



Base de Datos Espacial con la Información Geocronológica de Colombia en *PostgreSQL*

Eliana Marín Rincón

11792224577

Universidad Antonio Nariño

Programa de Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

Base de Datos Espacial con la Información Geocronológica de Colombia en *PostgreSQL*

Eliana Marín Rincón

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):

MSc. Raúl Echeverry Barreto

Codirector (a):

MSc. Mauricio Fernando Rocha Salamanca

Universidad Antonio Nariño

Programa de Especialización en Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

Agradecimientos

Quiero agradecer al grupo de investigación Mapa Geológico de Colombia, del grupo de trabajo de Cartografía geológica del Servicio Geológico Colombiano, por el suministro de la información de las dataciones radiométricas de Colombia publicadas entre 2015 y 2022. Esta información es el suministro base y del cual se seleccionaron los atributos principales que brindan la información más relevante de cada muestra. Esta colaboración permitió el desarrollo de este trabajo ya que se obtuvo la información compilada de más de 130 artículos científicos publicados en revistas indexadas, lo que permitió agilizar la preparación del insumo que fue cargado en la base de datos.

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Introducción	9
2. Obejtivos	10
2.1. Objetivo General	10
2.2. Objetivos Específicos.....	10
3. Planteamiento del Problema	11
4. Marco Conceptual.....	12
4.1. Conceptos Básicos de Geocronología	12
4.2. Técnicas de Datación Radiométrica y su Aplicación en la Geología	13
4.3. Conceptos Básicos de Bases de Datos	16
4.4. Diseño de Bases de Datos: Modelo Conceptual, Lógico y Físico	17
4.5. Tipos de Datos.....	18
4.5.1. Tipos de Datos Booleanos	18
4.5.2. Tipos de Datos de Caracteres	19
4.5.3. Tipos de Datos Numéricos	19
4.5.4. Tipos de Datos Temporales	19
4.6. Lenguaje SQL y sus Funciones Básicas Para Crear, Insertar, Modificar y Consultar ...	20
4.7. PostgreSQL y Postgis.....	22
5. Estado del Arte.....	24
5.1. DateView Geochronology Database	25
5.2. Relational Database of Global U/Pb Ages	25
5.3. East Asian Detrital Zircon Database (EaDz).....	25
5.4. PetroChron Antarctica.....	26
5.5. PATICE.....	26
5.6. Compilación de Edades Radiométricas de Colombia: Departamentos Andinos Hasta 1982.....	27
5.7. Catálogo de Dataciones Isotópicas en Colombia	28
5.8. Catálogo de Dataciones Radiométricas de Colombia	28
5.9. The Colombian Geochronological Database (CGD)	28
6. Metodología	29

6.1. Zona de Estudio.....	29
6.2. Insumos	31
6.3. Diseño de la Base de Datos Espacial con la Información Geocronológica de Colombia.....	33
6.4. Creación de la Base de Datos Espacial con la Información Geocronológica en <i>PostgreSQL</i>	34
6.5. Carga de la Información a la Base de Datos Geocronológica de Colombia	35
7. Resultados	37
8. Conclusiones	48
9. Recomendaciones	49
10. Referencias Bibliográficas.....	50

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Mapa político de Colombia y su localización en Suramérica.....	31
Figura 2: Sentencias que se utilizaron para asignar codificación latina, habilitar la extensión <i>Postgis</i> , agregar la columna de geometría y crear los puntos con las coordenadas de las muestras.	36
Figura 3: Metodología.	37
Figura 4: Modelo conceptual de la Base de Datos Geocronológica de Colombia.	41
Figura 5: Modelo lógico de la Base de Datos Geocronológica de Colombia.....	42
Figura 6: Modelo físico de la Base de Datos Geocronológica de Colombia.....	43
Figura 7: Base de datos espacial “dataciones ” con la tabla “dataciones_col” en <i>PostgreSQL</i> . .	43
Figura 8: Localización de la información geocronológica de Colombia cargada en la base de datos espacial y visualizada en <i>PostgreSQL</i>	44
Figura 9: Manipulación de la base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia de <i>PostgreSQL</i> con sentencia SQL de filtrado de información.	46
Figura 10: Conexión de la base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia de <i>PostgreSQL</i> con <i>Qgis</i>	47

Figura 11: Conexión de *PostgreSQL* con *Qgis* de la base de datos espacial con la información de las dataciones por el método Ar-Ar durante el año 2017..... 47

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1: Principales tipos de datos y su descripción.....	19
Tabla 2: Principales comandos y cláusulas del lenguaje SQL para manejar tablas y registros en una base de datos.....	22

Tabla de Símbolos

Símbolo	Descripción
Km	Kilómetro
K	Potasio
Ar	Argón
Rb	Rubidio
Sr	Estroncio
Sm	Samario
Nd	Neodimio
Lu	Lutecio
Hf	Hafnio
Re	Renio
Os	Osmio

U	Uranio
Th	Torio
Pb	Plomo
C	Carbono
Be	Berilo
N	Nitrógeno

Tabla de Abreviaturas

Símbolo	Descripción
DDL	Data Definition Language
DML	Data Manipulation Language
SQL	Structured Query Language
SIG	Sistema de Información Geográfica
Char	Character
Varchar	Character varying
Int	Integer
CSV	Comma Separated Values
MSWD	Mean Squared Weighted Deviation
WGS84	World Geodetic System 1984
KMZ	Keyhole Markup Language

Resumen: El avance en la tecnología ha mejorado significativamente la producción de conocimiento en todas las áreas de trabajo, incluyendo la geología. La mejora en las técnicas analíticas de datación radiométrica y el acceso a laboratorios especializados ha permitido que se hagan más dataciones, generando un gran volumen de información geocronológica, el cual exige a que se avance también en las herramientas para almacenar y procesar dichos datos. El objetivo de este trabajo es desarrollar una base de datos espacial en el gestor PostgreSQL que contenga la información más relevante de las dataciones radiométricas de Colombia publicadas desde 2015 hasta 2022. El desarrollo de esta base de datos espacial se plantea siguiendo una metodología de diseño de modelos conceptual, lógico y físico y de la elección de los principales atributos que se deben incluir en el sistema para aportar los datos principales. Como resultado se obtiene una base de datos con 2.066 registros, que se manipula a través de lenguaje SQL y que por tener la cualidad de ser espacial permite la visualización de la ubicación geográfica de las muestras registradas. La base de datos espacial se puede conectar con el software Qgis, dando interoperabilidad al manejo de la información y permitiendo que los usuarios interesados en utilizar datos geocronológicos en sus estudios lo hagan de una forma sencilla y eficiente. Con este trabajo se aporta al campo de las geociencias una herramienta SIG con la información geocronológica de Colombia, desde la cual se puede hacer una inspección rápida de la información disponible para extraer la más útil y producir nuevo conocimiento.

Palabras clave: Dataciones radiométricas, Postgis, SIG, geología, lenguaje SQL.

Abstract: The advance in technology has significantly improved the production of knowledge in all areas of work, including geology. The improvement in radiometric dating analytical techniques and access to specialized laboratories has allowed more radiometric dating to be done, triggering a large volume of geochronological information, which also requires progress in the tools to store and process such data. The objective of this work is to develop a spatial database in the PostgreSQL manager that contains the most relevant information of the radiometric dating of Colombia published from 2015 to 2022. The development of this spatial database is proposed following a design methodology of conceptual, logical and physical models and the choice of the main attributes that must be included in the system to provide the main data. As a result, a database with 2,066 records is obtained, which is manipulated through the SQL language and which, because it has the quality of being spatial, allows the visualization of the geographical location of the registered samples. The spatial database can be connected to the Qgis software, giving interoperability to information management and allowing users interested in using geochronological data in their studies to do it in a simple and efficient way. With this work, a GIS tool with the geochronological information of Colombia is contributed to the field of geosciences,

from which a quick inspection of the available information can be made to extract the most useful and produce new knowledge.

