 9 años

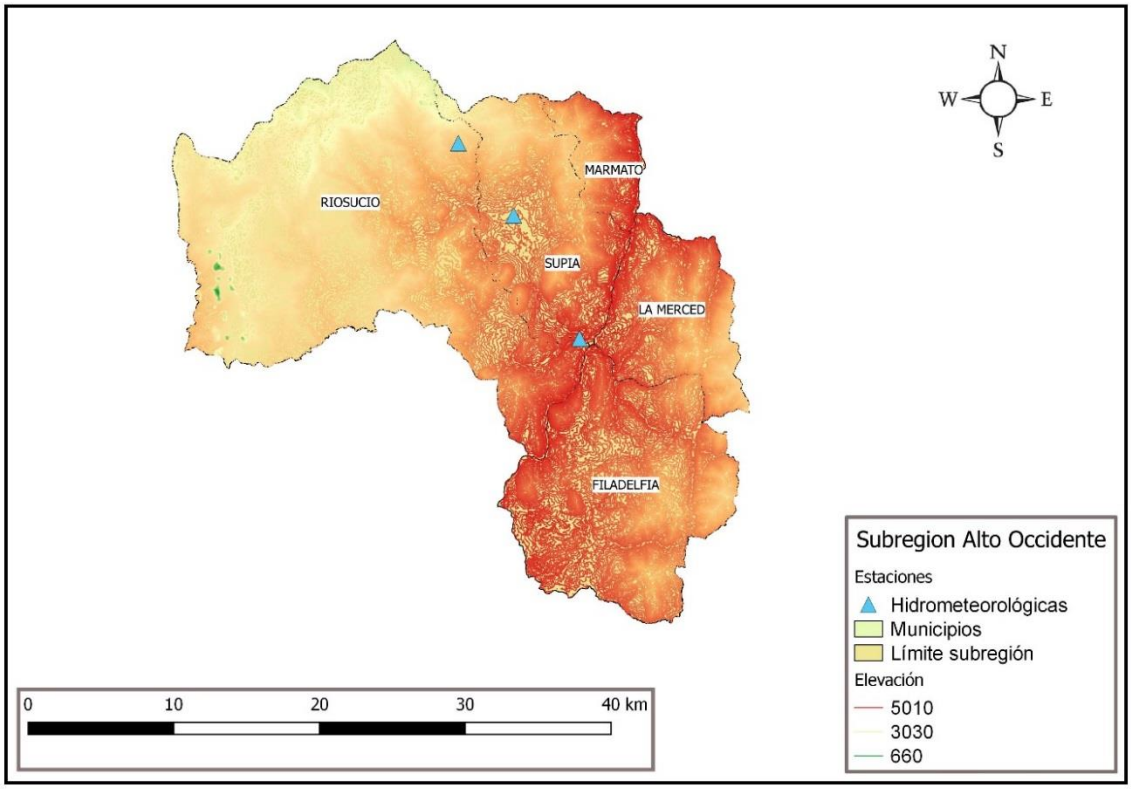


Figura 17. Distribución de las estaciones en la subregión Alto Occidente. Elaboración propia

Alto Oriente

Esta subregión se extiende en un área de 1236 kilómetros cuadrados en los cuales se encuentra un 98% de zona montañosa y un 2% de zona plana, con un total de 12 estaciones tanto hidrometeorológicas como meteorológicas, de 2 y 10 estaciones respectivamente.

La distribución de estaciones meteorológicas descritas para esta subregión comprende una mayor cantidad de estaciones totales (10) y se encuentran distribuidas en la zona montañosa que abarca una mayor extensión dentro del área analizada para la subregión; por otra parte también se encuentra que el total de estaciones sobrepasa la cuantía total requerida, teniendo en cuenta la literatura base para el trabajo investigativo donde se afirma que el número de estaciones esperadas para zona montañosa que en este caso corresponde a 5 estaciones.
Adicionalmente se encuentra que la cantidad de estaciones hidrometeorológicas corresponde a 2, lo cual no es aceptable ya que para zonas montañosas se requiere, en casos como el analizado, un mínimo de 5 estaciones (ver figura 18).

En cuanto al número de años de registros, las estaciones de la subregión Alto Oriente tiene datos entre 1 y 9 años

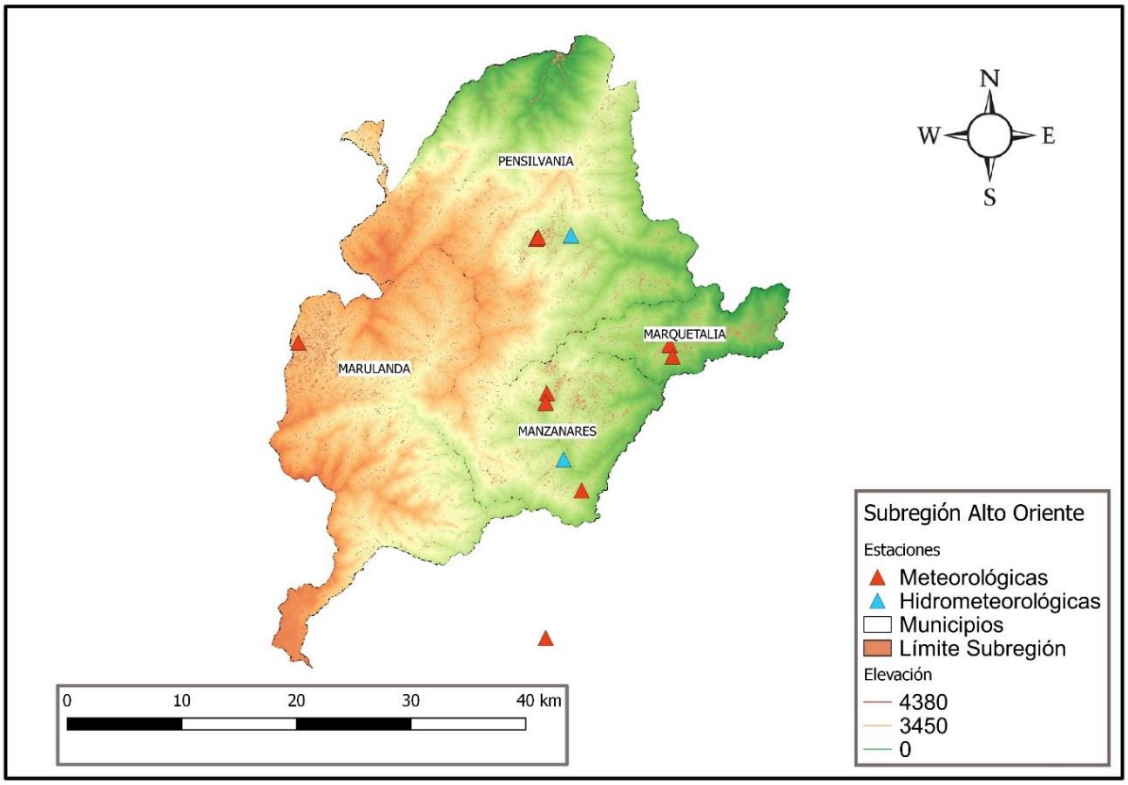


Figura 18. Distribución de las estaciones en la subregión Alto Oriente. Elaboración propia.

Bajo Occidente

La subregión del bajo occidente se extiende en un área de 633 kilómetros cuadrados, cuenta con un 97% de zona montañosa, y 3% de zonas plana, entre los cuales se encuentran un total 4 estaciones, meteorológicas (3), hidrometeorológicas (1), ubicadas únicamente en zona montañosa, con lo cual se observa ausencia de estaciones de ambos tipos en las zonas planas de la extensión analizada.

En relación a la Guía de prácticas hidrológicas No. 168 (1994) de la OMM las estaciones ubicadas en el área no son aceptables pues como ya se ha mencionado

las zonas planas se encuentran carentes de estaciones y la cuantía en zonas montañosas sobrepasa en 1 lo esperado en estaciones de tipo meteorológicas; en el caso de las estaciones hidrometeorológicas es insuficiente ya que existe solo 1 estación de 2 requeridas (ver figura 19).

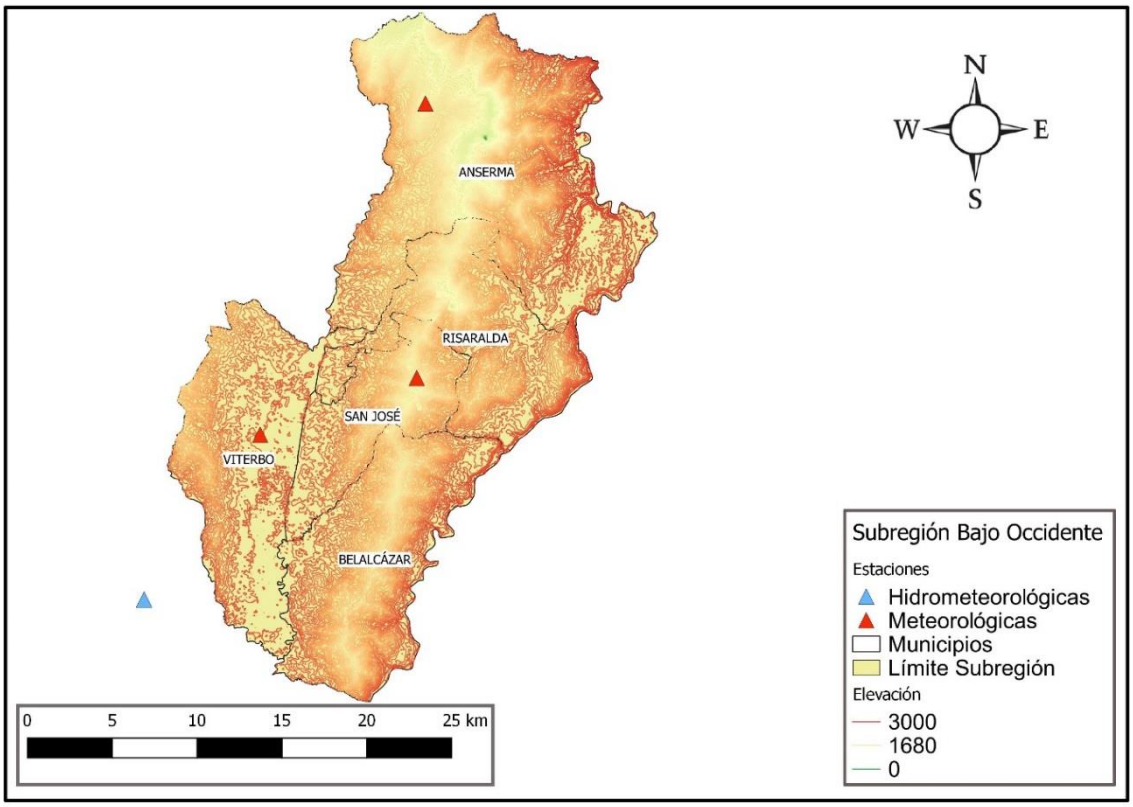


Figura 19. Distribución de las estaciones en la subregión Bajo Occidente. Elaboración propia.

Centro Sur

La subregión centro sur comprende una extensión correspondiente a los 11583 kilómetros cuadros de los cuales 99% se extienden en zona montañosa y el 1% en zona plana, cuenta con un total de 69 estaciones entre meteorológicas e hidrometeorológicas, de 26 y 43 respectivamente.

De acuerdo a la extensión total del área analizada y la información suministrada por la literatura en cuanto al número de estaciones esperadas en áreas de tal

magnitud se puede decir que ambos tipos de estaciones climatológicas sobrepasan lo esperado en gran cantidad, ya que según la OMM (1994) las cantidades suficientes corresponden a un mínimo de 6 estaciones para zona montañosa, según esto se logra afirmar que existe un exceso en la concentración de estaciones de ambos tipo (hidrometeorológicas y meteorológicas) en una misma zona, en caso particular de las estaciones meteorológicas se encuentra 20 y en caso de las hidrometeorológicas 37 más sobre el mínimo requerido, pues dada la pequeña extensión de zonas planas, estas carecen de estaciones en su distribución como lo muestra la figura 20.

Esta subregión tiene aproximadamente entre 2 y 23 años de registros

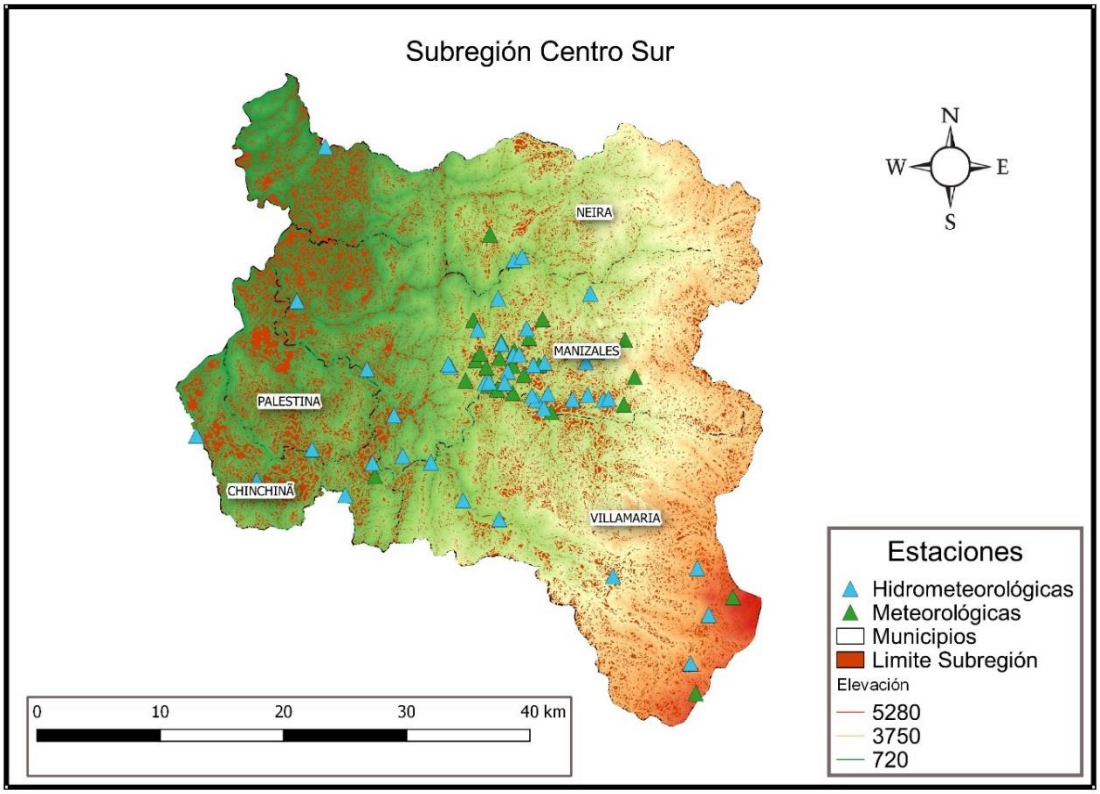


Figura 20. Distribución de las estaciones en la subregión Centro Sur. Elaboración propia.

Norte

Esta subregión comprende una extensión de 1361 kilómetros cuadrados, de la cual 95% corresponde a zonas montañosas, y el 5% restante corresponde a las zonas planas, con un total de 7 estaciones para ambos tipos climatológicos, que se encuentran en la zona montañosa, dejando la zona plana desprovista de estaciones.

Se encuentra una distribución de 5 estaciones meteorológicas, aceptable para la zona montañosa ya que se encuentra el mínimo exacto de 5 estaciones de este tipo; mientras para las estaciones de tipo hidrometeorológicas, no es suficiente pues el mínimo requerido, como se menciona anteriormente es de 5 estaciones, sin embargo, la subregión cuenta con 2 estaciones hidrometeorológicas en zona montañosa, 3 por debajo del mínimo esperado (ver figura 21).

Esta zona tiene registros de 10 años.

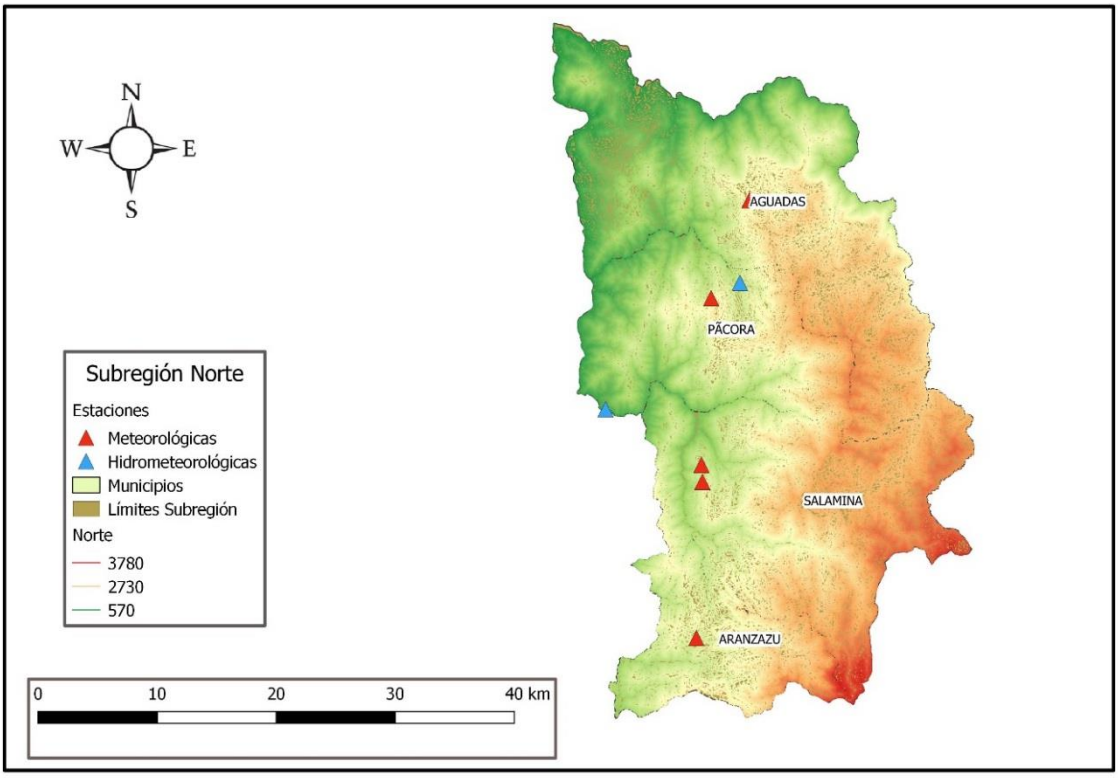


Figura 21. Distribución de las estaciones en la subregión Norte. Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis anterior, se tiene que en la actualidad el departamento de Caldas cuenta con 171 estaciones, de las cuales 52 (30,4%) son de categoría Hidrometeorológica y 51 (29,8%) son meteorológicas que fueron objeto de estudio, las restantes 39,8% corresponden a estaciones de aguas freáticas, calidad del aire, alerta, alarma, entre otras.

En cuanto a su ubicación el 97% de las estaciones climáticas están ubicadas en zona montañosa, aunque es de esperarse debido a que el relieve del departamento en su mayoría es montañoso, se debe tener en cuenta la instalación de estaciones en zonas planas. En la región existe deficiencia en cuanto a la distribución del número de estaciones por subregión, ya que 69 (67%) del total de estaciones se encuentran distribuidas en la zona Centro sur, con mayor concentración en el Municipio de Manizales; escenario a tener en cuenta, por la necesidad de obtener parámetros climatológicos bien caracterizados como consecuencia de una correcta distribución de las estaciones en el territorio.

4.3.3 Clasificación climatológica según Caldas – Lang del departamento de Caldas con el uso de Sistemas de información Geográfica SIG.

La clasificación climática es utilizada en diferentes campos científicos, principalmente, en el análisis de parámetros meteorológicos que buscan caracterizar el comportamiento de indicadores del clima, especialmente la precipitación y temperatura (Duque et al., 2015). La clasificación Caldas, Lang y Caldas-Lang están entre las más conocidas.