Keywords: Radiometric dating, Postgis, GIS; geology, SQL language.

1. Introducción

La geocronología es la disciplina que estudia la edad de las rocas, sedimentos y minerales y su relación con los eventos geológicos que han ocurrido a través de la historia de la tierra. El desarrollo y la mejora de las técnicas analíticas en las que se basa la geocronología han aumentado considerablemente a través de los años, lo que permite que cada vez se genere más información de este tipo. La geocronología es una herramienta que ayuda a conocer no solo como se ha formado un territorio, sino también como se debe gestionar, pues las dataciones tienen muchas aplicaciones, por ejemplo en ciencias ambientales cuando se estudian sistemas hídricos, glaciares y sistemas marinos y en gestión del riesgo cuando se estudian fallas geológicas activas y volcanes. Las bases de datos son sistemas informáticos persistentes que almacenan información que se relaciona entre sí, las bases de datos espaciales, además de contener información, incorporan su ubicación geográfica, lo que permite generar relaciones espaciales entre los mismos datos o con los de otras bases. Una base de datos espacial con información geocronológica es una herramienta de la cual investigadores de todos los campos de las ciencias de la tierra pueden hacer uso, para relacionar geográficamente las dataciones que ya están publicadas con sus propios datos. En Colombia no se cuenta con una base de datos espacial con este tipo de información que esté construida en *PostgreSQL* y que se gestione a través del lenguaje SQL, por esta razón, este trabajo tiene como objetivo desarrollar una base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia, para aportar herramienta que pueda ser utilizada para generar más conocimiento y desarrollo del territorio nacional.

2. Obejtivos

2.1.Objetivo General

Implementar una base de datos espacial en *PostgreSQL* para Colombia que contenga la información principal de las dataciones radiométricas de las unidades geológicas del país realizadas desde 2015 hasta 2022.

2.2.Objetivos Específicos

- Diseñar de la base de datos espacial en *PostgreSQL*, que contendrá la información de las dataciones radiométricas de Colombia.
- Construir la base de datos espacial en *PostgreSQL* a partir de los atributos más relevantes de las dataciones radiométricas de Colombia.
- Operacionalizar la base de datos espacial de las dataciones radiométricas de Colombia en *Qgis*.

3. Planteamiento del Problema

Las dataciones radiométricas son técnicas analíticas que permiten conocer la edad de una roca o un sedimento, es decir hace cuánto tiempo se formó. Estos datos los utilizan los profesionales de las geociencias para realizar cartografía, investigar sobre la configuración geológica de un territorio, definir la temporalidad de eventos importantes, como la erupción de un volcán o la ocurrencia de un sismo, entre otras aplicaciones. El avance y el perfeccionamiento de la tecnología han hecho que el mundo produzca un gran volumen de datos en todas las áreas de conocimiento. Cada día se da un paso adelante en el desarrollo y la mejora de técnicas analíticas que, finalmente, resultan en nuevas cifras que necesitan poder ser almacenadas, manipuladas y analizadas para convertirse en información. Al día de hoy se está produciendo y publicando una gran cantidad de dataciones de los cuerpos geológicos que conforman el territorio nacional, pero no se tiene ninguna herramienta que reúna y administre esta información para que pueda ser consultada y estudiada de forma rápida. Actualmente, las dataciones radiométricas de Colombia están publicadas de forma individual y aleatoria en artículos científicos, que muchas veces son pagos y a los cuales no pueden acceder todos los interesados, diversas tesis, que en ocasiones no se publican, y en informes técnicos que produce el Servicio Geológico Colombiano sobre sus proyectos de cartografía nacional. Solo existen 2 documentos actualizados y editables que compilan toda la información geocronológica del país; ambos son archivos Excel, uno es publicado por el Servicio Geológico Colombiano (Gómez Tapias et al., 2015) y contiene 4.427 puntos de muestreo, publicados hasta octubre de 2014, con la información de localización, unidad geológica, litología, edad, técnica de datación, interpretación de los datos y fuente original; esta publicación también está acompañada por una file geodatabase y un archivo KMZ con la misma información. El segundo archivo Excel se puede

descargar desde un visor interactivo que presenta un geovisor, creado por un grupo de investigación en geocronología de la Universidad de los Andes (Rodríguez-Corcho et al., 2022), que compila 68.000 dataciones de Colombia publicadas hasta el 2021, y al igual que el publicado por el Servicio Geológico Colombiano, contiene la información de localización, unidad geológica, litología, edad, interpretación y fuente. El alcance de este trabajo es generar una base de datos espacial en *PostgreSQL* que permita, a través de un programa de sistemas de información geográfica como lo es *Qgis*, almacenar, estructurar, relacionar, manipular y consultar toda esta información de las dataciones radiométricas realizadas en las unidades geológicas de Colombia, publicadas desde 2015 hasta 2022, esto con el propósito de facilitar el acceso a los investigadores que generan conocimiento con base en la información geocronológica de Colombia.

4. Marco Conceptual

4.1. Conceptos Básicos de Geocronología

La geocronología es la ciencia que interactúa entre la física, la química y las ciencias de la tierra para enfocarse en la datación geológica (Jäger, 1979), dicho en otras palabras, la geocronología es la disciplina que estudia la edad de las rocas, sedimentos y minerales y su relación con los eventos geológicos que han ocurrido a través de la historia de la tierra. La edad de un material o de un evento, dentro del campo de las geociencias, se puede dar de forma relativa cuando se habla de uno respecto a otro, es decir, cuando un material o un evento es más joven o más antiguo que otro, y de forma absoluta cuando se define la edad cuantitativa y puntual del material o del evento (Harmon, 2021). La datación radiométrica es el método que se

utiliza en la geocronología para establecer la edad absoluta de un determinado material. Este método se fundamenta en el fenómeno de la radioactividad, que fue descubierto por Henri Becquerel en 1896, el cual es la decadencia o la transformación de un núcleo atómico inestable conocido como padre, a un núcleo atómico estable conocido como hijo (Gopalan, 2017). Los minerales están constituidos por uno o varios elementos químicos, los cuales pueden ser estables o radioactivos, estos últimos son los que se utilizan en geocronología para determinar su edad de formación. La edad se establece debido a que la desintegración radioactiva posee la propiedad de que es independiente a cualquier factor externo, entonces la cantidad de átomos estables (radiogénicos) solo depende de la cantidad inicial de átomos inestables (radioactivo) (Vermeesch, 2014) y esa desintegración se da a un tiempo específico (vida media) y a una tasa constante. La vida media de un sistema radioactivo es el tiempo que le toma a la mitad de los átomos radioactivos en decaer a los átomos radiogénicos, cada sistema radioactivo tiene establecida su vida media, que puede variar de milisegundos a billones de años, y su constante de decaimiento (Cuney, 2021). Entonces conociendo la cantidad de átomos radiactivos y radiogénicos, su vida media y su constante de decaimiento, se puede establecer cuánto tiempo lleva el sistema desintegrándose y por ende hace cuanto se formó dicho mineral y de ahí se infiere la edad de cristalización, deposición o transformación de una roca para establecer un evento geológico general, a lo que finalmente se le conoce como datación radiométrica.

4.2. Técnicas de Datación Radiométrica y su Aplicación en la Geología

Existen varios sistemas isotópicos que se utilizan en geocronología para determinar la edad de una roca. El sistema más adecuado se elige dependiendo del material a fechar y del objetivo de la investigación, ya que hay técnicas para datar eventos muy antiguos o eventos muy

recientes, por lo que se debe tener claro a que se quiere llegar, para escoger la más adecuada y dar las interpretaciones más certeras. Los métodos de datación isotópica más comunes son K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, Lu-Hf, Re-Os y U,Th-Pb que se basan en la decadencia radioactiva de los isótopos radioactivos ^{40}K , ^{87}Rb , ^{147}Sm , ^{176}Lu , ^{187}Re , ^{235}U , ^{238}U y ^{232}Th , para convertirse en los isótopos radiogénicos ^{40}Ar , ^{87}Sr , ^{143}Nd , ^{176}Hf , ^{187}Os , ^{207}Pb , ^{206}Pb y ^{208}Pb respectivamente. La vida media del sistema K-Ar es de 1.248 millones de años, lo que lo hace un geocronómetro ideal para medir edades de cualquier momento de la historia de la tierra, tanto las recientes como las antiguas, además de que numerosos minerales tienen potasio en su composición, siendo los feldespatos y las micas los minerales más datados con esta técnica. Se utiliza principalmente para definir edades de enfriamiento, por lo que es un método muy usado para determinar la edad de formación de rocas volcánicas y por ende el momento en el que hizo erupción un volcán (Vermeesch, 2014). Los sistemas Rb-Sr, Sm-Nd, Lu-Hf y Re-Os son geocronómetros usados para determinar la edad de formación de rocas muy antiguas ya que tiene una vida media de 48.800, 106.000, 35.700 y 46.600 millones de años respectivamente. El sistema Rb-Sr es aplicado a rocas ácidas como granitos, mientras que el sistema Sm-Nd es aplicado a rocas básicas o ultrabásicas como basaltos o peridotitas, además de rocas que hayan sufrido algún proceso de meteorización o metamorfismo, el sistema Lu-Hf se aplica en zircones y el sistema Re-Os en molibdenita (Cuney, 2021; Vermeesch, 2014). El sistema U-(Th-)Pb está compuesto por tres pares de isótopos radioactivos y radiogénicos, cada uno con una vida media diferente. La vida media del sistema ^{235}U - ^{207}Pb corresponde a 703,8 millones de años, la del sistema ^{238}U - ^{206}Pb a 4.468 millones de años y la del sistema ^{232}Th - ^{208}Pb a 14.050 millones de años. El geocronómetro U-(Th-)Pb se utiliza para definir edades desde los 0,1 millones de años hasta la edad de formación de la tierra, por lo cual tiene un rango amplio de medida. Se utiliza para

determinar la edad de cristalización y metamorfismo de una roca, edad de eventos termales y edad de máxima deposición de sedimentos en una cuenca. El zircón es el mineral más usado para realizar dataciones U-(Th-)Pb, pero también se puede usar minerales como apatito, monazita, rutilo y titanita (Cuney, 2021). La termocronología es otra técnica muy usada para determinar la evolución térmica de una región y la edad o el momento en el que se presentó este evento, también es usada para definir tasas de exhumación de orógenos y de actividad de fallas, tasas de erosión y estudios a yacimientos minerales. Esta técnica se fundamenta en dos métodos principales, el primero es el termocronómetro U-Th-Sm-He, el cual se basa en la desintegración radioactiva de los isótopos ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th y ^{147}Sm para producir ^4He ; y el segundo método es el de trazas de fisión o fission track, que consiste en medir los daños que se generan en la red cristalina de un mineral cuando un átomo de ^{238}U se desintegra por fisión espontánea, para determinar la cantidad de ^{238}U presente y poder establecer la edad de formación (Vermeesch, 2014). Para ambos métodos se utilizan apatito, zircón, rutilo, titanita, hematita, magnetita y monacita. Por último, se tienen las técnicas de datación con isótopos cosmogénicos, los cuales se generan por la interacción entre los rayos cósmicos, que produce el sol, con los elementos de la atmósfera y la litosfera de la tierra. Entre los métodos más aplicados en geología están la datación por ^{14}C o radiocarbono, el cual se desintegra en ^{14}N , que tiene una vida media de 5.730 años y un rango de datación de entre 300 a 60.000 años, por cual es muy útil para datar materiales orgánicos recientes, establecer cronologías de sistemas hidrológicos y estimar tasas de recarga de acuíferos y edades de paleoaguas. La datación por el método de ^{10}Be , que se desintegra en ^{14}N y tiene una vida media de 1,51 millones de años y un rango de datación de entre 0 a 15 millones de años, se utiliza para estudios en sedimentos marinos, avance y retroceso de glaciares, tasas de erosión y superficies de exposición (Cuney, 2021; Harmon, 2021).

4.3. Conceptos Básicos de Bases de Datos

Una base de datos es un gran conjunto de datos que se relacionan entre sí y que están almacenados en un entorno informático que los hace persistentes; por otra parte, una base de datos espacial también es una gran colección de datos, pero con un componente geográfico integrado, que hace que los datos que almacena incorporen su ubicación, su forma y su relación espacial con los demás objetos de la base de datos (Rigaux et al., 2001). Las bases de datos espaciales se implementan principalmente para apoyar la gestión de la información geográfica y la toma de decisiones espaciales, ya que dentro de su funcionalidad se hace el pre-proceso de los datos dentro de su propio sistema, para después exportarlos a sistemas de información geográfica (SIG) para su análisis y modelación (Yeung & Hall, 2007). Dentro de los pre-procesos que se pueden llevar a cabo en una base de datos espacial están por ejemplo la selección, extracción, unión y reclasificación de los datos contenidos en la colección, para filtrar según los criterios del caso y llevar un conjunto más acotado a los procesos de análisis. Existen varios modelos para construir una base de datos, para este caso se implementará el modelo relacional, el cual usa tablas para representar los datos y la relación que hay entre ellos (Silberschatz et al., 2006). Cada tabla es una entidad, es decir un sujeto o un objeto, y cada tabla tiene varias columnas que son los atributos de la entidad, es decir los datos; la relación entre las entidades se hace con una tabla adicional. Tanto el lenguaje de definición de datos (DDL), que se utiliza para crear las tablas y los atributos dentro de la base de datos, como el lenguaje de manipulación de datos (DML), que permite manejar la información, es el SQL, del inglés *Structured Query Language* (lenguaje de consulta estructurado), con este lenguaje el usuario hace consultas en una o varias entidades de la base de datos y obtiene como la respuesta del requerimiento en una entidad diferente (López Montalbán & de Castro Vázquez, 2014). *PostgreSQL* es un gestor de bases de datos que se

distribuye bajo licencia BSD (Berkeley Software Distribution por sus siglas en inglés) que permite su libre uso y que utiliza principalmente el lenguaje SQL para la administración de los datos que almacena. Este gestor se puede conectar en diferentes SIG como Qgis y ArcGis, lo que permite hacer el pre-proceso de la información desde su propia interfaz y luego anclar el resultado con el SIG para el desarrollo del proceso.

4.4.Diseño de Bases de Datos: Modelo Conceptual, Lógico y Físico

El diseño de una base de datos se hace para determinar la estructura más adecuada para el almacenamiento de la información, la cual permite definir las operaciones que se pueden realizar sobre los datos, preservar su precisión y acceder de forma eficiente a ellos para su procesamiento. El primer paso para definir una base de datos es elegir el modelo de datos que representará la información que se ingresará al sistema. El modelo entidad-relación representa los datos como objetos y define como se asocian entre sí. Una entidad es un objeto, el cual se representa como una tabla dentro de una base de datos, cada entidad tiene unas características propias, que se representan como atributos, y entre las entidades de la base de datos debe haber una relación, que se representa como una tabla adicional que contiene esa asociación.