4.3.3.1 Clasificación de Caldas

Creada por Francisco José de Caldas en 1802. Se fundamenta en la variación de la temperatura con la altura, dando como resultado los pisos térmicos, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6 Clasificación Climática Caldas. Adaptada:(IDEAM, 2005)

Piso térmico	Símbolo	Rango Altura, m	Temperatura, °C
Cálido	C	<1000	T>24
Templado	T	1001-2000	24>T>17.5
Frio	F	2001 a 3000	18> T >12
Paramo bajo	Pb	3001 a 3700	12> T > 7
Paramo alto	Pa	3701 a 4200	T<7

4.3.3.2 Clasificación de Lang

Esta clasificación propone la relación entre la precipitación media anual en mm, y la temperatura media anual en °C; obteniendo el Factor de Lang que define las categorías como lo vemos en la tabla 7.

Tabla 7 Clasificación según Lang. Adaptado de (IDEAM, 2005)

Tipo de clima	Símbolo	Factor de Lang, P/T
Desértico	D	0 – 20
Árido	A	20.1 - 40
Semiárido	sa	40.1 - 60
semihúmedo	sh	60.1 – 100
Húmedo	H	100.1 - 160
Superhúmedo	SH	>160

4.3.3.3 Clasificación Caldas – Lang

En 1962 Schaufelberger, formuló la unificación de las clasificaciones anteriores generando el sistema de clasificación Caldas-Lang que utiliza la altitud, la temperatura y la precipitación. Los tipos de climas de esta clasificación se detallan en la tabla 8.

Tabla 8 Clasificación Caldas - Lang. Adaptado (IDEAM, 2005)

Tipo climático		Símbolo	P/t	Altitud
Cálido Superhúmedo		CSH	>160	0 - 1000
Cálido Húmedo		CH	100 – 160	0 - 1000
Cálido Semihúmedo		CsH	60 - 100	0 - 1000
Cálido semiárido		Csa	40 - 60	0 - 1000
Cálido árido		CA	20.1 - 40	0 - 1000
Cálido desértico		CD	0 - 20	0 - 1000
Templado Superhúmedo		TSH	>160	1000 - 2000
Templado Húmedo		TH	100 - 160	1000 - 2000
Templado Semihúmedo		Tsh	60 - 100	1000 - 2000
Templado semiárido		Tsa	40 - 60	1000 - 2000
Templado árido		TA	20.1 - 40	1000 - 2000
Templado Desértico		TD	0 - 20	1000 - 2000
Frio Superhúmedo		FSH	>160	2000 - 3000
Frio Húmedo		FH	100 - 160	2000 - 3000
Frio Semihúmedo		Fsh	60 - 100	2000 - 3000
Frio Semiárido		Fsa	40 - 60	2000 - 3000
Frio Árido		FA	20.1 - 40	2000 - 3000
Frio Desértico		FD	0 - 20	2000 - 3000
Paramo Bajo Superhúmedo		PBSH	>160	3000 - 3700
Paramo Bajo Húmedo		PBH	100 - 160	3000 - 3700
Páramo Bajo Semihumedo		PBsh	60 - 100	3000 - 3700
Paramo Bajo Semiárido		PBsa	40 - 60	3000 - 3700
Páramo Alto Superhúmedo		PASH	20.1 - 40	3000 - 3700
Páramo Alto Húmedo		PAH	0 - 20	3000 - 3700
Nieves Perpetuas		NP		>4200

Debido a que no se dispone de series de 30 años de datos como lo propone la OMM, es difícil analizar datos de clima de la región, además, que existen estaciones con rangos de datos faltantes que no permiten cubrir el estudio en toda la zona.

Para la clasificación de la zona de estudio se utilizó el modelo de elevación digital de la zona, los datos de precipitación y temperatura de las estaciones disponibles en la Bodega Datos, correspondiente a una serie de 3 años (2016, 2017, 2018). En la tabla 9, se presentan las estaciones con su respectiva información.

Tabla 9 Datos de las estaciones meteorológicas

Nombre	Tipología	Municipio	Altitud	Propietario	Longitud	Latitud
ALCÁZARES	M	Manizales	2057	Alcaldía de Manizales - OMPAD	-75,527750	5,0667222
ARANJUEZ	M	Manizales	1915	Alcaldía de Manizales - OMPAD	-75,500444	5,0428333
BOSQUES DEL NORTE	M	Manizales	2126	Alcaldía de Manizales - OMPAD	-75,488611	5,0830556
CHEC-URIBE	M	Manizales	1940	CHEC S.A E.S.P	-75,535039	5,0519306
EL CARMEN	M	Manizales	2112	Alcaldía de Manizales - OMPAD	-75,519778	5,0615000
EMAS	M	Manizales	2060	EMAS S.A E.S.P	-75,508942	5,0803944
HOSPITAL DE CALDAS	M	Manizales	2183	Alcaldía de Manizales - OMPAD	-75,500583	5,0629444
INGEOMINAS	M	Manizales	2226	Alcaldía de Manizales - OMPAD	-75,524306	5,0714444
LA PALMA	M	Manizales	1967	Alcaldía de Manizales - OMPAD	-75,529417	5,0959722
MARQUETALIA-ALCALDÍA	M	Marquetalia	1591	Corpocaldas	-75,057250	5,2990556
MARULANDA - EL PÁRAMO	M	Marulanda	3110	Corpocaldas	-75,349528	5,3009167
MILAN- PLANTA NIZA	M	Manizales	2256	Alcaldía de Manizales - OMPAD	-75,479908	5,0543250

Nombre	Tipología	Municipio	Altitud	Propietario	Longitud	Latitud
NEIRA- HOGARES JUVENILES	M	Neira	2053	Corpocaldas	-75,517139	5,1584722
POSGRADOS	M	Manizales	2179	Universidad Nacional de Colombia	-75,492306	5,0561667
QUEBRADA TESORITO	H	Manizales	2314	Corpocaldas	-75,434239	5,0377500
QUEBRADA OLIVARES-EL POPAL	H	Manizales	1960	Corpocaldas	-75,477222	5,0649444
RIO DOÑA JUANA	H	La Dorada	210	Corpocaldas	-75,691250	5,5003278
RÍO GUACAICA- CHEC	H	Neira	1612	Corpocaldas	-75,499750	5,1398056
RÍO GUACAICA- EL JORDAN	H	Neira	929	Corpocaldas	-75,658456	5,1098611
RÍO PÁCORA	H	Pacora	1718	Corpocaldas	-75,458089	5,5410278
RÍO RISARALDA- LA PALMERA	H	Risaralda	1016	Corpocaldas	-75,443700	5,1154417
RÍO SANTO DOMINGO-MANZANARES	H	Manzanares	1450	Corpocaldas	-75,140722	5,2089722
RÍO SUPÍA- LOS PIONONOS	H	Supía	817	Corpocaldas	-75,616167	5,3794722
RÍO SUPÍA- SUPÍA	H	Supía	1239	Corpocaldas	-75,656989	5,4557000
RÍ• O TAPIAS	H	Neira	825	Corpocaldas	-75,637742	5,2226750
RI• O POZO	H	Pacora - La Merced	840	Corpocaldas	-75,559917	5,4454722
SALAMINA - CHEC	M	Salamina	2078	Corpocaldas	-75,486583	5,3904167

Fuente: Propia

Esta es una descripción general del clima del departamento, teniendo como base una serie de 3 años de datos almacenados en la bodega. De acuerdo con la clasificación de Caldas, en la región se presenta gran variedad de climas, al oriente cerca al rio Magdalena se encuentran los climas cálidos húmedos y semihúmedos, seguidos aparecen los climas templados húmedos y superhúmedos. Hacia el centro de la cordillera central junto a las grandes alturas se encuentran las nieves

perpetuas, los páramos húmedos y superhúmedos. En las cercanías del rio Cauca se presentan los climas templados húmedos y semihúmedos como se observa en la figura 22.

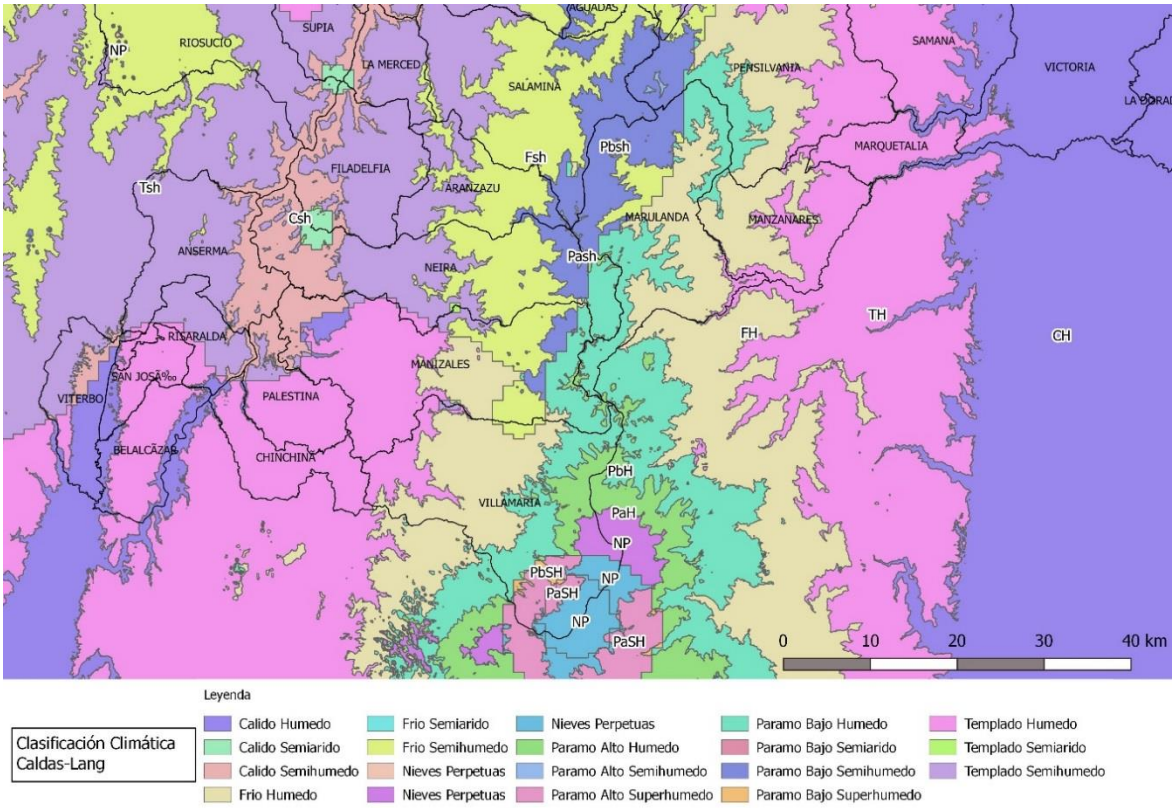


Figura 22 Clasificación del clima según Caldas-Lang. Fuente: Propia.

Debido a la poca información con la que de manera general se realizó este ejercicio, no se puede profundizar en el comportamiento de las variables climáticas del departamento. El procedimiento de la clasificación climática mediante el Sistema de Información Geográfica SIG, en este caso QGIS, se explica paso a paso en el anexo 6.

La figura 23 muestra el comportamiento de la precipitación promedio y teniendo en cuenta que en este estudio se utilizan pocas estaciones con información disponible (2016 – 2018) se sugiere un mayor cubrimiento para poder puntualizar el

comportamiento en la región. El promedio más alto (1759,73 mm) se presenta en el municipio de Marquetalia y el mínimo (1050,22) en Marulanda.

La interpolación de la precipitación se obtiene generando un ráster con los datos de precipitación de las estaciones de la bodega con el sistema de información geográfica, también se asocia a una capa en formato Shapefile del departamento y con la opción Estadísticas de zona de QGIS se realiza el promedio de la variable y el respectivo mapa.

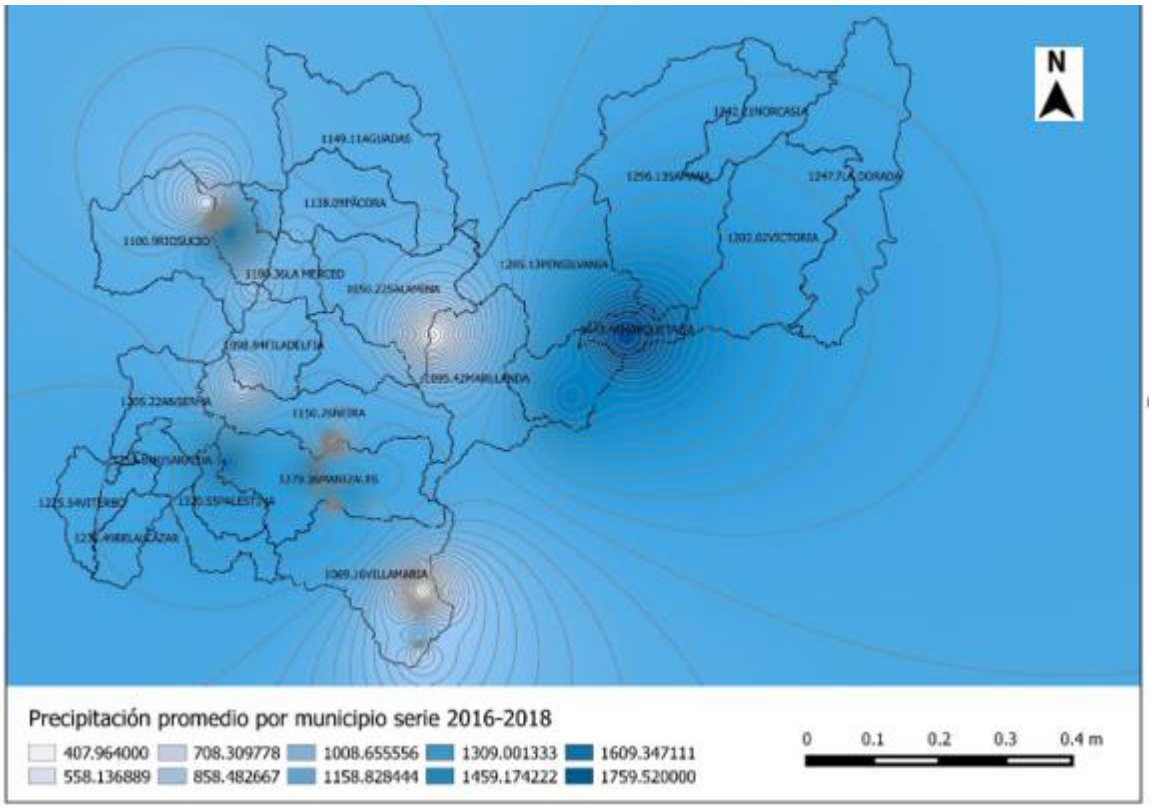


Figura 23 Precipitación promedio entre municipios 2016-2018. Fuente propia

4.4 Validación del trabajo

El trabajo fue revisado y validado por experta del Instituto de Estudios Ambientales – IDEA, profesora Jeannette del Carmen Zambrano Nájera, I. C., PhD. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales; quien expone frente al trabajo lo siguiente:

Los datos ambientales son manejados como series temporales y como información espacial. Ambos tipos de información son de importancia ya que generar información consistente en el tiempo es vital para caracterizar climáticamente el sitio donde se realiza la medición, y para poder extrapolar dicho comportamiento a zonas más amplias se requiere realizar un trabajo de organizar la información en el espacio, de manera que se tenga una descripción de todas las zonas y no solo de aquellas dónde se realizan las mediciones. De manera que los sistemas de información ambiental deben preocuparse por administrar la información ambiental de ambas maneras. Por supuesto, que la calidad de la información dependerá de la densidad de las estaciones ubicadas en tierra, pero al tiempo se debe reconocer que es imposible tener millones de estaciones, por tanto, se debe realizar continuamente trabajos que permitan caracterizar toda la extensión del territorio colombiano por medio de técnicas de interpolación geográfica, evaluando los niveles de precisión de cada mecanismo utilizado.

5. Conclusiones

- Con este trabajo se apunta a una filosofía de trabajo y uso de software libre en particular PostGIS, PgAdmin, Quantum GIS, entre otros. Si bien, no hay que invertir en licencias de uso de software, dicha filosofía implica trabajo adicional en la formación del personal, debido a que se dispone de menos funciones y procedimientos que en aplicaciones de pago.

- Los datos almacenados en la bodega corresponden a variables climáticas como evapotranspiración, velocidad y dirección del viento, nivel, presión barométrica, radiación solar, caudal, humedad relativa, precipitación y temperatura, los cuales son totalmente de tipo alfanuméricos. En los objetos identificados en la base de datos existen campos sin registros, lo que implica obtenerlos, de no ser así, generan inconvenientes en los procesos de espacialización y análisis de los mismos. Se encuentran campos geográficos de longitud y latitud en la tabla station_dim, los cuales representan un punto en el mapa y que pueden ser el objeto de espacialización.

- La implementación de PostGIS sobre la bodega de datos, incorpora a los datos, elementos de un ambiente espacial, de manera organizada, identificada y detallada según el tipo de proceso que facilita la toma de decisiones, además, facilita la publicación de diversos mapas para su libre consumo, Cómo valor agregado el resultado de este trabajo aporta al fortalecimiento del laboratorio de Software Libre, del Departamento de

Informática y Computación de la Universidad Nacional de Colombia en la Sede Manizales.

- La subregión Centro Sur, es la zona con mayor densidad de puntos de observación meteorológicos e hidrometeorológicos debido a la presencia de la capital del departamento y por ende a la gran actividad socioeconómica.

- Con el propósito de ajustar la distribución de las estaciones y teniendo en cuenta zonas de menor desarrollo socioeconómico, se debería ejecutar un minucioso análisis sobre cada una de las subregiones del departamento.

- Se evidencia escasa formación de profesionales en el área de bases de datos espaciales (PostGIS) y poca gestión de la información entre los mismos, lo cual limita el desarrollo de investigaciones en el área.

- Se validó el trabajo con experta del Instituto de Estudios Ambientales – IDEA, profesora Jeannette del Carmen Zambrano Nájera, I. C., PhD. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales; quien expone frente al trabajo lo siguiente: Los datos ambientales son manejados como series temporales y como información espacial. Ambos tipos de información son de importancia ya que generar información consistente en el tiempo es vital para caracterizar climáticamente el sitio donde se realiza la medición, y para poder extrapolar dicho comportamiento a zonas más amplias se requiere realizar un trabajo de organizar la información en el espacio, de manera que se tenga una descripción de todas las zonas y no solo de aquellas dónde se realizan las mediciones. De manera que los sistemas de información ambiental deben preocuparse por administrar la información ambiental de ambas maneras. Por supuesto, que la calidad de la información dependerá de la densidad de las estaciones ubicadas en tierra, pero al tiempo se debe reconocer que es imposible tener millones de estaciones, por tanto, se debe realizar

continuamente trabajos que permitan caracterizar toda la extensión del territorio colombiano por medio de técnicas de interpolación geográfica, evaluando los niveles de precisión de cada mecanismo utilizado.

6. Referencias bibliográficas

Bosque Sendra, J. (2000). *Sistemas de información geográfica*. Rialp. Recuperado de https://www.casadellibro.com/libro-sistemas-de-informacion-geografica/9788432131547/761111

Botella, A., Camps, R., & Muñoz, A. (1989). *Bases de datos Geográficas*. *Pueblo y Educación. La Habana*. Recuperado de http://148.226.1.22/dgbuv/bdatos/documents/TRPBDArtes022010.pdf

Bravo, E., & Montenegro, P. (2011). Base de Datos Geográfica - Cartográfica en el Instituto Geográfico Militar del Ecuador con software libre. *Instituto Geografico Militar*.

Bustos Catari, X. (2012). Desarrollo de un sistema de información geoespacial con uso de software libre. *Terra*, *28*(44), 11-38.