Gráficamente, un modelo entidad-relación se puede representar a través de diferentes símbolos así: las entidades se representan con rectángulos, los atributos se representan con elipses, las relaciones se representan con rombos y las conexiones entre entidades-atributos y entidades-relaciones se representan con líneas (Silberschatz et al., 2006). El modelo o diseño conceptual es el proceso mediante el cual se definen las entidades, atributos, llaves primarias, que son el atributo único y principal de cada entidad, relaciones y cardinalidad, que es el tamaño de cada entidad, y se representa gráficamente a través de modelos como el de entidad-relación (Yeung &

Hall, 2007). El esquema conceptual es el primer paso para diseñar una base de datos, ya que describe el contenido y la estructura que se tendrá en cuenta para la implementación del sistema. El modelo o diseño lógico se define creando las tablas de cada entidad con sus respectivos atributos, definiendo las relaciones, llaves primarias y claves primarias, que son los atributos únicos que permiten relacionar varias entidades. El modelo lógico es el segundo paso para diseñar una base de datos y se trata básicamente de traducir o representar el modelo conceptual del primer paso en tablas que describen el modelo de datos (Rigaux et al., 2001). El modelo o diseño físico es el proceso de implantación definitiva de la base de datos en un sistema informático (López Montalbán & de Castro Vázquez, 2014). Este modelo es el tercer paso en el diseño de una base de datos y se trata de pasar el modelo conceptual y lógico al gestor de base de datos que administrará la información. El lenguaje de definición de datos (DDL) es el que provee los comandos necesarios para definir el modelo físico y crear finalmente toda la estructura del sistema en el software que almacenará la información.

4.5. Tipos de Datos

El tipo o dominio de un dato es una especie de regla que se utiliza para determinar qué clase de valores se pueden ingresar en un atributo (Oppel & Sheldon, 2009). Cuando se crea una tabla se debe definir el nombre de la columna que representa el atributo y el dominio del mismo. Los tipos de datos principales son: booleanos, de caracteres, numéricos y temporales. En la tabla 1 se resumen los dominios principales y su descripción.

4.5.1. Tipos de Datos Booleanos

El dominio booleano limita los valores de un atributo a solo dos opciones: verdadero (yes, y, true, t o 1) o falso (no, n, false, f, 0). (Matthew & Stones, 2005).

4.5.2. Tipos de Datos de Caracteres

Este dominio limita los valores de un atributo para que sea de texto o alfanumérico. Las clases principales son: *character* (char) cuando es un solo carácter y *character varying* (varchar) cuando es una cadena de varios caracteres de texto o caracteres alfanuméricos (Matthew & Stones, 2005). Este tipo de datos se deben ingresar a la tabla escritos entre comillas sencillas (‘’).

4.5.3. Tipos de Datos Numéricos

El dominio numérico limita los valores de un atributo para que solo sean números. Este tipo de datos tiene cuatro clases principales: *integer* (int) para números enteros, *float* para números decimales con capacidad de almacenamiento de 32 bits, *double precision* para números decimales con capacidad de almacenamiento de 64 bits y *numeric (x,y)* para números decimales con una cantidad específica (x) de dígitos y una cantidad específica (y) de decimales (Matthew & Stones, 2005).

4.5.4. Tipos de Datos Temporales

Este dominio limita los valores de un atributo relacionados con el tiempo. Las tres clases principales son: *date* para almacenar información de fechas, *time* para almacenar información de horarios y *timestamp* para almacenar información de fecha y hora (Matthew & Stones, 2005).

Tabla 1: Principales tipos de datos y su descripción.

Tipo de Dato	Descripción
yes, y, true, t o 1	Booleano verdadero
no, n, false, f o 0	Booleano falso
Character (char)	Carácter sencillo

Varying character (varchar)	Cadena alfabética o alfanumérica
Integer (int)	Número entero
Float	Número decimal de 32 bits
Double precision	Número decimal de 64 bits
Numeric (x,y)	Número de dígitos y decimales predefinidos
Date	Fecha
Time	Hora
Timestamp	Fecha y hora

4.6.Lenguaje SQL y sus Funciones Básicas Para Crear, Insertar, Modificar y Consultar

SQL (*Structured Query Language*) es un lenguaje estructurado estándar para las bases de datos relacionales. Este lenguaje permite no solo hacer consultas, sino que con él se puede definir la estructura de los datos, crear las tablas y relaciones entre ellas, insertar, modificar, eliminar y especificar restricciones de seguridad. El lenguaje SQL tiene varios componentes que se presentan a continuación: a) Lenguaje de definición de datos (DDL), el cual proporciona los comandos para definir, modificar o borrar los esquemas de relaciones en una base de datos y b) Lenguaje de manipulación de datos (DML), que proporciona los comandos necesarios para consultar, insertar, modificar o eliminar la información. **Create table** es el comando inicial con el que se crean las tablas que representan cada entidad, en la sentencia se debe especificar el nombre y tipo de atributo que contendrá la tabla y se define la llave primaria con el comando **primary key**, un ejemplo de la sentencia es: **create table** “dataciones” (*id_d integer, muestra varchar, edad double precision, error_edad double precision, metodo_datcion varchar*,

material_datacion varchar, *comentario* varchar, *año* date, **primary key** (*id_d*)); donde los comandos se muestran resaltados en negrita, el nombre de la tabla entre comillas, los atributos en letra cursiva y el dominio o tipo de atributo se muestra subrayado. Para insertar valores en la base de datos se utiliza el comando **insert into**, seguido por el nombre de la tabla a la que se desea agregar la información y el comando **values** seguido por los valores que se deben agregar, un ejemplo de esta sentencia es: **insert into** “dataciones” **values** (1, ‘EMR1’, 120.6, 5, ‘U-Pb’, ‘Zircón’, ‘Edad de cristalización’, 2017); donde los comandos se muestran resaltos en negrita, el nombre de la tabla entre comillas y los valores de los atributos están dentro de los paréntesis en el mismo orden en el que se definieron inicialmente. Se debe tener en cuenta que dependiendo del dominio del atributo, que se definió cuando se creó la tabla, se deben escribir los valores, por ejemplo lo que son de tipo varchar se escriben entre comillas ya que corresponden a texto. Para hacer modificaciones se utilizan los comandos **drop** y **alter** para eliminar y modificar tablas y **update** y **delete** para actualizar y eliminar valores. **Select** es el comando que se utiliza para consultar la información de una base de datos. La sentencia se escribe indicando el comando más el atributo que se quiere obtener y el nombre de la tabla que contiene la información, un ejemplo de la sentencia es: **select** *muestra*, *edad*, *error_edad*, *comentario* **from** “dataciones”; donde el comando y la cláusula se muestran resaltados en negrita, los atributos a consultar en letra cursiva y la tabla de consulta entre comillas (Silberschatz et al., 2006). La tabla 2 muestra el resumen de los principales comandos y cláusulas que se utilizan en la programación SQL.

Tabla 2: Principales comandos y cláusulas del lenguaje SQL para manejar tablas y registros en una base de datos.

Comando/Clausula	Función
Comando Create	Crear tablas, campos, extensiones
Comando Drop	Eliminar tablas
Comando Alter	Modificar tablas
Comando Select	Consultar registros de una tablas
Comando Insert	Agregar registros a una tabla
Comando Update	Actualizar registro de una tabla
Comando Delete	Eliminar registros seleccionados de una tabla
Comando Truncate	Eliminar todos los registros de una tabla
Clausula From	Especificar una tabla
Clausula Where	Especificar condiciones

4.7. PostgreSQL y Postgis

PostgreSQL es un gestor de bases de datos relacionales sustentado en lenguaje SQL, gratuito y de código abierto (Matthew & Stones, 2005). Este administrador nació en 1995 a partir de Ingres, otro gestor desarrollado en la Universidad de California en Berkeley, pero adaptado al lenguaje SQL y con el nombre *Postgres95*. La liberación del código fuente en formato CSV permitió que se formara el “Grupo de Desarrollo Global” que es una comunidad de programadores, desarrolladores y administradores que mantiene el funcionamiento, la resolución de problemas y la creación de nuevas funcionalidades del programa y lo mantiene en constante crecimiento, esto se da desde 1997 cuando tomo el nombre de *PostgreSQL* (Momjian, 2000). El programa es compatible con todos los sistemas operativos y a la fecha se encuentra en su versión

15.2, liberada el 9 de febrero de 2023. Se puede descargar gratuitamente desde la página web <https://www.postgresql.org/>. *Postgis* es una librería gratuita y de código abierto de *PostgreSQL* que permite convertir una base de datos normal a una base de datos espacial creando una columna de geometría, dentro de una tabla, donde se almacena la información geográfica de la base de datos (Obe & Hsu, 2015). *Postgis* permite almacenar objetos geográficos dentro de una base de datos administrada por *PostgreSQL* guardando su posición geográfica y su forma, además de habilitar su visualización y de proveer herramientas de análisis, conversión y manejo de datos espaciales tanto en formato vectorial como raster (Marquez, 2015). La representación de los objetos se hace a través de un modelado espacial, con el cual se hace la abstracción de los elementos geográficos y se define que primitiva geométrica los representa mejor. El tipo de dato espacial más simple es el punto, que representa objetos con una posición precisa como por ejemplo ciudades o casas y se describe a través de un par de coordenadas x-y. La línea es el segundo tipo de dato espacial y se define por la unión de mínimo dos puntos formando una cadena; este tipo de geometría se utiliza para representar objetos lineales como vías o drenajes y se describe con un par de coordenadas x-y por cada vértice que la conforma. Finalmente, el tercer tipo de dato espacial es el polígono, que se define por una cadena cerrada de puntos, esta geometría se usa en la representación de objetos de área grande como reservas forestales o lagunas y se describe con un par de coordenadas x-y por cada punto que forme el polígono, teniendo en cuenta que la coordenada final es igual a la coordenada inicial para poder que se cierre (Schneider, 1997). La activación de la extensión *Postgis* en *PostgreSQL* se hace con el comando “Create Extension Postgis” en una ventana de consulta del gestor de base de datos. La creación de la columna de geometría que permite almacenar, administrar, analizar y visualizar los datos geográficos se hace con el comando “Select AddGeometryColumn(‘nombre de la

tabla’, ‘nombre de la columna’, ‘sistema de coordenadas’, ‘tipo de dato espacial’, dimensión del dato)”).

5. Estado del Arte

La creación de bases de datos geocronológicas se ha vuelto más frecuente con el paso del tiempo y el avance de la tecnología. La mejora en las técnicas de fechado y la importancia que los institutos de investigación le están dando a este tipo de datos ha hecho que el volumen crezca considerablemente, por lo cual se presenta la necesidad de contar con más herramientas para almacenar la información.

Las bases de datos geocronológicas han permitido el desarrollo de varios trabajos, su utilidad está reflejada en proyectos de cartografía geológica como la producción del Mapa Geológico de Colombia 2015 (Gómez et al., 2015) y el desarrollo de mapas interactivos como el Mapa Geológico Digital del Sector Sur de la Provincia Mesa Central de México, (Del Pilar Martínez et al., 2021), los cuales utilizan bases de datos geocronológicas para soportar la edad de las unidades que cartografían y plasman en sus productos. Esta herramienta ha sido utilizada también para generar otro tipo de mapas más específicos, como por ejemplo el de Unidades Corticales de China (Fang et al., 2020), el cual fue creado a través de aplicaciones SIG y basado en la agrupación de datos del mismo rango de edad, los cuales fueron extraídos de una base de datos geocronológica. Además de esto, las bases de datos geocronológicas también se han combinado con otro tipo de información, para ampliar su utilidad y hacerla aplicable a objetivos particulares, como la base de datos que compila información geoquímica y geocronológica de

rocas ígneas en Queensland, Australia (Siegel et al., 2011), con el fin de aportar una herramienta más en la exploración de recursos geotermales de la región.

Aunque aún son pocos los países, centros de investigación, universidades e investigadores que construyen su propia base de datos con la información de las dataciones radiométricas de sus unidades geológicas, se puede encontrar algunas disponibles que se mencionan en este apartado.

5.1.DateView Geochronology Database

Es un base de datos relacional con información geocronológica global (Eglington, 2004), que a diciembre de 2020 contenía alrededor de 152.000 registros. La base de datos es una tabla interactiva, donde se puede filtrar por continente y país, además de tipo de análisis. La información se puede descargar en formato Excel.

5.2.Relational Database of Global U/Pb Ages

Es una base de datos relacional gestionada por Microsoft Access, que contiene 700.598 dataciones radiométricas de muestras tomadas al rededor del mundo hasta el año 2017 (Puetz, 2018).

5.3.East Asian Detrital Zircon Database (EaDz)

Es una base de datos relacional interactiva que se puede consultar en la web. Contiene información geocronológica, geoquímica, petrográfica y estratigráfica de las unidades geológicas del este de Asia (Zhang et al., 2023). El visor web muestra un mapa de la zona con los puntos disponibles para consultar. Se puede dar clic sobre el punto de interés o dibujar un polígono en la zona de la que se requiere la información, así se despliega una tabla con los datos del punto o del

área seleccionada. Estos datos se pueden descargar en formato CVS directamente desde la página.

5.4.PetroChron Antartica

Es una base de datos relacional e interactiva cargada en un portal web. Esta base de datos contiene información petrológica, geoquímica y geocronológica de 10.056 muestras de roca ubicadas alrededor de la Antártica (Sanchez et al., 2021). El portal web muestra un mapa interactivo de la Antártica con los puntos disponibles para consultar. Al dar clic sobre el punto de interés, se despliega una tabla de atributos con la información disponible.

5.5.PATICE

Es una base de datos que contiene información sobre la geomorfología y geocronología del glacial de la Patagonia (Davies et al., 2020). Contiene en total 1.669 edades y es presentada como un visor web con un mapa interactivo donde se ubican los puntos que al dar clic se despliega una tabla de atributos con la información de la muestra.

Para Colombia la historia de las dataciones radiométricas comienza en 1961, en este año el antropólogo y arqueólogo Gerardo Reichel-Dolmatoff realizó la primera datación conocida para el país, dentro del marco de una investigación a un yacimiento arqueológico en Puerto Hormiga, Bolívar. Este fechamiento se realizó por el método Carbono-14 y arrojó una edad de 4.875 ± 75 años a partir del presente (Reichel-Dolmatoff, 1961), desde ese año se siguió utilizando esta técnica en los estudios arqueológicos del Colombia. En el año 1962 se lleva a cabo la primera datación radiométrica en rocas del territorio Colombiano y empieza la era de la geocronología; estas primeras dataciones de las unidades geológicas del país se hicieron en rocas

cristalinas ubicadas en inmediaciones del Río Guaviare, la ciudad de San José del Guaviare y en una muestra extraída del pozo petrolero Cicuco ubicado en el Valle Superior del Magdalena (Pinson et al., 1962). A partir de ahí se empezó a utilizar geocronología para estudiar la configuración geológica del país y cada año, hasta el presente, han ido aumentando el número de investigaciones que utilizan técnicas geocronológicas para llegar a modelos de evolución más certeros. Este aumento en el número de dataciones se ve reflejado cuando se revisan las bases de datos geocronológicas existentes, donde se ve como con el pasar el tiempo hay mayor cantidad de datos, lo que se debe a que cada vez hay técnicas más precisas y mayor acceso a ellas. En Colombia existen dos laboratorios donde se pueden realizar dataciones radiométricas de materiales geológicos. El primero y más antiguo es el Laboratorio de Investigación en Termocronología de la Universidad EAFIT, el cual funciona en la ciudad de Medellín desde el año 1998 y donde se realizan estudios petrográficos, micropaleontológicos, de separación magnética de minerales y de dataciones por la técnica de huellas de fisión. El segundo es el Centro de Datación del Servicio Geológico Colombiano, que opera desde 2014 y está localizado en la ciudad de Bogotá. Este laboratorio presta los servicios de datación mediante las técnicas U/Pb y huellas de fisión. A continuación se presentan las bases de datos geocronológicas que existen para Colombia.