Bustos, X. (2012). Development of a Geospatial Information System using free software. *Terra*, *28*(44), 25. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892012000200002

Duque Méndez, N. D., Orozco Alzate, M., & Vélez, J. J. (2014). Hydro-meteorological data analysis using OLAP techniques. *Dyna*, *81*(185), 160-167. https://doi.org/10.15446/dyna.v81n185.37700

Duque, N. D., Hernández, E., Pérez, A., & Espinosa, D. (2016). Model for the Extraction , Transformation and Load Process, 95-109. Recuperado de https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1799/1535

Duque, N. D., Vélez Upegui, J., Orozco Alzate, M., & Aristizabal Zuluaga, B. (2015). *Entendimiento de fenómenos ambientales mediante análisis de datos* (Primera Ed). Manizales.

Environmental Systems Research Institute-ESRI. (2017). *The ArcGIS Book*. Recuperado de https://downloads.esri.com/learnarcgis/pdf/es/The-ArcGIS-Book_ES-second-edition.pdf

Felísimo, A. M. (2000). Modelos Digitales de Terreno. En *Topometria y Microgeodesia* (pp. 316-363).

FSF. (2009). Free Software Foundation (Fundación de Software Libre) Documento en Línea. Disponible en http://www.fsf.org/.

Gamo, M. M., & Manso Callejo, M. (2005). PostGIS en producción cartográfica: CartoCiudad. *Avances en las infraestructuras de datos espaciales*, *26*, 171-179. Recuperado de http://www3.uji.es/~canut/books/libroAvancesIDE.pdf

García, L., & Otálvaro, D. (2009). *Diseño de un modelo de datos Geográfico que soporte la Gestión en organizaciones Ambientales*. Universidad de Antioquia.

Garcia, M., & Arevalo, J. (2012). PostGIS, características espaciales documentación de geotalleres teoria 1. Recuperado 9 de mayo de 2019, de https://geotalleres.readthedocs.io/es/latest/postgis-caracteristicas-espaciales/caracteristicas_espaciales.html

Gispert, C., Gay, J., & Vidal, J. (1997). *Atlas Geográfico Universal y de Colombia*. (O. G. Editorial, Ed.). Barcelona, España.

Gomariz, F. J., Moreno, J., Cánovas, F., & Sarría, A. (s. f.). Implantación de un Sistema de Información Geográfica basado en software libre para el estudio de recursos hídricos y procesos hidrológicos. *Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, *III*. Recuperado de http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre2009/uploads/Articulos/C15.pdf

González, V., Peñarrubia, F., Higón, J., Sanz, J., & Anguix, A. (s. f.). Infraestructura de Datos Espaciales de Venezuela, una IDE 100% software libre. *Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, *IV*. Recuperado de http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre2010/uploads/Articles/a5.pdf

https://grass.osgeo.org/. (2018). GRASS GIS. Recuperado 28 de noviembre de 2018, de https://grass.osgeo.org/

https://www.pgadmin.org/. (2018). pgAdmin - PostgreSQL Tools. Recuperado 2 de

diciembre de 2018, de https://www.pgadmin.org/

IDEAM. (2005). Distribución Espcacio_temporal de las variables del clima. En *Atlas Climatológico de Colombia*.

Inmon, W. H. (2002). *Building the Data Warehouse*. (I. John Wiley y SOns, Ed.) (4.ª ed.). Recuperado de http://fit.hcmute.edu.vn/Resources/Docs/SubDomain/fit/ThayTuan/DataWH/Bulding the Data Warehouse 4 Edition.pdf

Jacob, H. (2002). Aplicaciones de un sistema de informacion geográfica, para el control de claidad de la ubicación de las estaciones meteorlógicas y la recuperación digital de información en mapas de temperaturas del mar, *3*, 105-114. Recuperado de https://repositorio.igp.gob.pe

Keranen, K., & Malone, L. (2018). *ArcGIS Book Instructional Guide*. Redlands. Recuperado de www.esri.com/esripress.

Li, J. A., Pérez, Á. M., Duque, N. D., & Aristizábal, B. H. (2016). Generación y representación de Indicadores de calidad de aire: caso de estudio aplicado a Manizales. *ITECKNE*, *13*(2), 174-184. Recuperado de http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v13n2/v13n2a08.pdf

López, I., Castellano, M., & Ospino, J. (2013). *Bases de Datos*. (Alfaoega, Ed.) (Primera ed). Ciudad de México.

Lucioni, N. (2013). La Gestión de Información Geoespacial Agropecuaria : problemáticas actuales y perspectivas futuras sobre la integración de datos geo-agropecuarios. *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca e la Nación*, 1-7.

Madrid, A., & Ortiz, L. M. (2005). *Análisis y síntesis en cartografía: Algunos procedimientos*. Universidad Nacional de olombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/1239/2/01PREL01.pdf

Márquez, A. (2015). *PostGIS Essentials*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Bogotá. Recuperado de http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MADS-

0026/MADS-0026.pdf

Molina, M., López, L., & Villegas, G. (2005). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Planificación Municipal. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*, *4*, 21-31. Recuperado de http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n4/n4a03.pdf

Nguyen, T. (2009). Indexing PostGIS databases and spatial Query Performance Evaluations. *International Journal of Geoinformatics*, *5*(3), 1-9.

OGC. (2017). Welcome to the OGC. Recuperado 6 de noviembre de 2017, de http://www.opengeospatial.org/

Organización Meteorológica Mundial. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas No. 168* (Quinta). Recuperado de https://hydrologie.org/BIB/OMM/WMOSPA_v5.pdf

Osuna, S. (2009). Aproximación al software libre. Algunos usos educativos. *La eduación Revista Digital*, (141), 1-23. Recuperado de http://www.educoea.org/portal/La_Educacion_Digital/laeducacion_141/articles/SoftwareLibreYEducacion_SaraOsuna.pdf

Pabón, J., Saavedra, H., Cárdenas, V., Niño, R., Parra, L., Garzón, M., & Reyes, F. (2002). Propuesta para el rediseño de la red de observaciones meteorológicas en colombia. *Meteorología Colombiana*, *5*, 123-129. Recuperado de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero05/05_14.pdf

pgAdmin - Herramientas PostgreSQL. (2019). Recuperado 5 de mayo de 2019, de https://www.pgadmin.org/

Ponce, E. (2008). *Una herramienta SIG para el análisis socioeconómico de la Región Metropolitana de Barcelona*. Universitat Pompeu Fabra. Recuperado de https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/1272/Memoria_PFC_e18401.pdf?sequence=1

PostgreSQL. (2017). PostgreSQL:About. Recuperado 6 de noviembre de 2017, de https://www.postgresql.org/

QGIS. (2019a). Bienvenido al proyecto QGIS. Recuperado 7 de agosto de 2019, de https://qgis.org/es/site/

QGIS. (2019b). Instaladores de QGIS. Recuperado 9 de mayo de 2019, de https://qgis.org/es/site/forusers/alldownloads.html

Quantum GIS. (2018). QGIS Un Sistema de Información Geográfica libre y de Código Abierto. Recuperado 28 de noviembre de 2018, de https://www.qgis.org/es/site/

Rayón, C., GonzáLez, V., & González, F. (1999). Geomatica e información ambiental en Asturias. *Mapping*, *53*, 6-9.

Refractions Research. (2019). www.refractions.net. Recuperado 23 de agosto de 2019, de http://www.refractions.net/

Reyes Cedeño, R. (2002). La calidad de los datos espaciales y su importancia para el aprovechamiento de los mismos. *INEGI*. Recuperado de http://mapserver.inegi.org.mx/eventos/cng2007/cng2007/extcalidaddatosrocioreyes.pdf

Rodríguez, J. R., Asmal, M. F., & Ramírez, V. G. (2011). *Analisis, diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfico para seguimiento de Egresados de la universidad Politécnica Salesiana*. Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca. Recuperado de https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2047/15/UPS-CT002374.pdf

SIAC. (2006). *Lineamientos de Política de Información Ambiental*. Bogotá. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion/pdf/Politica_Información_Ambiental.pdf

Sierra, R., Merino, J. A., & Muñoz, T. G. (s. f.). Producción de información geográfica de btn100 mediante base de datos espacial postgis. *Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, *VIII*, 16. Recuperado de http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre/

Stallman, R. (2004). *Software libre para una sociedad libre* (1°). Madrid, España.

Stallmwan, R. (2004). *Software libre para una sociedad libre* (1°). Madrid, España. Recuperado de http://libros.metabiblioteca.org/handle/001/144

Suárez, S., Amaya, O., & Costa, C. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia*.

Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019711/preliminares.pdf

TecAdmin. (2019). How to Install pgAdmin4 on Debian. Recuperado 7 de mayo de 2019, de https://tecadmin.net/install-pgadmin4-on-debian-9-stretch/

Uribe B. C, J. (2007). *Consolidación del Marco Conceptual del Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC.* (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, Ed.). Bogotá. Recuperado de http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/home/PDF/1400_GI_91_02_01_MARCO_CONCEPTUAL_INTEGRADO_SIAC.pdf

Viera, M. (2012). Modelo de datos espacial para muestras ambientales. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas (RCCI)*, *6*(3).

Zeiler, M. (1999). *Modeling Our Word. The ESRI Guide to Geodatabase Design*. New York. Recuperado de http://geography.unt.edu/~jminhe/Teaching/GIS-Adv/Modeling_our_World.pdf

7. Anexos

ANEXO 1. Instalación de PostGIS

PostgreSQL está disponible en todas las versiones de Debían por defecto. Sin embargo, el proyecto PostgreSQL también mantiene un repositorio de apt con todos los soportes de PostgreSQL disponibles. Este repositorio se integrará con sus sistemas normales y la administración de parches, y proporcionará actualizaciones automáticas para todas las versiones compatibles de PostgreSQL (Refractions Research, 2019) .

Debían incluye PostgreSQL por defecto. Para instalar PostgreSQL en Debían, usar el apt-get comando:

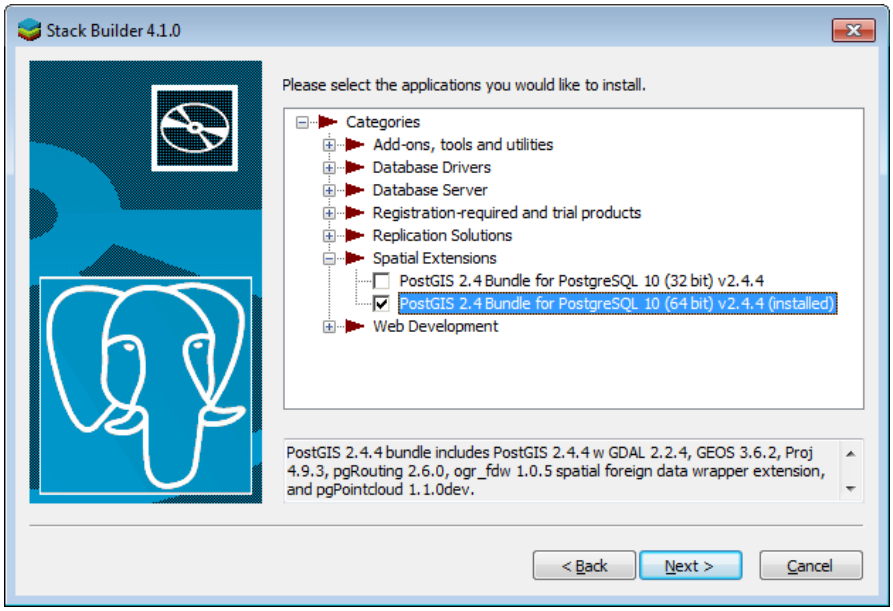
```
apt-get install postgresql-9.3
```

Al terminar la instalación, aceptar que abra el programa Stack Builder

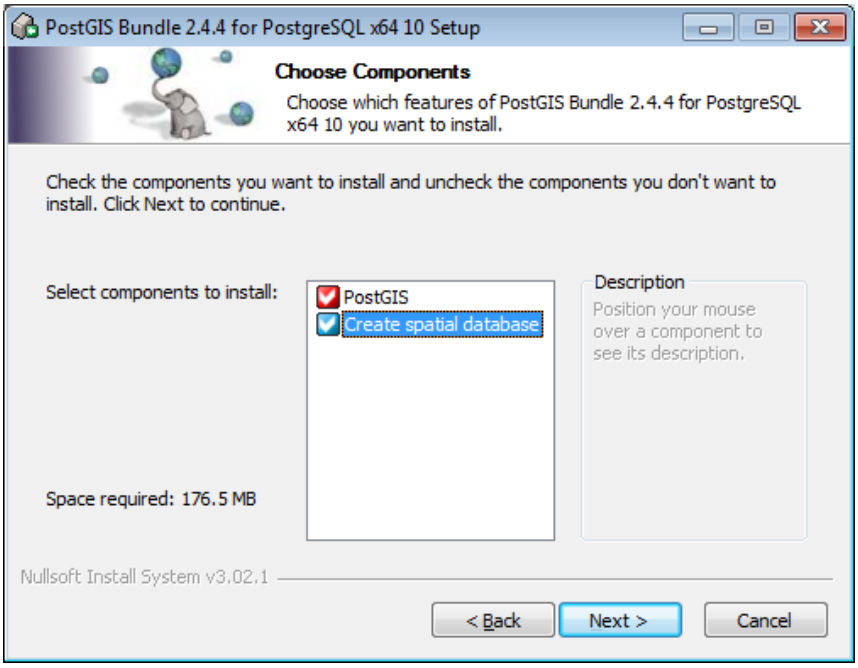
Instalar el modulo espacial PostGIS

- Iniciar la aplicación Stack Builder
- Seleccionar el servidor local

Abrir las opciones de Extensiones espaciales y seleccionar la versión más reciente, clic en siguiente



Seleccionar la ruta de descarga e instalar



Una vez instalado el modulo espacial, ya está disponible la plantilla template_PostGIS.

Si hay complicaciones con la instalación mediante Stack Builder, buscar la ruta del archivo descargado, algo como edb_PostGIS _2.4.4_pg91.bin. Abrir el terminal, navegar hasta el archivo y ejecutar el instalador con los comandos:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install PostGIS
```

Habilitar PostGIS

PostGIS es una extensión opcional, instalar el software es el primer paso; debe habilitarse en cada base de datos antes de poder usarla.

Conectarse a la base de datos con psql o PgAdmin. Ejecutar el siguiente SQL:

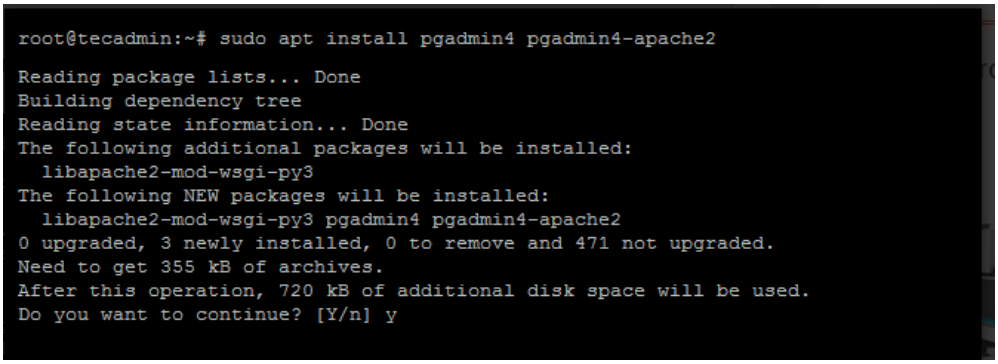
```
- Habilitar PostGIS (incluye raster)
CREAR EXTENSIÓN PostGIS;

- Habilitar topología
CREATE EXTENSIÓN PostGIS _topology;

- Habilitar PostGIS Advanced 3D
- y otros algoritmos de geoprocesamiento
- sfcgal no disponible con todas las distribuciones
CREAR EXTENSIÓN PostGIS _sfcgal;

- coincidencia
 aproximada necesaria para Tiger
CREATE EXTENSION fuzzystrmatch;

- estándar basado en reglas
CREAR EXTENSIÓN address_standardizer;

- conjunto de datos de regla de ejemplo
CREAR EXTENSIÓN address_standardizer_data_us;