5.6. Compilación de Edades Radiométricas de Colombia: Departamentos Andinos Hasta 1982

Es un compendio de dataciones radiométricas realizadas hasta 1982 en unidades geológicas presentes en 17 departamentos de Colombia (Nariño, Putumayo, Cauca, Valle del Cauca, Chocó, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Caquetá, Huila, Tolima, Meta, Cundinamarca, Boyacá, Santander y Norte de Santander). Esta compilación de datos se realizó

bajo el marco del proyecto de Magmatismo de los Andes, del Programa Internacional de Correlación Geológica (Restrepo, 1982) y se encuentra escaneada en formato PDF en la revista Boletín de Ciencias de la Tierra.

5.7. Catálogo de Dataciones Isotópicas en Colombia

Es una base de datos que compila las dataciones radiométricas de Colombia publicadas hasta 1991 y fue escrita en lenguaje de programación Clipper. Esta base de datos esta almacenada en un diskette de nombre DATACOL.DBF y se maneja a través del programa DBase II plus, también cuenta con una copia impresa (Maya, 1992). El Servicio Geológico Colombiano tiene bajo su custodia ambas versiones de la base de datos, que también se puede encontrar escaneada en formato PDF en la revista Boletín Geológico.

5.8. Catálogo de Dataciones Radiométricas de Colombia

Es un compendio de datos geocronológicos de Colombia publicado en el 2015. Contiene 4.427 dataciones radiométricas de las unidades geológicas del país publicadas hasta octubre de 2014 (Gómez Tapias et al., 2015). El catalogo se puede descargar de la página del Mapa Geológico de Colombia, del Servicio Geológico Colombiano, en formato Excel, file geodatabase y KMZ.

5.9. The Colombian Geochronological Database (CGD)

Es una base de datos publicada en 2022, con la información de 68.000 dataciones radiométricas de Colombia publicadas desde 1962 a 2021 (Rodríguez-Corcho et al., 2022). Esta

base de datos se presenta en un visor web, como un mapa interactivo con los puntos disponibles para consultar. La información se puede descargar en formato Excel.

6. Metodología

6.1.Zona de Estudio

Colombia se ubica en la esquina noroccidental de Suramérica y tiene con una extensión total de 2.129.748 Km² donde 1.141.748 Km² son de territorio continental e insular y 988.000 Km² de extensión marítima. El territorio Colombiano cuenta con superficies costeras en los océanos Pacífico y Atlántico, donde se localizan varios archipiélagos e islas que hacen parte de su soberanía. El país comparte frontera con 5 países: Venezuela al nororiente, Brasil al suroriente, Perú al sur, Ecuador al suroccidente y Panamá al noroccidente. Colombia se separa en seis grandes regiones naturales: Insular, Andina, Pacífica, Caribe, Orinoquía y Amazonía. Políticamente la componen un distrito capital y 32 departamentos, que a su vez se dividen en 1001 municipios (figura 1).

Fisiográficamente, Colombia se caracteriza por su diverso relieve, el cual está compuesto por desiertos, penínsulas, sierras, serranías, valles, altiplanos y llanuras. La morfología varía de plana a ondulada, donde dos terceras partes del territorio corresponden a tierras bajas y un tercio a terrenos montañosos, los cuales se asocian principalmente a la cordillera de los Andes. Este sistema montañoso se ramifica en Colombia en tres cordilleras: Occidental, Central y Oriental y ellas se separan por dos valles interandinos de los dos ríos principales del país: el Cauca y el Magdalena respectivamente (Bernal, 2016). El sistema hidrográfico del país se agrupa en cinco grandes cuencas hidrográficas principales las cuales son: Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco, Amazona y Pacífico. Aquí se encuentran los principales drenajes del país, los cuales son los ríos

Magdalena, Cauca, Atrato y Orinoco, que atraviesan el país de sur a norte y Patía, Meta, Guaviare, Caquetá y Amazonas, que recorren el país de occidente a oriente (Gómez Tapias et al., 2020).

Geológicamente el territorio Colombiano es muy variado, con presencia de diferentes tipos de rocas y con edades desde el Paleoproterozoico (aproximadamente 2000 millones de años) hasta el Holoceno (presente) (Gómez & Montes, 2020). La configuración geológica actual de Colombia es producto de muchos eventos geológicos, los cuales se ven reflejados en las rocas que componen el territorio y que a grandes rasgos se agrupan dentro de 12 terrenos que reúnen formaciones geológicas que registran edades y eventos de formación cohetaneos (Restrepo & Toussaint, 2020), por lo que se puede decir que geológicamente, Colombia es un collage o un rompecabezas de “bloques” que se fueron amalgamando entre sí para formar el armazón que hoy es el territorio y para dar el relieve que hoy conocemos. Tectónicamente, el país se encuentra influenciado por tres placas: dos oceánicas, la Caribe y la Nazca, y una continental, la Suramericana. Esta interacción entre placas es la causante del vulcanismo y gran parte de la sismicidad que se presenta en el país, además de controlar la formación de pliegues y fallas geológicas que modelan el relieve. Entre las principales estructuras se encuentran el Sistema de Fallas Romeral, con las fallas Silvia-Pijao, San Jerónimo y Cauca-Almaguer, y las fallas Santa Marta-Bucaramanga (Gómez Tapias et al., 2020).

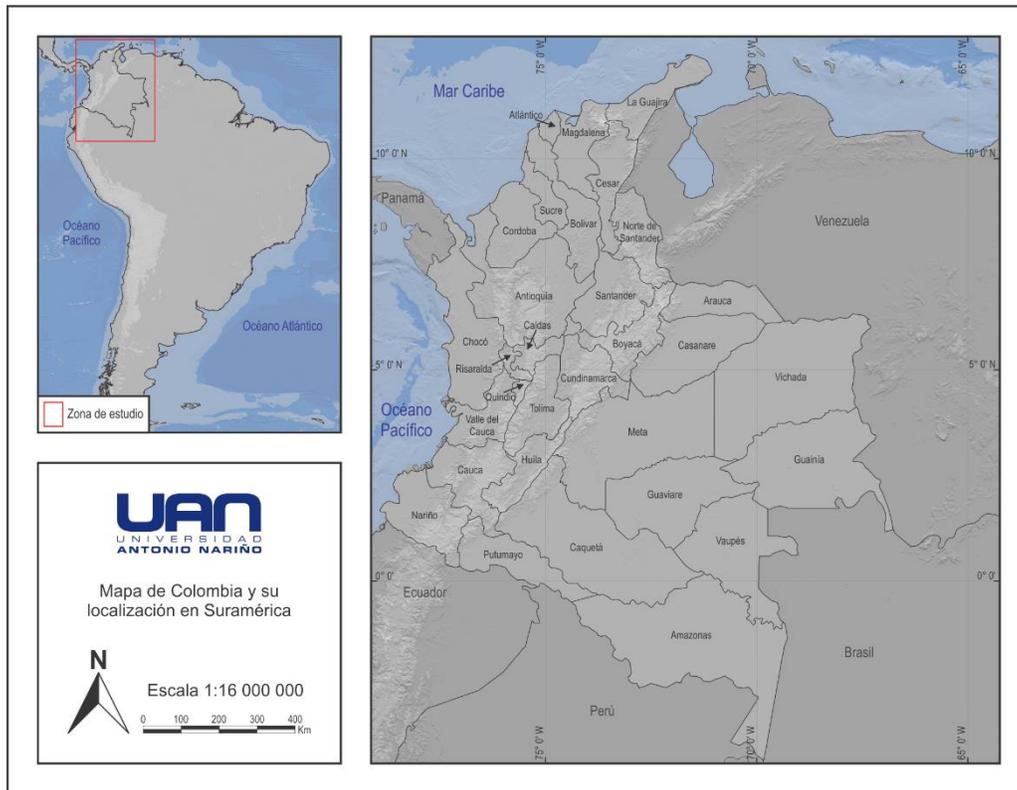


Figura 1: Mapa político de Colombia y su localización en Suramérica.

6.2. Insumos

El insumo utilizado para el desarrollo de la base de datos espacial es un archivo Excel que contiene, dentro de sus hojas, el resumen de las dataciones radiométricas de Colombia publicadas en revistas científicas desde 2015 hasta 2022 (Gómez et al., 2023). Este archivo fue elaborado por el grupo de investigación Mapa Geológico de Colombia, del grupo de trabajo de Cartografía del Servicio Geológico Colombiano, para la actualización del Mapa Geológico de Colombia 2023 a escala 1:1 500 000. El Servicio Geológico Colombiano actualiza periódicamente el mapa geológico nacional con el fin de mantener consolidada la geología de Colombia conforme avanza el conocimiento. A medida que se adelantan más investigaciones en geocronología y cartografía se encuentran nuevas edades y se definen nuevas interpretaciones

geológicas de cómo se compone el territorio colombiano. Para cada nueva edición del mapa geológico de Colombia se hace la recopilación de las dataciones radiométricas realizadas en las unidades del país, estos nuevos datos son el insumo para actualizar la carta geológica nacional. El Excel contiene 2.066 registros donde se resumen alrededor de 28.000 datos individuales de dataciones hechas en las unidades geológicas del país. Cuando se hacen trabajos en geocronología, los investigadores realizan la mayor cantidad de dataciones individuales que sean posibles, esta cantidad depende del presupuesto para la investigación y de la cantidad y calidad del material disponible para datar. Con los datos individuales obtenidos, y a través de diferentes tratamientos estadísticos, se obtiene una edad que representa a los datos individuales y que tiene un significado geológico. La base de datos geocronológica desarrollada en este trabajo contiene la información que los autores reportan para la unidad geológica, después de tratar todas las dataciones individuales y definir una sola edad, y la interpretación que ellos dan a esta edad.

El archivo Excel original suministrado por el Servicio Geológico Colombiano tiene 18 hojas donde se recopilan alrededor de 28.000 dataciones realizadas en el país. Cada hoja corresponde a un método de datación diferente. Como se explicó en el numeral 4.2 existen diferentes técnicas para realizar dataciones radiométricas que dependen principalmente del objetivo del estudio. Los investigadores cuando publican el artículo científico donde reportan los resultados también liberan los datos crudos que entrega el laboratorio donde se realizaron los análisis y según los cuales ellos hacen la interpretación geológica, estos datos primarios son los que se encuentran consolidados en el las 18 hojas del Excel original, además de una hoja que contiene la información resumida de la investigación y la reportada por el autor en el artículo científico.

Esta hoja de resumen original fue depurada para definir solo los campos principales que aportan la información más relevante de la datación manteniéndose 23 columnas principales. Finalmente, el archivo Excel fue exportado en formato CSV (*Comma Separated Values*, por sus siglas en inglés) para poder ser cargado en PostgreSQL.

6.3. Diseño de la Base de Datos Espacial con la Información Geocronológica de Colombia

El diseño de la base de datos espacial se realizó definiendo tres modelos: el conceptual, el lógico y el físico. El modelo conceptual se construyó con el fin de que represente la composición de la base de datos espacial y cómo opera internamente. Basado en la preparación del insumo se definió una entidad de nombre “**dataciones_col**” y 23 atributos que representan los datos principales de cada datación. El modelo lógico tradujo el modelo conceptual, de entidades y atributos, y lo trasladó a una tabla que representa los datos de forma estructurada. En esta etapa del diseño de la base de datos se creó la tabla que representa la entidad “**dataciones_col**” con sus respectivos atributos, se especificó la llave primaria, los dominios más adecuados para cada dato y se incluyó una columna más para almacenar la geometría de la entidad y darle la característica espacial. Por último el modelo físico llevó los modelos conceptual y lógico al gestor de base de datos para finalmente hacer la implementación y asignar los datos al computador. Este paso se hizo a través de programación SQL utilizando el comando para crear la tabla dentro de *PostgreSQL*.

6.4. Creación de la Base de Datos Espacial con la Información Geocronológica en *PostgreSQL*

La creación de la base de datos en *PostgreSQL* se hizo a través de *pgAdmin* versión 4, una aplicación gráfica que permite administrar y ejecutar el gestor de bases de datos *PostgreSQL*, el cual se utilizó en su versión 14 para el desarrollo de este trabajo. La interfaz de *pgAdmin* se divide en dos cintas horizontales en la parte superior y dos paneles verticales. Las cintas contiene las herramientas de la aplicación y los paneles son: a la izquierda uno de contenido, donde se listan las bases de datos y las tablas y a la derecha otro de desarrollo y visualización, donde se abren las ventanas de consulta que permiten la implementación de los códigos. Para crear la base de datos se dio clic derecho en la sección “Databases”, en panel de contenido, y clic izquierdo en la opción “Create database”, aquí se despliega una ventana donde se asignó el nombre “**dataciones**” a la base de datos y se guardó el proceso. Después de que se creó la base de datos, se creó la tabla que representa la entidad con sus atributos, definida en la etapa de diseño. La sentencia para crear la tabla se escribió en una ventana de consulta, esta se abre dando clic derecho sobre la base de datos y clic izquierdo en la opción “Query Tool”. Finalmente, se escribió la sentencia definida en el modelo físico para crear la tabla “**dataciones_col**”, la cual almacena la información geocronológica de Colombia. Manualmente también se pueden crear tablas en *PostgreSQL*, Dentro de la base de datos, en la sección de *Schemas* se almacenan las tablas que representan las entidades de la base de datos, dando clic derecho en la sección *table* en la opción “Create table” se puede definir manualmente el nombre de la tabla y agregar las columnas y los tipos de datos que se almacenarán allí.

6.5.Carga de la Información a la Base de Datos Geocronológica de Colombia

La información que alimenta la base de datos geocronológica de Colombia se encuentra almacenada en el archivo CSV delimitado por comas obtenido en la etapa de preparación del insumo. Los registros que se encuentran en el archivo tienen caracteres especiales o latinos como tildes, ñ y símbolos entre otros, por esta razón, antes de cargar el archivo, se dio formato latino a la base de datos con la sentencia: “SHOW client_encoding;

```
SET CLIENT_ENCODING TO 'LATIN10';
```

```
update pg_database set encoding=17 where datname='mibd';
```