- Habilitar US Geocoder de Tiger
CREAR EXTENSIÓN postgis_tiger_geocoder;
```

Instalar únicamente las funciones que se desee

ANEXO 2. Instalación de PGADMIN 4

Para instalar pgadmin4 en Debian 9.3 se ejecutaron los siguientes comandos (TecAdmin, 2019):

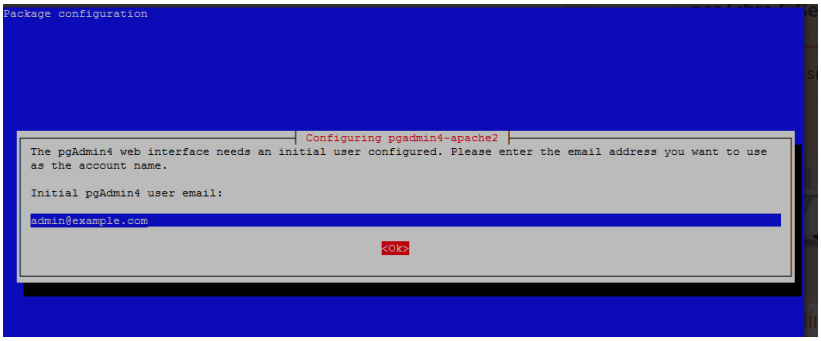
```
sudo apt-get update
sudo apt-get install pgadmin4
```



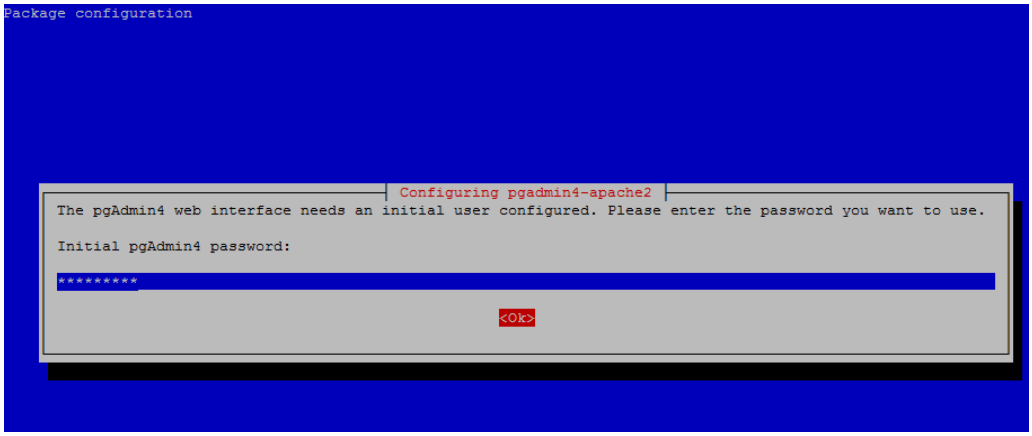
Ventana de instalación correcta de pgADMIN

Durante la instalación, debe configurar el inicio de sesión de administrador de pgAdmin4. Ingrese una dirección de correo electrónico para usar como ID de inicio de sesión de administrador para su interfaz web pgAdmin4.

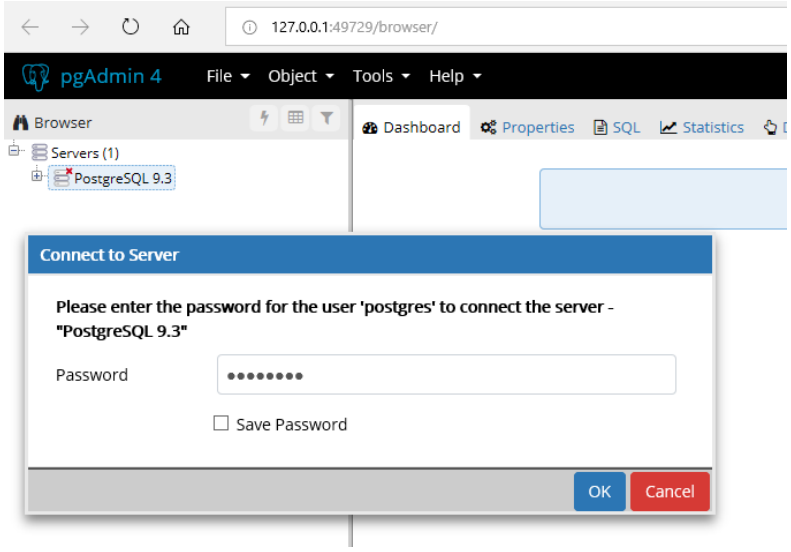
Luego haga clic en Aceptar.

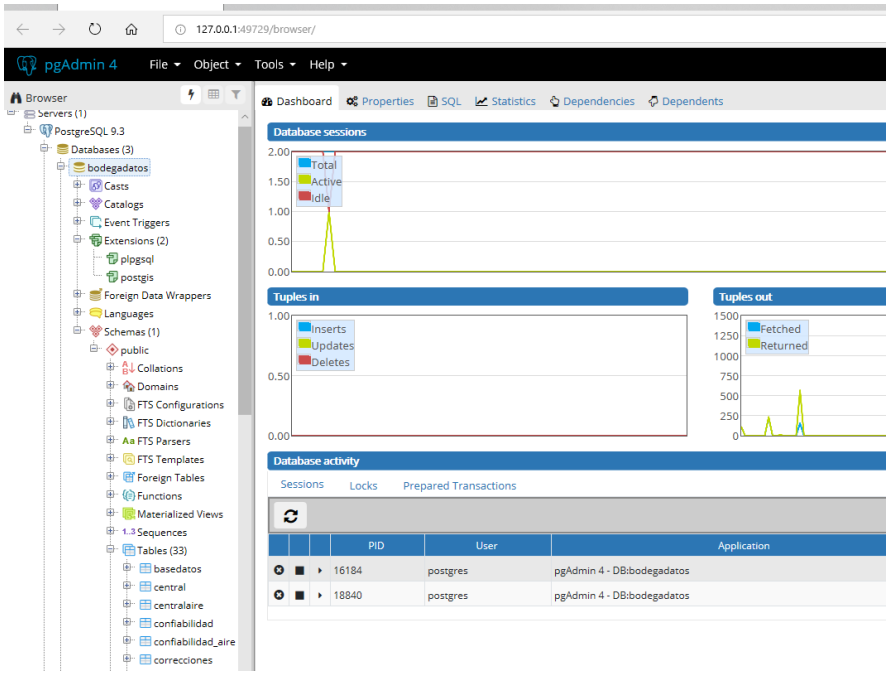


Ahora esto le pedirá que ingrese la contraseña de la cuenta del administrador.



Esto completa la instalación de pgAdmin4 en el sistema, también realizará los cambios necesarios en PostgreSQL para la conexión con la base de datos y está listo para usar.




127.0.0.1:49729/browser/
pgAdmin 4
File
Object
Tools
Help
Browser
Servers (1)
PostgreSQL 9.3
Databases (3)
bodegadatos
Casts
Catalogs
Event Triggers
Extensions (2)
plpgsql
postgis
Foreign Data Wrappers
Languages
Schemas (1)
public
Collations
Domains
FTS Configurations
FTS Dictionaries
FTS Parsers
FTS Templates
Foreign Tables
Functions
Materialized Views
Sequences
Tables (33)
basedatos
central
centralaire
confiabilidad
confiabilidad_aire
correcciones
Dashboard
Properties
SQL
Statistics
Dependencies
Dependents
Database sessions
Total
Active
Idle
Tuples in
Inserts
Updates
Deletes
Tuples out
Fetched
Returned
Database activity
Sessions
Locks
Prepared Transactions
PID
User
Application
16184
postgres
pgAdmin 4 - DB:bodegadatos
18840
postgres
pgAdmin 4 - DB:bodegadatos

ANEXO 3. Instalación de QUANTUM GIS

Para instalar la última versión de QGIS en Debian, se necesita modificar los repositorios predeterminados de software Debían para tener la versión más actualizada de QGIS (QGIS, 2019b).

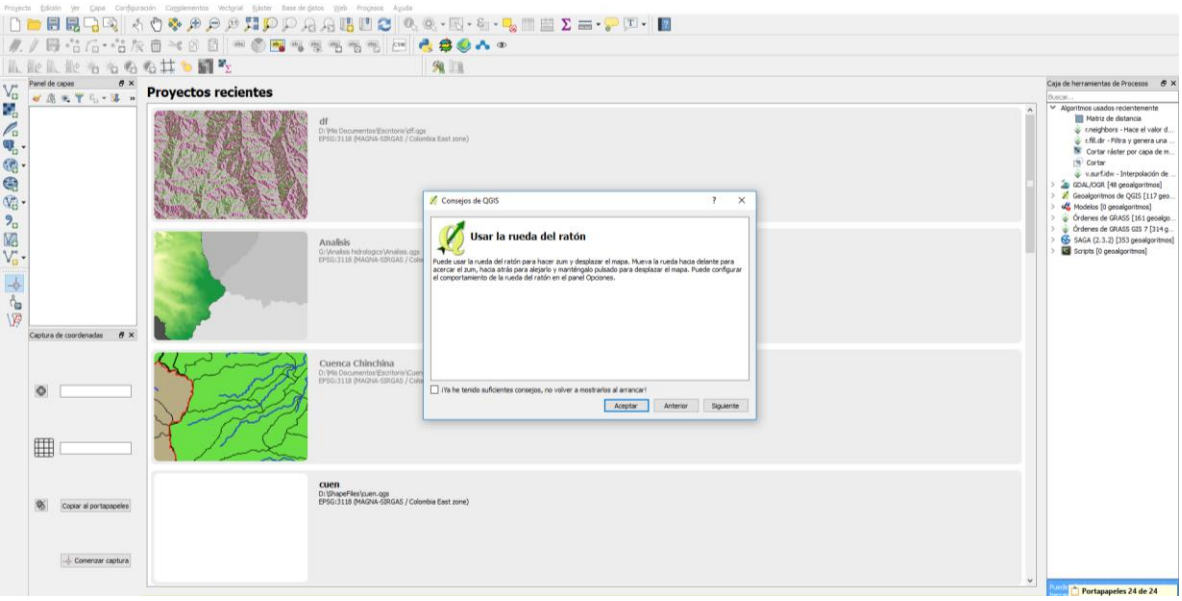
Agrega las siguientes líneas en el archivo /etc/apt/sources.list

```
deb http://qgis.org/debian wheezy main

deb-src http://qgis.org/debian wheezy main
```

Luego actuali la lista de paquetes e instalamos:

```
apt-get update

apt-get install qgis python-qgis qgis-plugin-grass
```

Ya tene instalado el Sistema de Información Geográfica QGIS, para empezar a utilizarla.



ANEXO 4. Tratamiento de los datos para conversión a grados decimales

Latitud						Longitud				
Sistema Sexagesimal				Sistema Decimal		Sistema Sexagesimal			Sistema Decimal	
Valor	LatDegrees	LatMinutes	Latseg		Degrees	LongDegrees	LongMin	LongSeg		Degrees
1	5	17	56,6	0,299055556	5,299055556	75	3	26,1	0,05725	75,05725
2	5	6	55,59	0,115441667	5,115441667	75	26	37,32	0,4437	75,4437
3	5	9	30,5	0,158472222	5,158472222	75	31	1,7	0,517139	75,51713889
4	5	2	54,4	0,048444444	5,048444444	75	31	6,9	0,518583	75,51858333
5	5	18	3,3	0,300916667	5,300916667	75	20	58,3	0,349528	75,34952778
6	5	2	15,9	0,03775	5,03775	75	26	3,26	0,434239	75,43423889
7	5	3	53,8	0,064944444	5,064944444	75	28	38	0,477222	75,47722222
8	5	8	23,3	0,139805556	5,139805556	75	29	59,1	0,49975	75,49975
9	5	6	35,5	0,109861111	5,109861111	75	39	30,44	0,658456	75,65845556
10	5	23	6,4	0,385111111	5,385111111	75	8	5,9	0,134972	75,13497222
11	5	26	43,7	0,445472222	5,445472222	75	33	35,7	0,559917	75,55991667
12	4	57	2,23	0,950619444	4,950619444	75	30	37,37	0,510381	75,51038056
13	5	12	32,3	0,208972222	5,208972222	75	8	26,6	0,140722	75,14072222
14	5	22	46,1	0,379472222	5,379472222	75	36	58,2	0,616167	75,61616667
15	5	27	20,52	0,4557	5,4557	75	39	25,16	0,656989	75,65698889
16	5	23	25,5	0,390416667	5,390416667	75	29	11,7	0,486583	75,48658333
17	5	15	40,1	0,261138889	5,261138889	75	9	14,2	0,153944	75,15394444
18	5	4	0,2	0,066722222	5,066722222	75	31	39,9	0,52775	75,52775
19	5	2	34,2	0,042833333	5,042833333	75	30	1,6	0,500444	75,50044444
20	5	4	59	0,083055556	5,083055556	75	29	19	0,488611	75,48861111
21	5	3	6,95	0,051930556	5,051930556	75	32	6,14	0,535039	75,53503889
22	5	3	41,4	0,0615	5,0615	75	31	11,72	0,519922	75,51992222
23	5	4	49,42	0,080394444	5,080394444	75	30	32,19	0,508942	75,50894167

	24	5	1	44,1	0,028916667	5,028916667	75	28	20	0,472222	75,47222222
	25	5	3	46,6	0,062944444	5,062944444	75	30	2,1	0,500583	75,50058333
	26	5	4	17,2	0,071444444	5,071444444	75	31	27,5	0,524306	75,52430556
	27	5	5	45,5	0,095972222	5,095972222	75	31	45,9	0,529417	75,52941667
	28	5	31	45,9	0,529416667	5,529416667	75	28	47,67	0,479908	75,47990833
	29	5	3	22,2	0,056166667	5,056166667	75	29	32,3	0,492306	75,49230556
	30	5	3	30,58	0,058494444	5,058494444	75	30	15,07	0,504186	75,50418611
	31	5	3	47,6	0,063222222	5,063222222	75	28	52,63	0,481286	75,48128611
	32	4	49	24,6	0,8235	4,8235	75	21	59,9	0,366639	75,36663889
	Latitud						**Longitud**				
	Sistema Sexagesimal				**Sistema Decimal**		**Sistema Sexagesimal**			**Sistema Decimal**	
Valor		**LatDegrees**	**LatMinutes**	**Latseg**		**Degrees**	**LongDegrees**	**LongMin**	**LongSeg**		**Degrees**
	33	4	53	37,7	0,893805556	4,893805556	75	20	22,1	0,339472	75,33947222
	34	4	54	53,8	0,914944444	4,914944444	75	21	55,7	0,365472	75,36547222
	35	4	52	51	0,880833333	4,880833333	75	21	25,5	0,357083	75,35708333
	36	4	50	43,4	0,845388889	4,845388889	75	22	13,7	0,370472	75,37047222
	37	5	0	0	0	5	75	36		0,6	75,6
	38	4	59		0,983333333	4,983333333	75	36		0,6	75,6
	39	4	59		0,983333333	4,983333333	75	41		0,683333	75,68333333
	40	4	58		0,966666667	4,966666667	75	40		0,666667	75,66666667
	41	4	59		0,983333333	4,983333333	75	38		0,633333	75,63333333
	42	4	58		0,966666667	4,966666667	75	35		0,583333	75,58333333
	43	5	1		0,016666667	5,016666667	75	43		0,716667	75,71666667
	44	4	58		0,966666667	4,966666667	75	39		0,65	75,65
	45	5	3		0,05	5,05	75	30		0,5	75,5
	46	5	3		0,05	5,05	75	20		0,333333	75,33333333
	47	5	1		0,016666667	5,016666667	75	32		0,533333	75,53333333

	48	5	1		0,016666667	5,016666667	75	34		0,566667	75,56666667
	49	5	5		0,083333333	5,083333333	75	36		0,6	75,6
	50	5	6		0,1	5,1	75	34		0,566667	75,56666667
	51	4	59		0,983333333	4,983333333	75	35		0,583333	75,58333333
	52	5	7		0,116666667	5,116666667	75	32		0,533333	75,53333333
	53	5	4		0,066666667	5,066666667	75	37		0,616667	75,61666667
	54	5	2		0,033333333	5,033333333	75	39		0,65	75,65
	55	5	4		0,066666667	5,066666667	75	41		0,683333	75,68333333
	56	5	2		0,033333333	5,033333333	75	41		0,683333	75,68333333
	57	5	2		0,033333333	5,033333333	75	37		0,616667	75,61666667
	58	5	1		0,016666667	5,016666667	75	41		0,683333	75,68333333
	59	5	4		0,066666667	5,066666667	75	40		0,666667	75,66666667
	60	4	58	24,64	0,973511111	4,973511111	75	56	5,86	0,934961	75,93496111
	61	5	30	1,18	0,500327778	5,500327778	75	41	28,5	0,69125	75,69125
	62	5	32	27,7	0,541027778	5,541027778	75	27	29,12	0,458089	75,45808889
	63	5	13	21,63	0,222675	5,222675	75	38	15,87	0,637742	75,63774167
	64	5	0	42,7	0,011861111	5,011861111	75	43	55,5	0,732083	75,73208333
	65	4	58	44,7	0,979083333	4,979083333	75	41	16,1	0,687806	75,68780556
	66	5	0	5,9	0,001638889	5,001638889	75	38	50,7	0,647417	75,64741667
	Latitud						**Longitud**				
	Sistema Sexagesimal				**Sistema Decimal**		**Sistema Sexagesimal**			**Sistema Decimal**	
	Valor	**LatDegrees**	**LatMinutes**	**Latseg**		**Degrees**	**LongDegrees**	**LongMin**	**LongSeg**		**Degrees**
	67	4	58	6,1	0,968361111	4,968361111	75	37	22,7	0,622972	75,62297222

	68	4	59	49,5	0,997083333	4,997083333	75	34	51,5	0,580972	75,58097222
	69	5	3	0,97	0,050269444	5,050269444	75	31	15,5	0,520972	75,52097222
	70	5	2	15,9	0,03775	5,03775	75	28	59,4	0,483167	75,48316667
	71	5	8	32,6	0,142388889	5,142388889	75	29	36,9	0,493583	75,49358333
	72	4	59	30,52	0,991811111	4,991811111	75	36	11,63	0,603231	75,60323056
	74	4	57	51,91	0,964419444	4,964419444	75	32	12,55	0,536819	75,53681944
	77	5	4	6,5	0,068472222	5,068472222	75	31	1,7	0,517139	75,51713889
	78	5	3	22,4	0,056222222	5,056222222	75	29	31,3	0,492028	75,49202778
	79	5	1	47	0,029722222	5,029722222	75	28	18	0,471667	75,47166667
	80	5	3	58,9	0,066361111	5,066361111	75	28	30	0,475	75,475
	81	5	2	58,57	0,049602778	5,049602778	75	29,2	12	0,49	75,49
	82	5	2	31,44	0,042066667	5,042066667	75	25	53,62	0,431561	75,43156111
	151	5	3	36,64	0,060177778	5,060177778	75	36	26,01	0,607225	75,607225
	152	5	1	35,58	0,02655	5,02655	75	35	14,72	0,587422	75,58742222
	153	5	3	43,98	0,062216667	5,062216667	75	32	46,13	0,546147	75,54614722
	154	5	3	50,14	0,063927778	5,063927778	75	32	51,47	0,547631	75,54763056
	155	5	5	23,7	0,089916667	5,089916667	75	29	25,1	0,490306	75,49030556
	156	5	6	42,95	0,111930556	5,111930556	75	30	40,4	0,511222	75,51122222
	157	5	5	27,8	0,091055556	5,091055556	75	47	24,15	0,790042	75,79004167
	158	5	3	3,48	0,050966667	5,050966667	75	31	3,67	0,517686	75,51768611
	160	5	3	0,69	0,050191667	5,050191667	75	30	23,16	0,506433	75,50643333
	161	5	1	54,4	0,031777778	5,031777778	75	28	40,49	0,477914	75,47791389
	162	5	4	43,49	0,078747222	5,078747222	75	30	32,37	0,508992	75,50899167
	163	5	4	14,62	0,070727778	5,070727778	75	30	0,46	0,500128	75,50012778
	164	5	4	15	0,070833333	5,070833333	75	29	44,81	0,495781	75,49578056
	165	5	2	31,69	0,042136111	5,042136111	75	28	29,6	0,474889	75,47488889
	166	5	5	20,93	0,089147222	5,089147222	75	31	34,25	0,526181	75,52618056

	167	5	3	47,28	0,063133333	5,063133333	75	29	7,6	0,485444	75,48544444
	168	5	4	34,2	0,076166667	5,076166667	75	29	22,56	0,4896	75,4896
	169	5	4	26,16	0,073933333	5,073933333	75	29	57,82	0,499394	75,49939444
	170	5	2	16,81	0,038002778	5,038002778	75	27	24,54	0,456817	75,45681667
	171	5	5	1,4	0,083722222	5,083722222	75	29	29,2	0,491444	75,49144444
	173	5	2	25,1	0,040305556	5,040305556	75	27	30,1	0,458361	75,45836111
	175	5	3	55,28	0,065355556	5,065355556	75	26	49,69	0,447136	75,44713611
	176	5	2	38,2	0,043944444	5,043944444	75	25	55,99	0,432219	75,43221944
	177	5	5	48	0,096666667	5,096666667	75	28	43,41	0,478725	75,478725
	Latitud						**Longitud**				
	Sistema Sexagesimal				**Sistema Decimal**		**Sistema Sexagesimal**			**Sistema Decimal**	
	Valor	**LatDegrees**	**LatMinutes**	**Latseg**		**Degrees**	**LongDegrees**	**LongMin**	**LongSeg**		**Degrees**
	178	5	2	3,93	0,034425	5,034425	75	25	9,27	0,419242	75,41924167
	179	5	4	21,05	0,072513889	5,072513889	75	26	18,35	0,438431	75,43843056
	180	5	2	19,68	0,0388	5,0388	75	25	49,08	0,4303	75,4303
	181	5	3	16,2	0,0545	5,0545	75	24	40,68	0,4113	75,4113
	182	5	4	53,51	0,081530556	5,081530556	75	25	5,79	0,418275	75,418275
	183	5	3	23,76	0,0566	5,0566	75	29	28,68	0,4913	75,4913
	184	5	3	23,76	0,0566	5,0566	75	29	28,68	0,4913	75,4913
	185	5	3	23,76	0,0566	5,0566	75	29	28,68	0,4913	75,4913
	186	5	3	23,76	0,0566	5,0566	75	29	28,68	0,4913	75,4913
	187	5	3	23,76	0,0566	5,0566	75	29	28,68	0,4913	75,4913
	188	5	3	23,76	0,0566	5,0566	75	29	28,68	0,4913	75,4913
	189	4	58	46,8	0,979666667	4,979666667	75	32	30,1	0,541694	75,54169444
	190	5	3	29,92	0,058311111	5,058311111	75	36	25,77	0,607158	75,60715833
	191	5	4	22,06	0,072794444	5,072794444	75	31	31,03	0,525286	75,52528611
	192	4	59	35,47	0,993186111	4,993186111	75	34	43,69	0,578803	75,57880278
	193	4	59	31,97	0,992213889	4,992213889	75	33	37,27	0,560353	75,56035278

	195	5	3	41,0646	0,061406833	5,061406833	75	28	40,566	0,477935	75,477935
	196	5	4	31.074	8,698333333	13,69833333	75	29	35,7	0,49325	75,49325
	198	5	4	83.994	23,39833333	28,39833333	75	30	37,44	0,5104	75,5104
	199	4	59	15,65	0,987680556	4,987680556	75	35	32,1	0,59225	75,59225
	203	5	4	0,48	0,0668	5,0668	75	31	6,24	0,5184	75,5184
	204	5	2	27,17	0,040880556	5,040880556	75	29	11,6	0,486556	75,48655556
	205	5	5	0,38	0,083438889	5,083438889	75	40	9,55	0,669319	75,66931944
	207	4	59	36,1	0,993361111	4,993361111	75	33	7,55	0,552097	75,55209722
	208	4	54	32,8	0,909111111	4,909111111	75	25	37,5	0,427083	75,42708333
	209	5	2	29,15	0,041430556	5,041430556	75	26	44,45	0,445681	75,44568056

ANEXO 5. Lista de estaciones del departamento de Caldas

Estacion	Tipologia	Altitud	Propietario	Estado	Longitud	Latitud
MARQUETALIA- ALCALDÍA	M	1591	Corpocaldas	Activa	-7505725	5.299.055.556
RÍO RISARALDA- LA PALMERA	H	1016	Corpocaldas	Activa	-754437	5.115.441.667
NEIRA- HOGARES JUVENILES	M	2053	Corpocaldas	Activa	-7551713889	5.158.472.222
VILLAMARÍA- HOSPITAL	M	1790	Corpocaldas	Activa	-7551858333	5.048.444.444
MARULANDA - EL PÁRAMO	M	3110	Corpocaldas	Activa	-7534952778	5.300.916.667
QUEBRADA TESORITO	H	2314	Corpocaldas	Activa	-7543423889	503.775
QUEBRADA OLIVARES- EL POPAL	H	1960	Corpocaldas	Activa	-7547722222	5.064.944.444
RÍO GUACAICA- CHEC	H	1612	Corpocaldas	Activa	-7549975	5.139.805.556
RÍO GUACAICA- EL JORDAN	H	929	Corpocaldas	Activa	-7565845556	5.109.861.111
RÍO PENSILVANIA - MICROCENTRAL	H	1793	Corpocaldas	Activa	-7513497222	5.385.111.111
RÍO POZO	H	840	Corpocaldas	Activa	-7555991667	5.445.472.222
RÍO RIOCLARO- LA GUAYANA	H	1807	Corpocaldas	Activa	-7551038056	4.950.619.444
RÍO SANTO DOMINGO- MANZANARES	H	1450	Corpocaldas	Activa	-7514072222	5.208.972.222
RÍO SUPÍA- LOS PIONONOS	H	817	Corpocaldas	Activa	-7561616667	5.379.472.222
RÍO SUPÍA- SUPÍA	H	1239	Corpocaldas	Activa	-7565698889	54.557
SALAMINA - CHEC	M	2078	Corpocaldas	Activa	-7548658333	5.390.416.667
MANZANARES	M	1941	Corpocaldas	Activa	-7515394444	5.261.138.889
ALCÁZARES	M	2057	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7552775	5.066.722.222
ARANJUEZ	M	1915	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7550044444	5.042.833.333
BOSQUES DEL NORTE	M	2126	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7548861111	5.083.055.556
CHEC-URIBE	M	1940	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7553503889	5.051.930.556
EL CARMEN	M	2112	Alcaldada de Manizales - OMPAD	Activa	-7551977778	50.615
EMAS	M	2060	EMAS S.A E.S.P	Activa	-7550894167	5.080.394.444
LA NUBIA	M	2092	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7547222222	5.028.916.667
HOSPITAL DE CALDAS	M	2183	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7550058333	5.062.944.444
INGEOMINAS	M	2226	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7552430556	5.071.444.444
LA PALMA	M	1967	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7552941667	5.095.972.222
MILAN- PLANTA NIZA	M	2256	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7547990833	7.552.941.667
POSGRADOS	M	2179	Universidad Nacional de Colombia	Activa	-7549230556	5.056.166.667

QUEBRADA PALOGRANDE- RUTA 30	H	2002	Universidad Nacional de Colombia	Activa	-7550418611	5.058.494.444
YARUMOS	M	2195	Alcaldía de Manizales - OMPAD	Activa	-7548128611	5.063.222.222
EL CISNE P.N.N.N.	M	4812	Corpocaldas	Activa	-7536663889	48.235
CUMANDAY P.N.N.N.	M	5072	Corpocaldas	Activa	-7533947222	4.893.805.556
QUEBRADA MOLINOS P.N.N.N.	H	4240	Corpocaldas	Activa	-7536547222	4.914.944.444
QUEBRADA NEREIDAS P.N.N.N.	H	4450	Corpocaldas	Activa	-7535708333	4.880.833.333
RÍO RIOCLARO P.N.N.N.	H	4178	Corpocaldas Universidad Nacional	Activa	-7537047222	4.845.388.889
CENICAFÉ	M	1310	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-75.6	5
LA DIVISA	PV	1590	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-75.6	4.983.333.333
LA FRANCIA	PV	1267	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7568333333	4.983.333.333
LA ROMELIA	PG	1335	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7566666667	4.966.666.667
LA SIERRA	PV	1440	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7563333333	4.983.333.333
LOS POMOS	PM	1583	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7558333333	4.966.666.667
MORAVO	PV	1146	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7571666667	5.016.666.667
NARANJAL	PP	1381	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-75.65	4.966.666.667
AGRONOMÍA	PP	2088	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-75.5	5.05
ALMACAFÉ	PP	3684	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7533333333	5.05
JAVA	PV	1778	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7553333333	5.016.666.667
LA FLORA	PG	1581	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7556666667	5.016.666.667
LA SELVA	PV	1312	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-75.6	5.083.333.333
LAS COLINAS	PV	1450	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7556666667	5.1
PLANALTO	PP	1413	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7558333333	4.983.333.333
SANTA TERESA	PV	1698	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7553333333	5.116.666.667
SANTA TERESITA	PV	1172	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7561666667	5.066.666.667
REPETIDORA EL RECREO	R	1430	Corpocaldas	Inactiva	-75.65	5.003.333.333
GRANJA LUKER	PP	1031	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7568333333	5.066.666.667
LA ARGENTINA	PV	1354	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7568333333	5.033.333.333
LA MARGARITA	PG	1436	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7561666667	5.033.333.333
SANTA ANA	PV	1278	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7568333333	5.016.666.667
SANTÁGUEDA	R	1026	Federación Nacional de Cafeteros	Inactiva	-7566666667	5.006.666.667
RÍO TOTÚ	H	1018	CARDER	Activa	-7593496111	4.973.511.111

RÍO DOÑA JUANA	H	210	Corpocaldas	Activa	-7569125	5.500.327.778
RÍO PÁCORA	H	1718	Corpocaldas	Activa	-7545808889	5.541.027.778
RÍO TAPIAS	H	825	Corpocaldas	Activa	-7563774167	5.222.675
SUBESTACIÓN SAN FRANCISCO	H	1118	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7573208333	5.011.861.111
SUBESTACIÓN LA ESTRELLA	H	1232	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7568780556	4.979.083.333
SUBESTACIÓN LA ESMERALDA	H	1249	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7564741667	5.001.638.889
SUBESTACIÓN CAMPOALEGRE	H	1350	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7562297222	4.968.361.111
SUBESTACIÓN MONTEVIDEO	H	1391	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7558097222	4.997.083.333
SUBESTACIÓN MUNICIPAL	H	1737	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7552097222	5.050.269.444
SUBESTACIÓN SANCANCIO	H	1947	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7548316667	503.775
SUBESTACIÓN GUACAICA	H	1645	CHEC S.A E.S.P	Activa	-7549358333	5.142.388.889
RIO CHINCHINÁ CENICAFÉ	H		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7560323056	4.991.811.111
RIO RIOCLARIO - LA BATEA	H		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7553681944	4.964.419.444
LICEO ISABEL LA CATÓLICA	M			Activa		
GOBERNACIÓN DE CALDAS	CA	2161	Corpocaldas y Universidad Nacional de Colombia	Activa	-7551713889	5.068.472.222
PALOGRANDE	CA	2154	Universidad Nacional de Colombia	Activa	-7549202778	5.056.222.222
LA NUBIA	CA	2091	Universidad Nacional de Colombia	Activa	-7547166667	5.029.722.222
LICEO ISABEL LA CATÓLICA	CA	2156	Corpocaldas	Activa	-75475	5.066.361.111
MILLÁN- INVERMEC	CA		Corpocaldas	Activa	-75.49	5.049.602.778
MALTERÍA	CA	2161	Corpocaldas	Activa	-7543156111	5.042.066.667
PAL-06 - EscuelaDeEnfermería	AF			Activa		
PAL-05 - CAIDePalermo	AF			Activa		
PAL-04 - CanchaDeLaItalia	AF			Activa		
PAL-03 - ParqueDeLasGarzas	AF			Activa		
PAL-02 - BibliotecaSalmonaUDeC	AF			Activa		
PAL-01 - ConexiónPalermoFatima	AF			Activa		
EST-06 - PatinódromoUDP	AF			Activa		
EST-05 - AuditórioUN	AF			Activa		
EST-04 - ParqueLaEstrella	AF			Activa		
EST-03 - AvenidaParalela	AF			Activa		
EST-02 - Velódromo	AF			Activa		
EST-01 - JardínBotánico	AF			Activa		

QUEBRADA MANZANARES- IBC	H	1100	Corpocaldas	Activa	-75607225	5.060.177.778
QUEBRADA LAS PAVAS- AUTOPISTAS DEL CAFÉ	H	1250	Corpocaldas	Activa	-7558742222	502.655
QUEBRADA LA FRANCIA- LOS PUENTES	H	1620	Corpocaldas	Activa	-7554614722	5.062.216.667
QUEBRADA EL ROSARIO- SAN MARCOS DE LEÓN	H	1630	Corpocaldas	Activa	-7554763056	5.063.927.778
QUEBRADA EL GUAMO- CDI SAN SEBASTIÁN	H	1659	Corpocaldas	Activa	-7549030556	5.089.916.667
QUEBRADA EL BOHÍO	H	1690	Corpocaldas	Activa	-7551122222	5.111.930.556
SAN JOSÉ	M	1728	Corpocaldas	Activa	-7579004167	5.091.055.556
QUEBRADA MARMATO- PLANTA CHEC	H	1784	Corpocaldas	Activa	-7551768611	5.050.966.667
Q. PALOGRANDE TERMINAL DE TRANSPORTES	H	1890	Corpocaldas	Activa	-7550643333	5.050.191.667
RÍO CHINCHINÁ BOSQUE POPULAR	H	1970	Corpocaldas	Activa	-7547791389	5.031.777.778
QUEBRADA SALINAS-RELLENO SANITARIO EMAS	H	2014	Corpocaldas	Activa	-7550899167	5.078.747.222
QUEBRADA OLIVARES- BOMBEROS VOLUNTARIOS	H	2030	Corpocaldas	Activa	-7550012778	5.070.727.778
QUEBRADA EL GUAMO- LAVADERO LOS PUENTES	H	2032	Corpocaldas	Activa	-7549578056	5.070.833.333
QUEBRADA EL PERRO- EXPOFERIAS	H	2032	Corpocaldas	Activa	-7547488889	5.042.136.111
QUEBRADA EL TRIUNFO- MIRADOR DE VILLAPILAR	H	2046	Corpocaldas	Activa	-7552618056	5.089.147.222
QUEBRADA OLIVARES -AGUAS DE MANIZALES	H	2064	Corpocaldas	Activa	-7548544444	5.063.133.333
ENTRADA A SOLFERINO	A S	2072	CORPOCALDAS - SAT	Activa	-754896	5.076.166.667
PERALONSO-CHEC	M	2094	Corpocaldas	Activa	-7549939444	5.073.933.333
QUEBRADA CRISTALES- VALLE DE LA ALHAMBRA	H	2102	Corpocaldas	Activa	-7545681667	5.038.002.778
CISCO-BOSQUES DEL NORTE	A S	2117	CORPOCALDAS	Activa	-7549144444	5.083.722.222
GIMNASIO CAMPESTRE LA CONSOLATA	A S	2151	Corpocaldas	Activa	-7545836111	5.040.305.556
QUEBRADA OLIVARES- BOCATOMA RÍO BLANCO	H	2240	Corpocaldas	Activa	-7544713611	5.065.355.556
FAMILIA AMADOR- MALTERIA	A S	2393	Corpocaldas	Activa	-7543221944	5.043.944.444
ANTENAS-ALTO DEL GUAMO	M	2410	Corpocaldas	Activa	-75478725	5.096.666.667
FINCA LA PAZ	M	2502	Corpocaldas	Activa	-7541924167	5.034.425

EL MIRADOR	M	2570	Corpocaldas	Activa	-7543843056	5.072.513.889
Q. MANIZALES- SKINCO	H	2750	Corpocaldas	Activa	-754303	50.388
HACIENDA MANZANARES	M	2900	Corpocaldas	Activa	-754113	50.545
ALTO DE LA COCA	M	2930	Corpocaldas	Activa	-75418275	5.081.530.556
CENTRAL CALDAS	C		UGR Manizales-CORPOCALDAS-UNAL	Activa	-754913	50.566
CENTRAL CHEC	C		UGR Manizales-CORPOCALDAS-UNAL	Activa	-754913	50.566
CENTRAL NEVADOS	C		UGR Manizales-CORPOCALDAS-UNAL	Activa	-754913	50.566
CENTRAL SAT MANIZALES	C		UGR Manizales-CORPOCALDAS-UNAL	Activa	-754913	50.566
CENTRAL UDEGER	C		UGR Manizales-CORPOCALDAS-UNAL	Activa	-754913	50.566
CENTRAL UGR	C		UGR Manizales-CORPOCALDAS-UNAL	Activa	-754913	50.566
EL DESTIERRO	A S		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7554169444	4.979.666.667
LA MANUELA	A S		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7560715833	5.058.311.111
REPETIDORA CHIPRE	R		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7552528611	5.072.794.444
MONTEVIDEO	A S		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7557880278	4.993.186.111
RÍO CHINCHINÁ EL BOSQUE	H		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7556035278	4.992.213.889
ESCUELA DE CARABINEROS	A S		Corpocaldas	Activa	-75477935	5.061.406.833
ASUNCIÓN-CONFA	A S			Activa	-7549325	5.067.529.833
BOMBEROS FUNDADORES- SAT	A			Activa		
BOMBEROS FUNDADORES- UDEGER	A		Corpocaldas	Activa	-755104	5.068.999.833
EL PESCADOR	A S		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7559225	4.987.680.556
MOLINOS	A S			Activa		
MÓVIL (GOBERNACIÓN)	M M			Activa		
FINCA PIRINEOS - CHEC	M			Activa		
REPETIDORA CORPOCALDAS	R		Corpocaldas	Activa	-755184	50.668
RÍO CHINCHINÁ JARDINES	H		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7548655556	5.040.880.556
SANTÁGUEDA	A S		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7566931944	5.083.438.889
SUPÍA- BOMBEROS	A S			Activa		
RIOCLARO	A S		Gobernación de Caldas - Udeger	Activa	-7555209722	4.993.361.111
QUEBRADA NEREIDAS- CHEC	H		CHEC	Activa	-7542708333	4.909.111.111
QUEBRADA GUAYABAL- RECINTO DEL PENSAMIENTO	H	2172	Corpocaldas	Activa	-7544568056	5.041.430.556
Q. Rosario Autopistas	H	1131	Corpocaldas	Activa		

ANEXO 6. Zonificación climática del departamento de caldas mediante el uso de un SIG:

Para esta clasificación se toma como base de partida los datos de clima como son la precipitación media anual y temperatura media multianual. Estos datos corresponden a 27 estaciones de la bodega de datos del CDIAC. En el Quantum GIS se cargaron los datos de clima que elegimos para la clasificación climática de Caldas. el índice de Lang exige que tenga una superficie de precipitación y temperatura, para hacerlo espacialmente que represente un área de la región del departamento de caldas realizamos una interpolación con la técnica IDW a través de QGIS, así:

En el menú ráster de QGIS selecciono interpolación (figura 1)

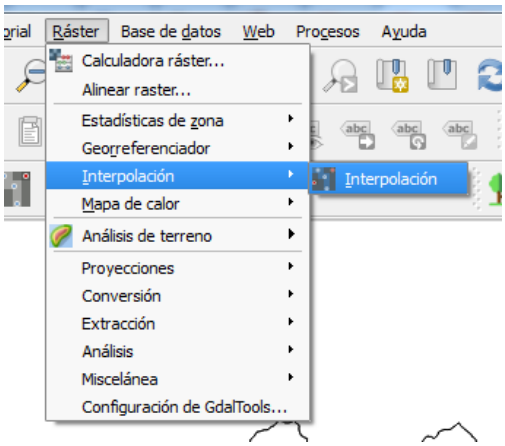


Figura 24 Menú ráster para realizar interpolación

Carga la siguiente pantalla (Figura 2)

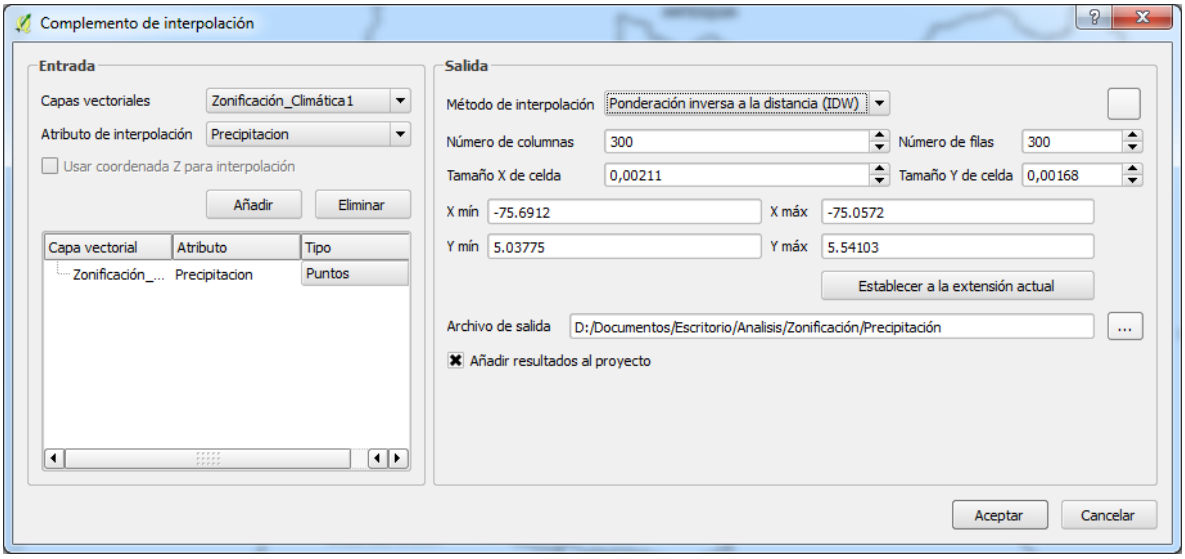


Figura 25 *Formulario para diligenciar y establecer la interpolación en QGIS*

Se ingresa el archivo de entrada que para este caso es zonificación climática1, el atributo de interpolación es precipitación y se añade. En el apartado de salida seleccionar el método IDW, seleccionamos la ubicación del archivo de salida. La salida está en formato ASCII genera 2 archivos uno con la información de las precipitaciones (. asc) y otro con la información de la proyección (.prj) y aceptar. Con este proceso se genera el raster de precipitación (ver figura 3) que es el primer insumo para la clasificación climática.

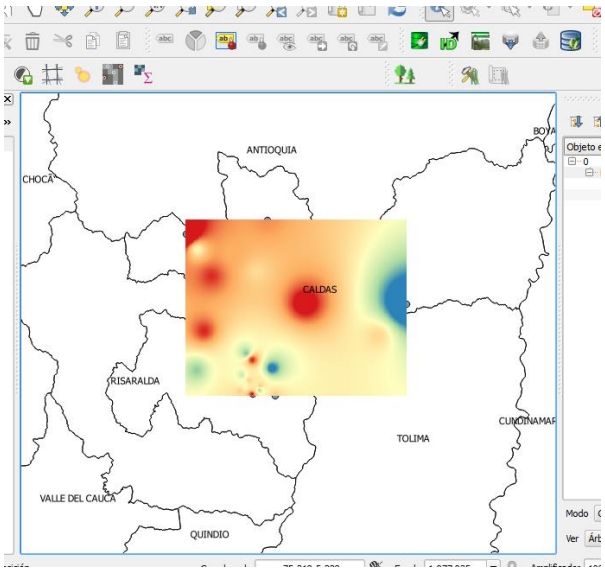


Figura 26 *Raster de precipitación*

Como el factor R de Lang se calcula con la temperatura media, por lo tanto, calculamos la temperatura máxima y mínima. Se realiza el mismo procedimiento anterior para las temperaturas: TMax (figuras 4 y 5)

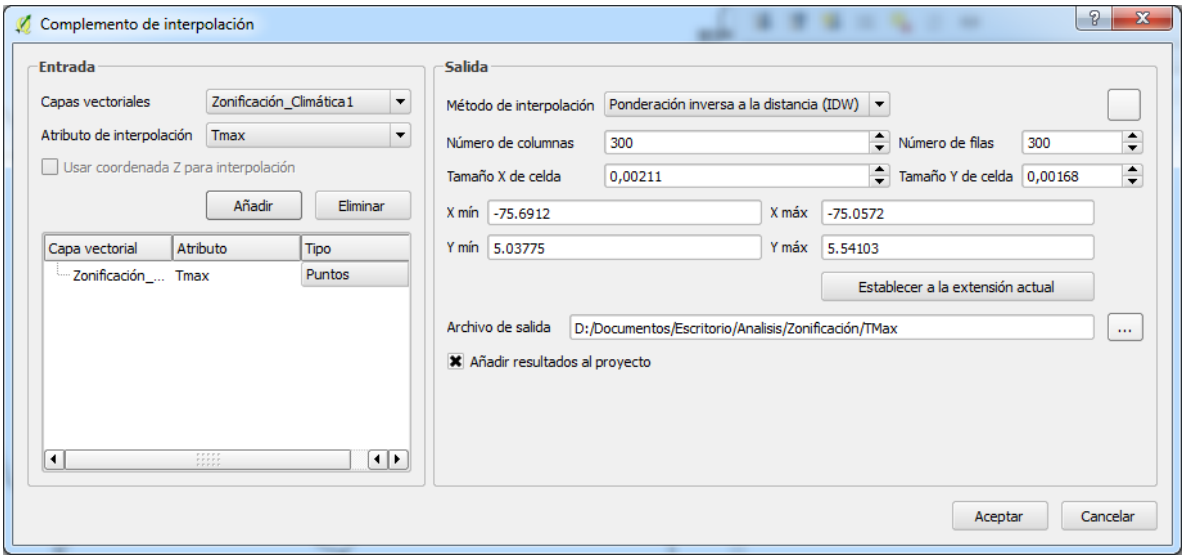


Figura 27 *Formulario para temperatura Máxima*

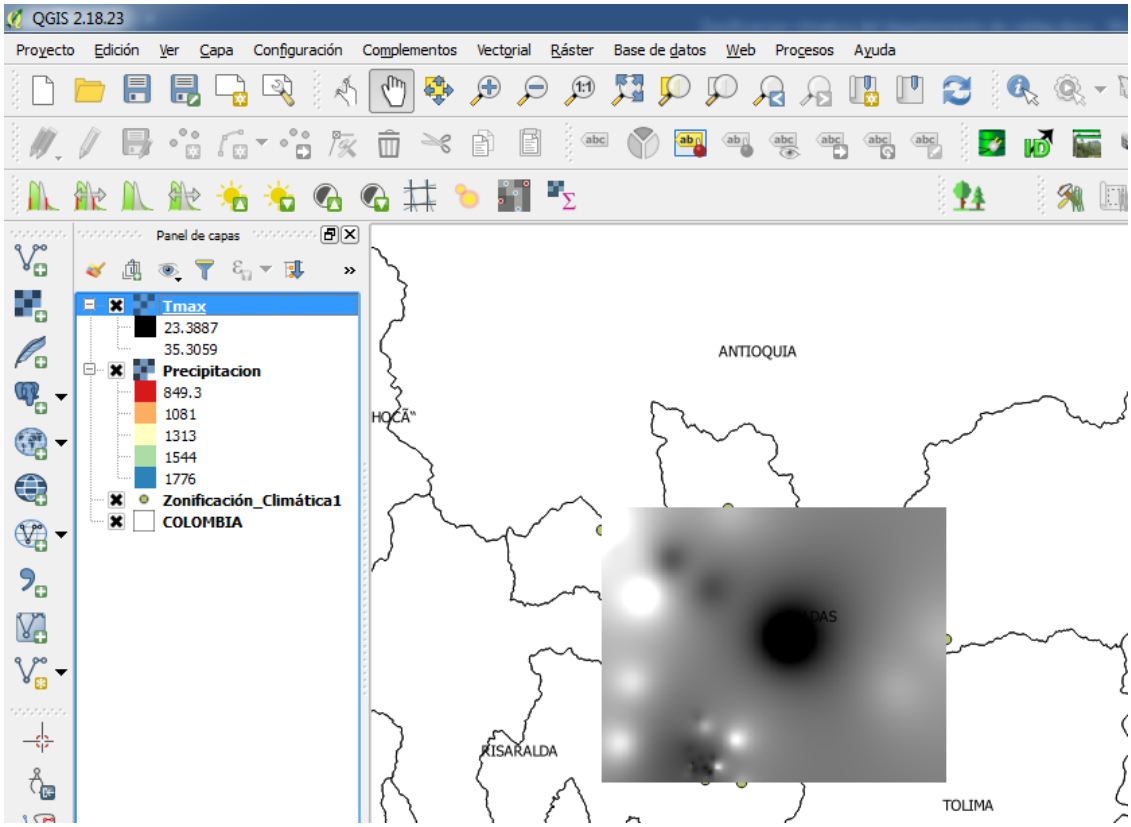


Figura 28 *Raster de temperatura Máxima*

Para la temperatura mínima (ver figuras 6 y 7):

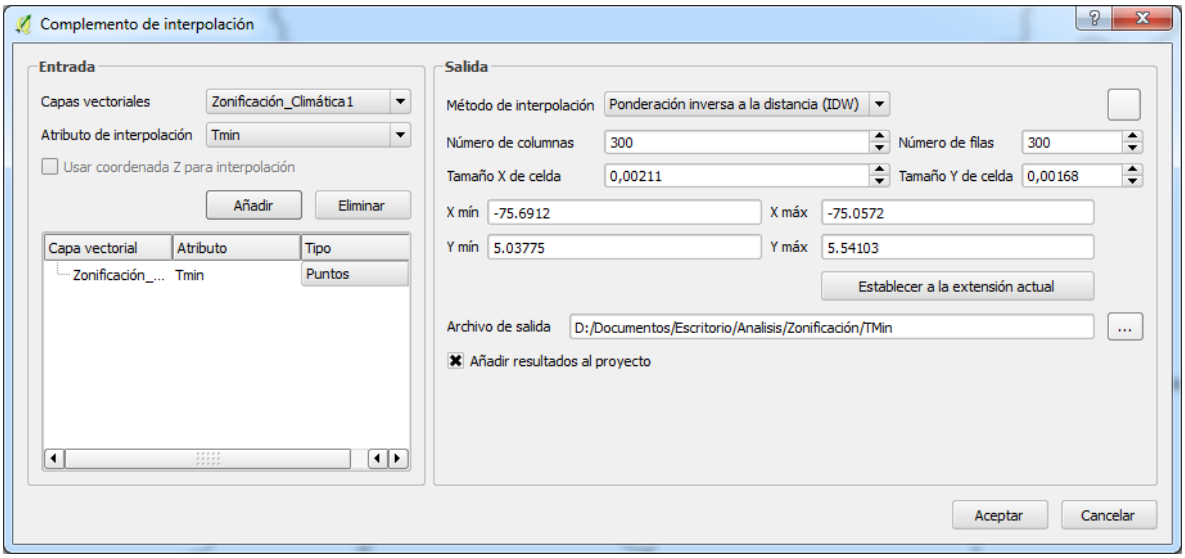


Figura 29 *Formulario para temperatura mínima*

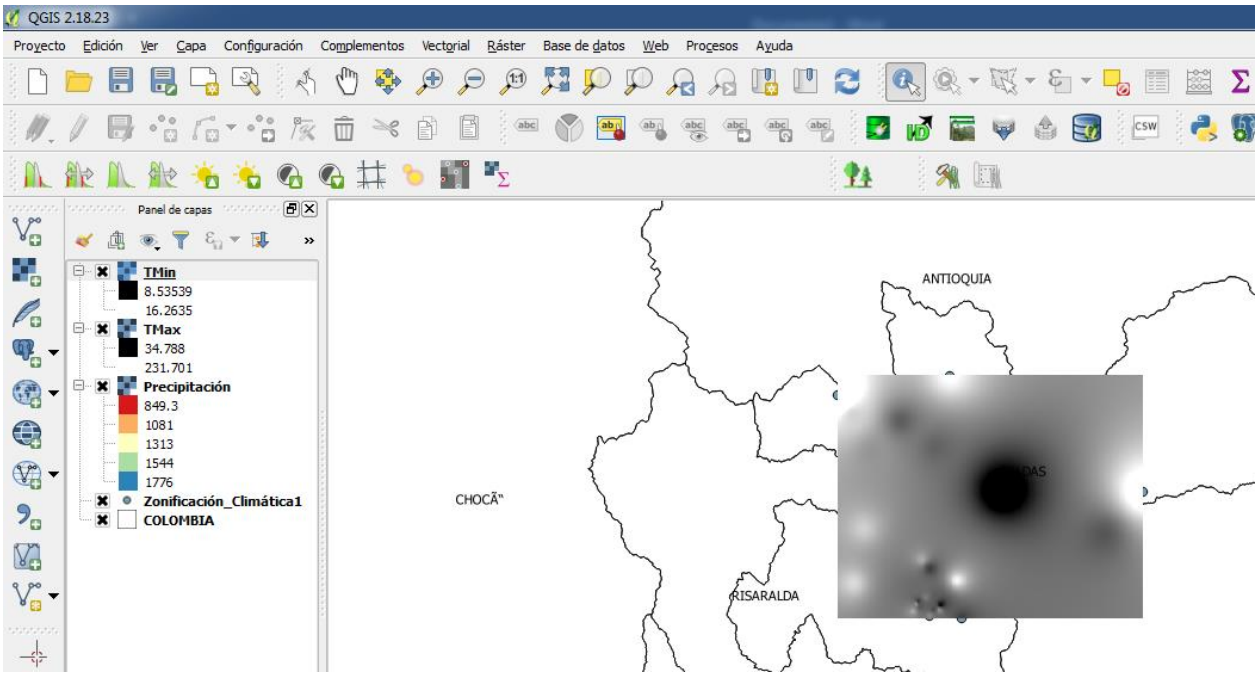


Figura 30 *Raster de temperatura mínima*

Para calcular la temperatura media hacemos lo siguiente:

En QGIS en el menú Raster elegir calculadora raster (figura 8)

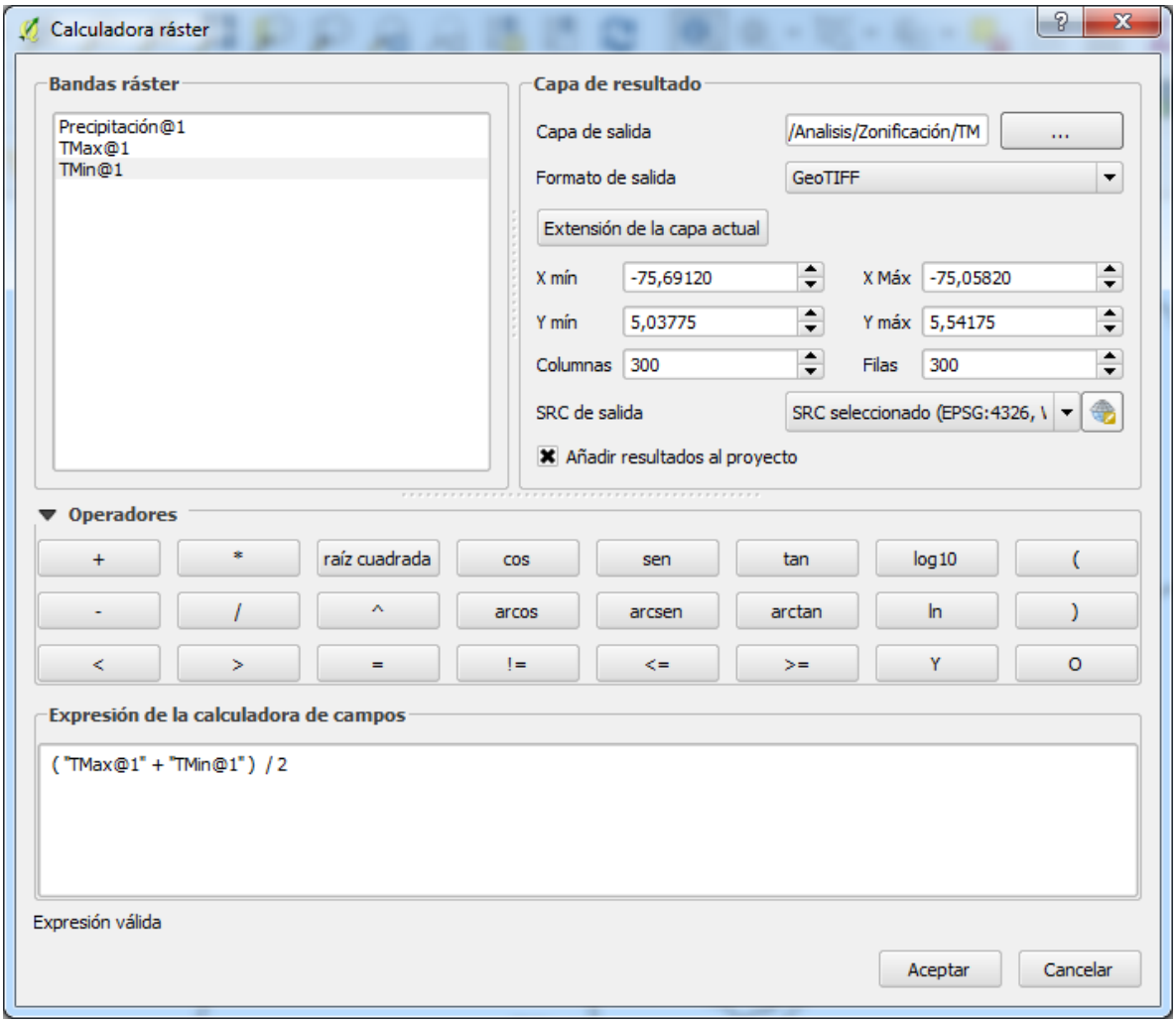


Figura 31 *Formulario de la calculadora ráster para calcular temperatura media*

La temperatura media se obtiene mediante el promedio de la temperatura máxima y mínima, se ubica la salida de la capa, elegir el formato GeoTiff y aceptar. Así se obtiene el raster de temperatura media (ver figura 9)

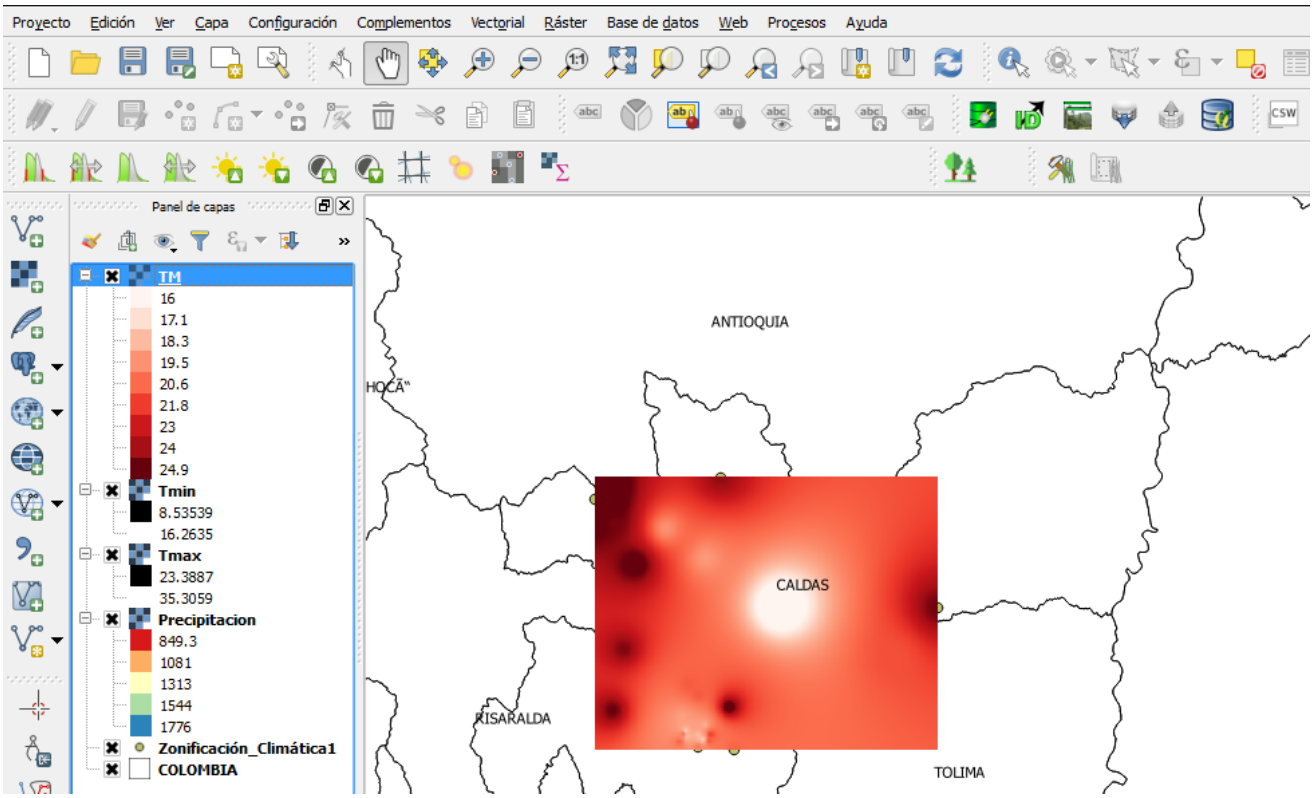


Figura 32 *Ráster de temperatura media*

A continuación, calculamos el factor R de Lang, así: en calculadora raster dividimos la precipitación entre la temperatura media, ubicamos la carpeta para capa de salida y aceptar (ver figura 10 y 11)

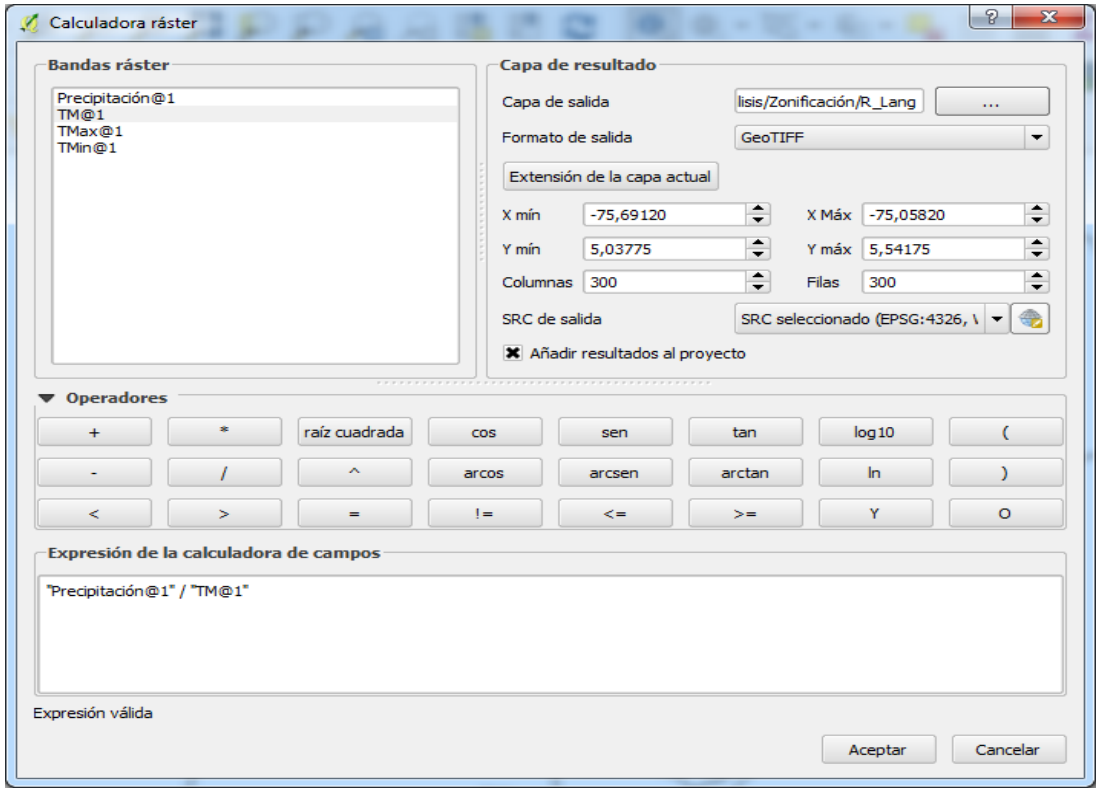


Figura 33 *Formulario calculadora ráster para calcular factor Lang*

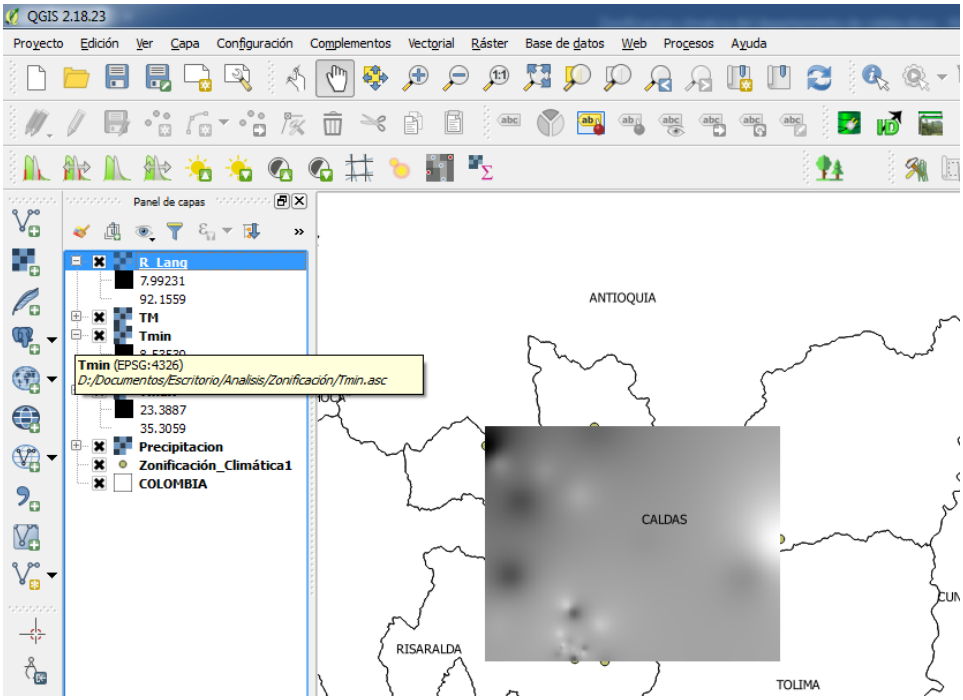


Figura 34 *Ráster del factor R de Lang*

Para mostrar los máximos y mínimos absolutos del raster entramos a propiedades de la capa raster, en la opción Estilo, desplegamos opción cargar valores min/max lo marcamos y luego le damos la opción cargar.

La capa del factor R_lang fluctúa entre 24-631 (24-631), que de acuerdo a la tabla de Lang sobre clasificación de clima estaríamos entre clima desértico y semihúmedo.

Para obtener las categorías de Lang en nuestra imagen, debemos reclasificar el raster.

Activamos la caja de herramientas de procesos así: en el menú procesos de QGIS elegimos caja de herramientas para utilizar las funciones de GRASS, GDAL, SAGA, etc. (figura 12)

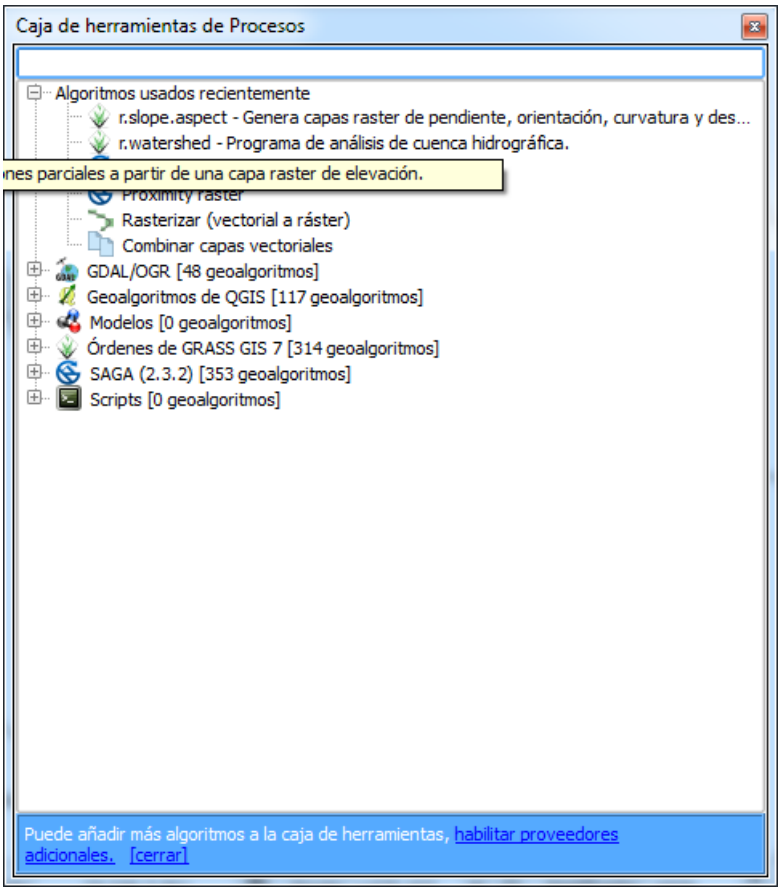


Figura 35 *Caja de herramienta de procesos GRASS*

De la caja de herramientas utilizamos la función **r.reclass** de GRASS, para crear una nueva capa con valores basados en una reclasificación de un ráster existente, elegimos el ráster de entrada (R_Lang) y cargamos el archivo .txt (ver figura 13, 14) el cual se preparó con anterioridad y que contiene la clasificación Lang sobre el clima, luego ejecutamos, como aparece en la figura 15.

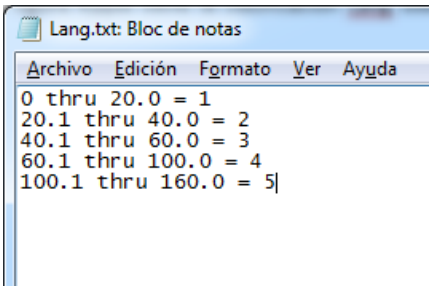


Figura 36 *Estructura archivo de clima según Lang*
Elaboración propia

COCIENTE P/T	CLASE DE CLIMA
0 a 20.0	Desértico
20.1 a 40.0	Árido
40.1 a 60.0	Semiárido
60.1 a 100.0	Semihumedo
100.1 a 160.0	Húmedo
Mayor a 160.0	Superhumedo

Figura 37 *Clases de clima según Lang*
Fuente: Clasificación climática IDEAM

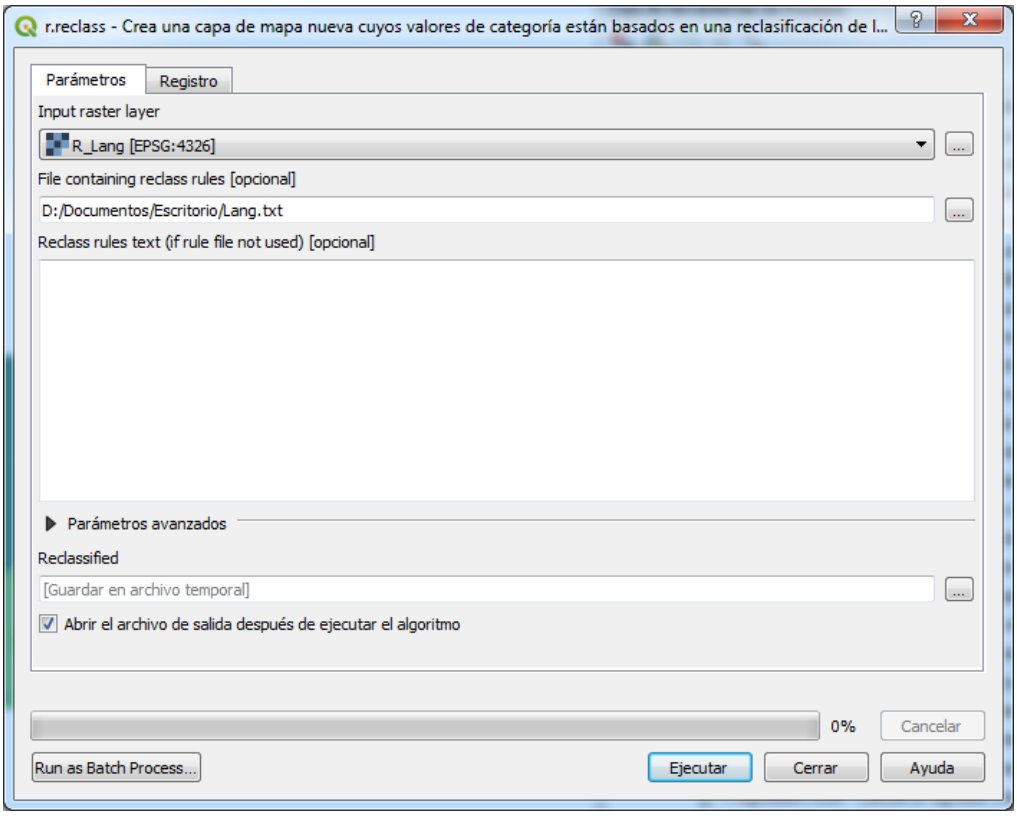


Figura 38 *Formulario para reclasificación del ráster factor R_Lang*

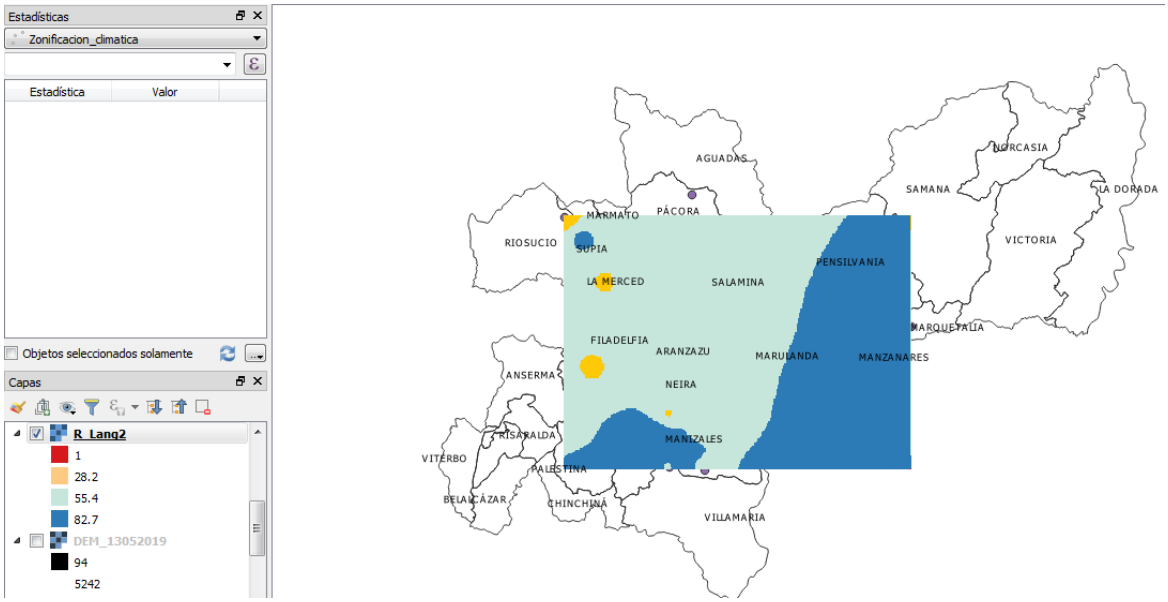


Figura 39 *Ráster del factor R-Lang*

En la figura 16 se observa la salida del factor de Lang demostrando que tan seco o que tan húmedo o más bien la humedad en un territorio, de acuerdo a la clasificación del clima de Lang y al archivo de texto que asociamos al raster (ver tabla 1), tenemos que:

Reclasificación SIG		COCIENTE P/T	CLASE DE CLIMA
	1	0 a 20.0	Desértico
	2	20.1 a 40.0	Árido
	3	40.1 a 60.0	Semiárido
	4	60.1 a 100.0	Semihúmedo

Tabla 10 Clasificación del clima Lang adpatado de Clasificación climática IDEAM

Como el factor R_lang fluctúa entre 24-631, y teniendo en cuenta la tabla 1, a groso modo se observa que la clasificación del clima de la región oscila entre desértico y semihúmedo. El clima desértico se encuentra al noroeste del municipio de Supía y noreste de Rio Sucio; el Árido al norte de los municipios de Supía, Filadelfia y Marmato, oeste de la Merced, sur de Supía, sureste de Riosucio, suroeste de Filadelfia, noroeste de Neira; el clima Semiárido una mínima parte del norte, noroeste y sur de Manizales, noroeste y sur de Neira, la zona centro, este, oeste y norte de Aránzazu, el noroeste de Marulanda y Pensilvania, el sur de Manzanares, municipios como Filadelfia, Salamina, La Merced, Pácora, Marmato y Supía en la mayor parte de su territorio; y el clima semihúmedo corresponde a la mayor parte del territorio de los municipios de Manizales, Neira, Palestina, Manzanares, Marulanda, Pensilvania, Marquetalia y un mínima parte del oeste del municipio de Salamina.

De acuerdo con lo anterior concluimos que, en su mayoría de la extensión del territorio del departamento de Caldas, corresponde a un clima semihúmedo o más bien a zonas semihúmedas. La parte semiárida corresponde a la zona centro, norte

y noroeste del territorio departamental, mientras que el clima Árido con pequeña presencia en el oeste y norte y el desértico se presenta mínimamente al norte.

Clasificación del clima según Caldas – Lang

Para este proceso utilizamos un modelo digital de elevación (DEM) de la región y se asocia a las capas para trabajar, verificamos si está mostrando los valores máximos y mínimos posibles en propiedades de la capa.
Ahora vamos a realizar la reclasificación utilizando la función r.reclass de GRASS, para obtener las zonas por altura, para esto generamos un archivo con la clasificación de Caldas (ver figura 17)

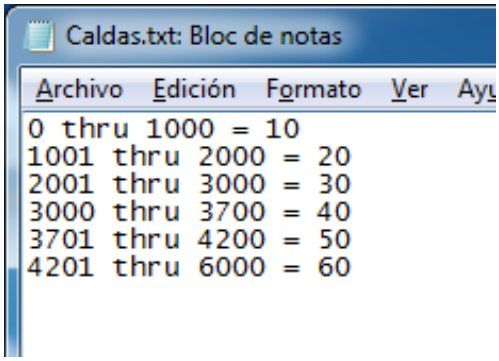


Figura 40 *Estructura txt según clasificación Caldas*

Elegir el DEM, adjuntar el archivo txt que contiene la clasificacion de Caldas, click en aceptar (figura 18) y asi obtenemos la clasificcion por elevación de la capa (figura 19).

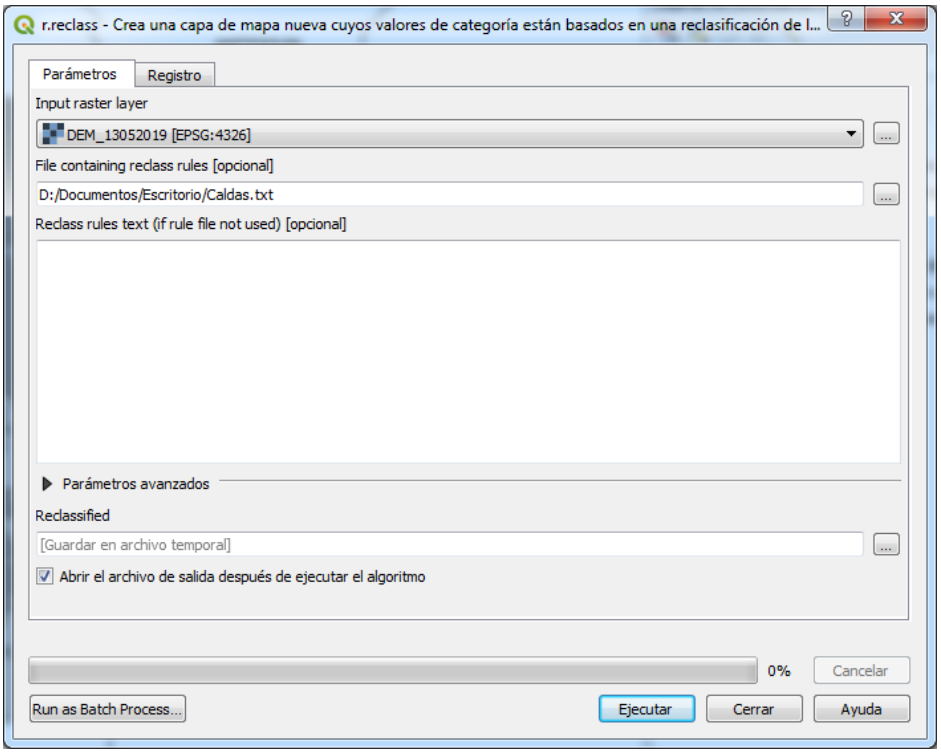


Figura 41 *Formulario para obtener clasificación por elevación*

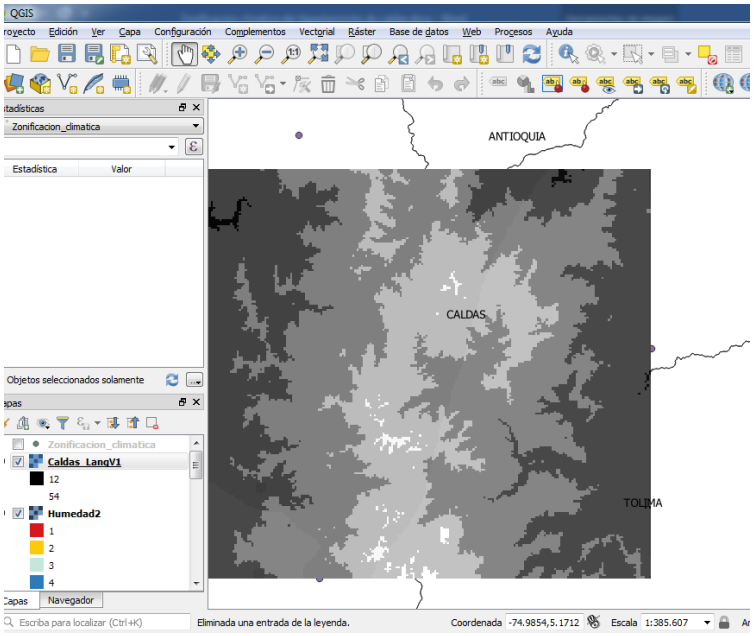


Figura 42 *Ráster por elevación*

Ahora combinamos los ráster de elevación y humedad para realizar análisis del clima de la región. En el menú ráster elegir calculadora ráster y sumar la elevación con la humedad (figura 20)

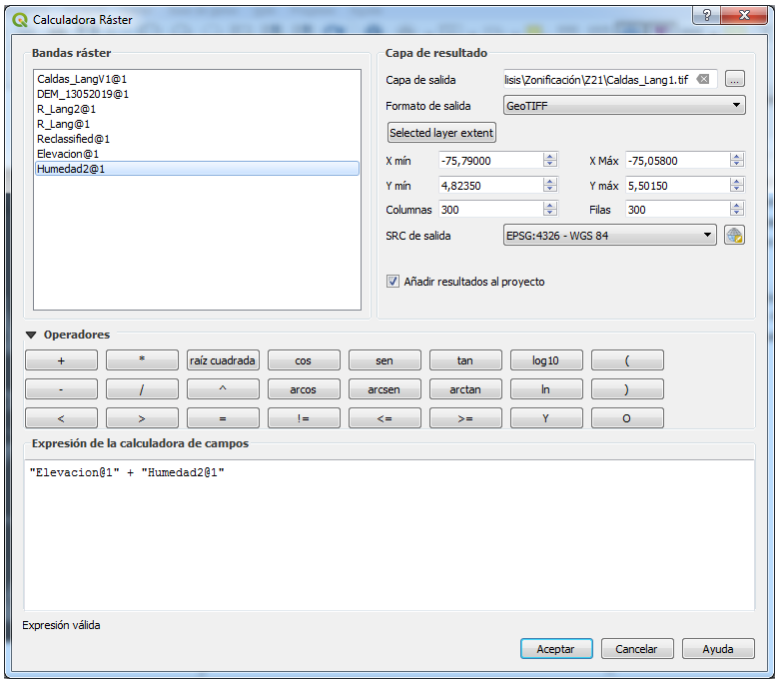


Figura 43 *Formulario para combinar raster de elevación y humedad*

Para continuar con la clasificación del territorio según Caldas_Lang vamos a vectorizar el raster que tenemos como resultado, mediante la función r.to.vect de GRASS, elegimos el ráster que se ha creado, lo llevamos a polígono con la opción área y ejecutamos (figura 21)

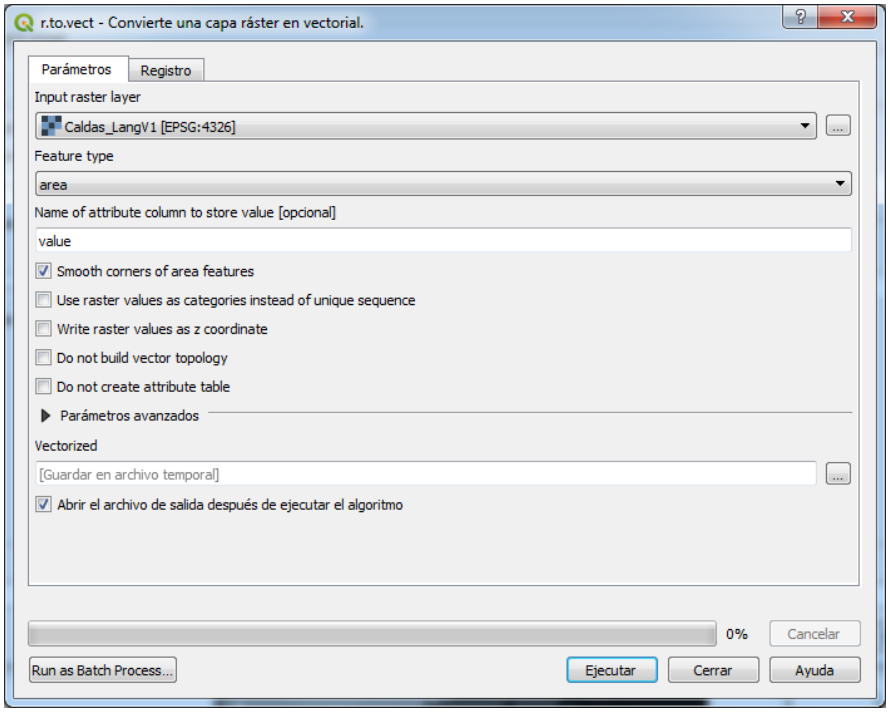


Figura 44 *Vectorización del raster para llevarlo a polígono*

Así obtenemos el resultado final vectorizado (figura 22).

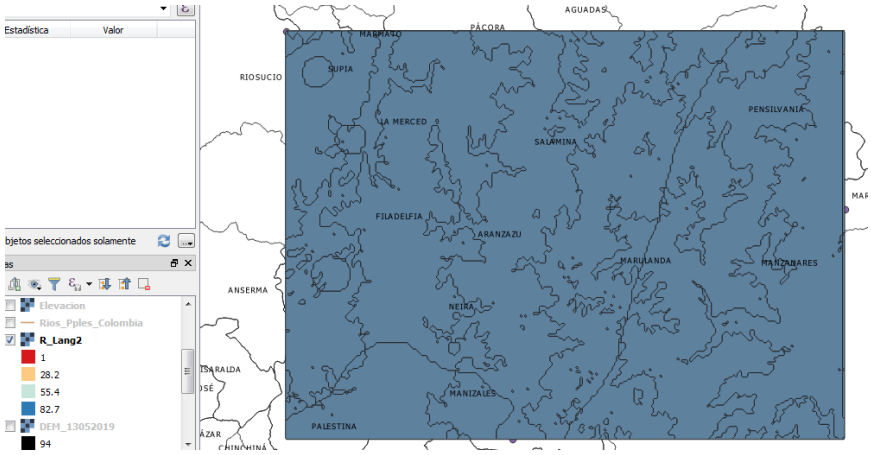


Figura 45 *Capa resultante de la vectorización*

El último paso es agregar a la tabla de atributos de la capa vectorial obtenida, la identificación correcta según la clasificación Caldas_Lang, mediante la adición de dos campos, uno como Clasificación y otro como Símbolo (figura 23)

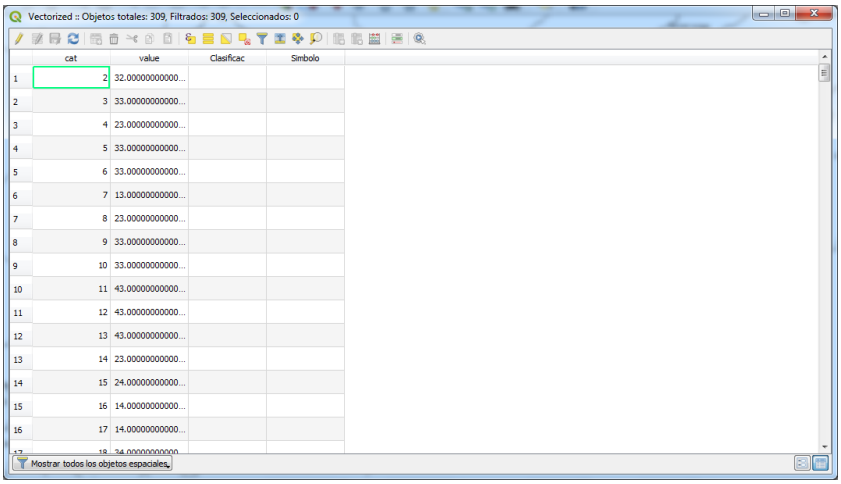


Figura 46 *Tabla de atributos para agregar clasificación Caldas-Lang*

Cargamos la clasificación Cladas_lang, mediante la función Polygon Disolve (by attribute) del módulo SAGA ubicado en la caja de herramientas de procesos (figura 24)

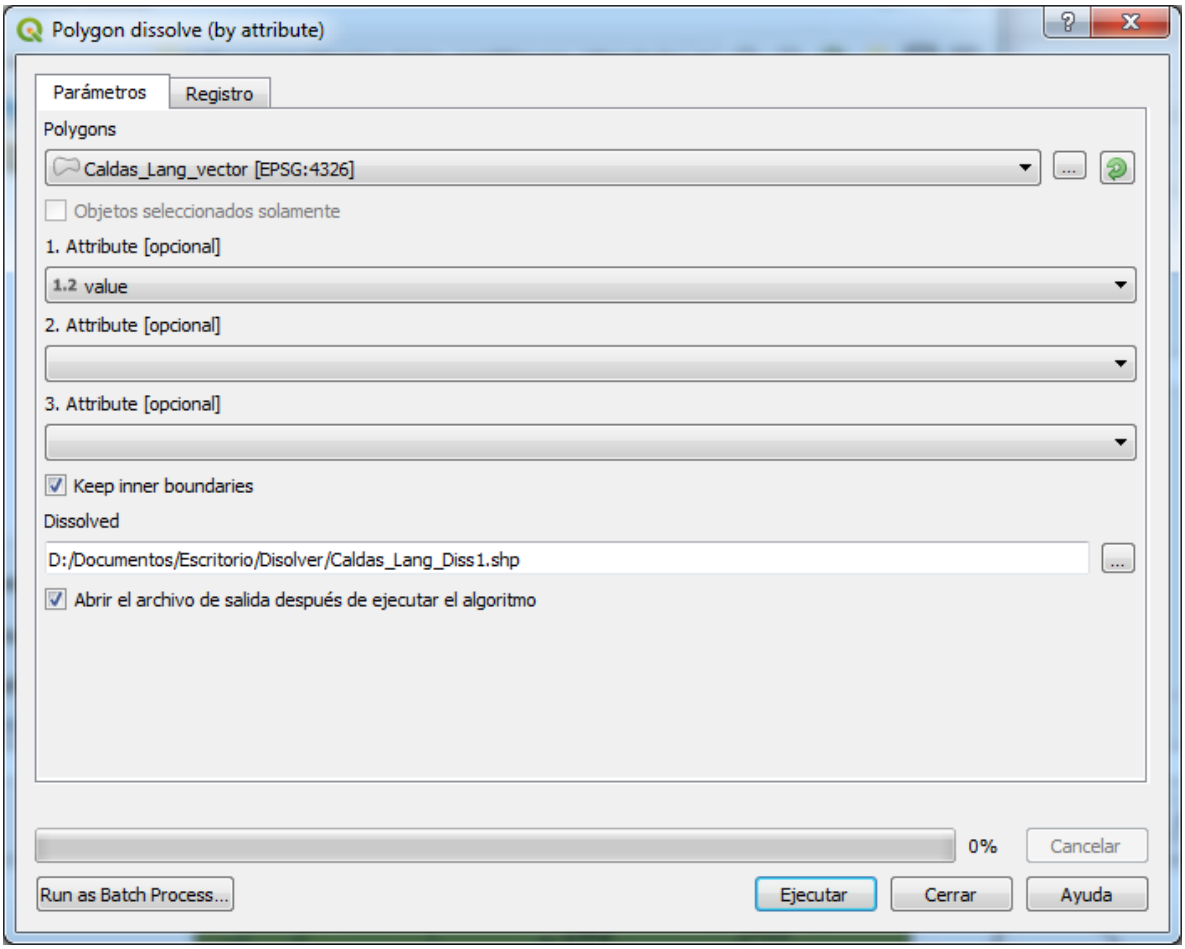
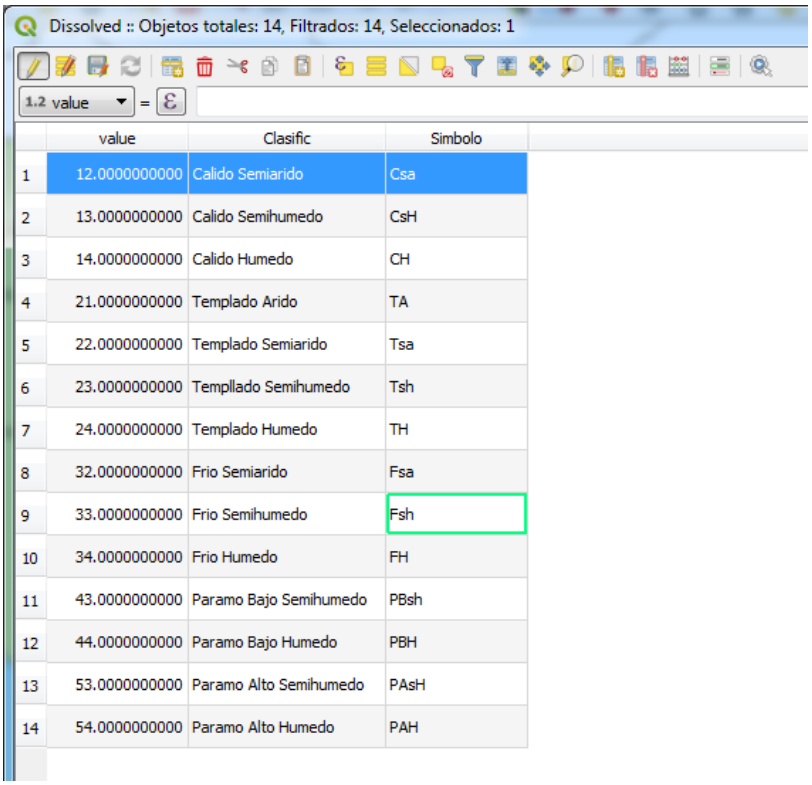


Figura 47 *Formulario de SAGA para ejecutar la función Polygon Disolve (by attribute)*

Así se obtiene la capa vectorial llamado Dissolved, revisamos su tabla de atributos e ingresamos los datos de la clasificación Caldas-Lang como se observa en la figura 25



	value	Clasific	Simbolo
1	12.0000000000	Calido Semiarido	Csa
2	13.0000000000	Calido Semihumedo	CsH
3	14.0000000000	Calido Humedo	CH
4	21.0000000000	Templado Arido	TA
5	22.0000000000	Templado Semiarido	Tsa
6	23.0000000000	Templlado Semihumedo	Tsh
7	24.0000000000	Templado Humedo	TH
8	32.0000000000	Frio Semiarido	Fsa
9	33.0000000000	Frio Semihumedo	Fsh
10	34.0000000000	Frio Humedo	FH
11	43.0000000000	Paramo Bajo Semihumedo	PBsh
12	44.0000000000	Paramo Bajo Humedo	PBH
13	53.0000000000	Paramo Alto Semihumedo	PAsH
14	54.0000000000	Paramo Alto Humedo	PAH

Figura 48 *Tabla de atributos para ingresar nombres y símbolos de la clasificación Caldas-Lang*

Por último, categorizamos la capa Dissolved (figura 26), para que podamos distinguir por colores la clasificación, elegir la opción Categorized y en columns símbolo, click en clasificar y aceptar.

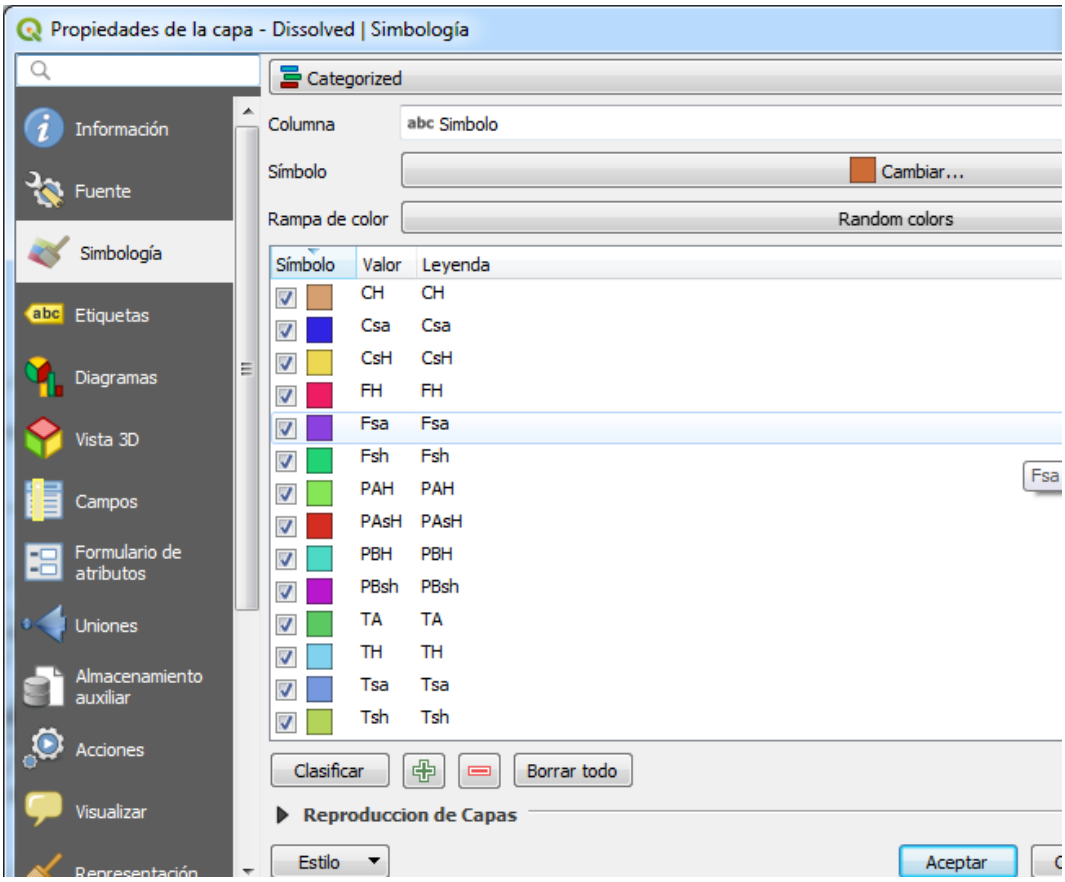


Figura 49 *propiedades de la capa Dissolved para categorizar por colores la clasificación*

Así obtenemos la capa final con la clasificación de Caldas-Lang con sus respectivos atributos (figura 27)

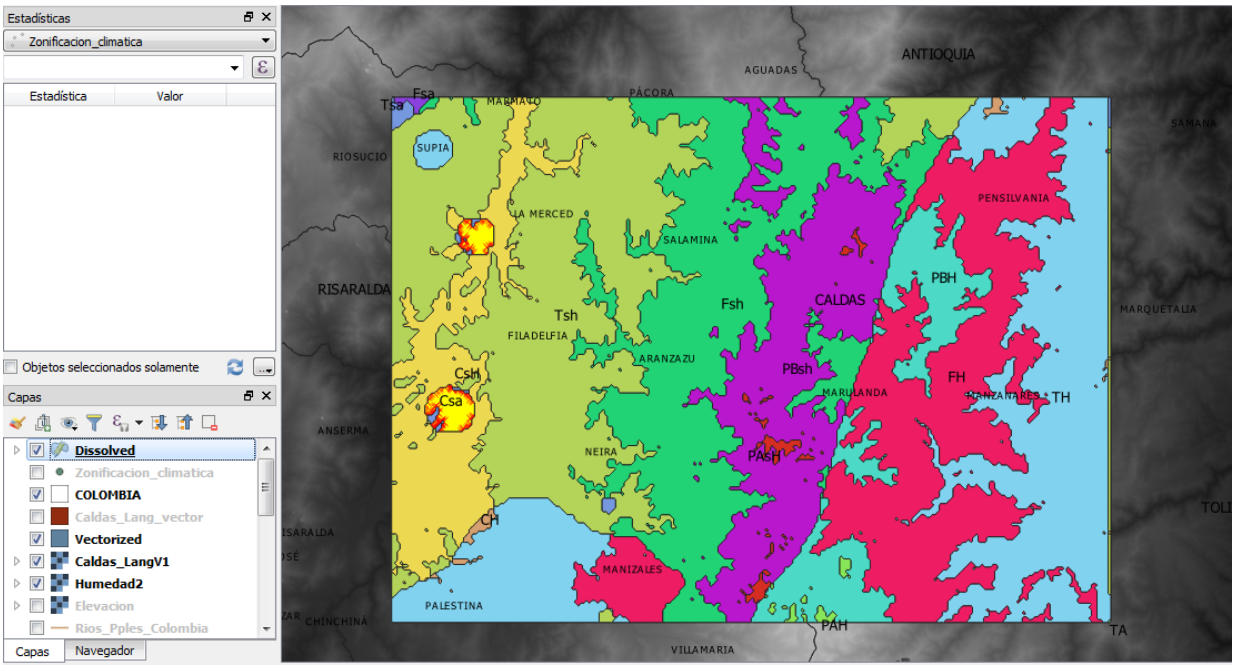


Figura 50 Capa de la clasificación de Caldas-Lang con sus respectivos atributos