SHOW client_encoding;”. Esto se hizo para tener compatibilidad entre la base de datos y la información a cargar. Posteriormente, se siguió con la importación del archivo CSV dando clic derecho sobre la tabla que se creó en la etapa anterior y luego dando clic izquierdo en la opción “Import/Export Data”, aquí se abrió una ventana donde se seleccionó la ruta de localización del archivo, el formato y el tipo de codificación en el que se encontraban los datos, que para este caso es “LATIN10”. Es importante especificar cuál es el delimitador de la información, que en este caso es punto y coma (;), para que al cargar los datos se separen en las columnas que correspondan; esto se hace en la pestaña “Options”. Después de que los registros quedaron cargados a la tabla se agregó la extensión de *Postgis* para darle la cualidad espacial a la base de datos, lo que se logró con la sentencia: “CREATE Extension postgis”. Se siguió con la creación de la columna de geometría con la sentencia: “SELECT AddGeometryColumn

```
('dataciones_col','geom',4326,'POINT',2)”,
```

donde ‘dataciones_col’ es el nombre de la tabla, ‘geom’ es el nombre de la columna, ‘4326’ es el código EPSG que corresponde al sistema de coordenadas WGS84 en el cual se encuentran los datos, ‘POINT’ es el tipo de dato espacial y ‘2’ es la dimensión de la geometría (2D). En esta columna se almacena la información geográfica de

la entidad y es la que hace que la base de datos sea espacial. Con la sentencia: “UPDATE dataciones_col SET geom = ST_SetSRID(ST_MakePoint(longitud, latitud), 4326)” se actualizó la columna de geometría según los datos almacenados en los atributos “latitud” y “longitud”, que contienen las coordenadas de los puntos. La figura 2 muestra las sentencias mencionadas en este apartado que se utilizaron para cargar la información geocronológica de Colombia a la base de datos.

```

--Codiicación latina para la base de datos
SHOW client_encoding;
SET CLIENT_ENCODING TO 'LATIN10';
update pg_database set encoding=17 where datname='mibd';
SHOW client_encoding;

--Habilitar extensión Postgis
CREATE extension postgis;

--Crear campo para la geometria
select
AddGeometryColumn ('ar_ar_col', 'geom', 4326, 'POINT', 2);

--Crear geometria de puntos
UPDATE ar_ar_col SET geom =
ST_SetSRID(ST_MakePoint(longitud, latitud), 4326);|

```

Figura 2: Sentencias que se utilizaron para asignar codificación latina, habilitar la extensión *Postgis*, agregar la columna de geometría y crear los puntos con las coordenadas de las muestras.

En la figura 3 se presenta un diagrama de flujo que sintetiza la metodología utilizada en este trabajo.

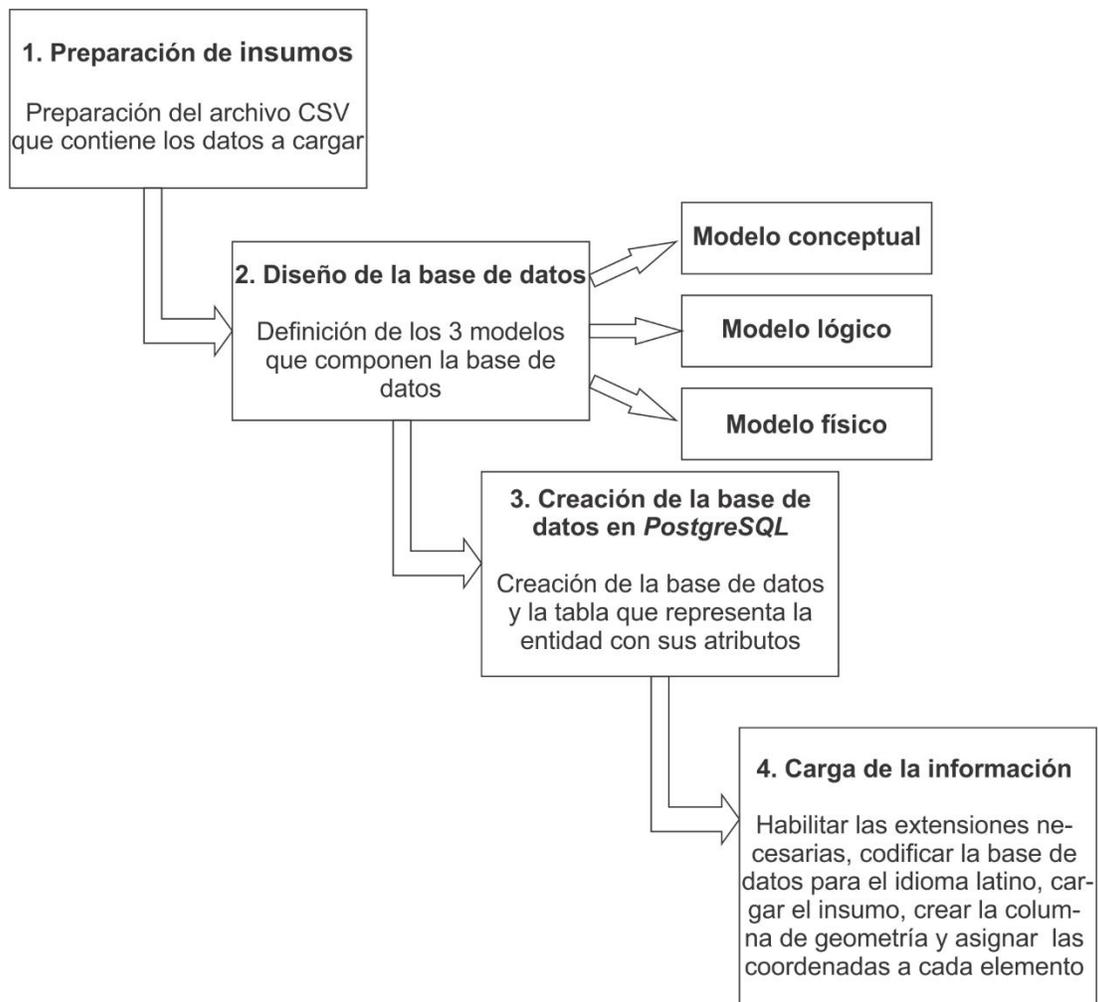


Figura 3: Metodología.

7. Resultados

Los resultados obtenidos de este trabajo son: a) el modelo conceptual de la Base de Datos Espacial con Información Geocronológica de Colombia (figura 4), el cual define una entidad de nombre “**dataciones_col**” y 23 atributos que representan los datos principales de cada datación, los cuales corresponden a: (i) un campo de nombre “id” que codifica cada muestra de la tabla. En el modelo conceptual, este atributo se muestra subrayado indicando que corresponde a la clave primaria (*primary key*) de la entidad, (ii) un campo de nombre “muestra” que contiene la

codificación original que los autores asignaron y según la cual se puede buscar la referencia original en los artículos científicos. (iii) un campo de nombre “unidad_geo” donde se indica el nombre de la unidad geológica de la cual se tomó la muestra. (iv) un campo de nombre “litologia” que contiene el tipo de roca del cual se tomó la muestra. (v) un campo de nombre “edad_bp” que contiene la edad de las muestras datadas por el método Carbono-14 y Be-10, cuyas unidades son years before present o años antes del presente. (vi) un campo de nombre error_bp que contiene el valor del error de la edad del campo anterior. (vii) un campo de nombre “edad_ma” donde está la edad obtenida por lo demás métodos de datación y que se encuentra en millones de años. (viii) un campo de nombre “error_ma”, que contiene el valor del error de la edad en millones de años. (ix) un campo de nombre “grano_menor” que contiene el valor de la edad más joven de los granos detríticos y que está dada en millones de años. (x) un campo de nombre “grano_menor_e”, que contiene el valor del error de la edad del campo anterior. (xi) un campo de nombre “grano_mayor” que contiene el valor de la edad más antigua de los granos detríticos y que está dada en millones de años. (xii) un campo de nombre “grano_mayor_e”, que contiene el valor del error de la edad del campo anterior. (xiii) un campo de nombre “herencia”, que tiene los valores de edades heredadas reportadas por el autor. (xiv) un campo de nombre “metodo”, donde se especifica el método de datación realizado. (xv) un campo de nombre “material”, donde se muestra el material sobre el cual se hizo la datación. (xvi) un campo de nombre “msdw”, que contiene el campo con el valor del MSDW reportado por el autor y que da información acerca de la confiabilidad del dato. (xvii) un campo de nombre “numero_granos” que contiene la cantidad de granos analizados con el que se definió la edad. (xviii) un campo de nombre “referencia_res” donde está la referencia resumida del artículo de donde se tomó el dato. (xix) un campo de nombre “ano” donde está el año de publicación del artículo que contiene la

datación. (xx) un campo de nombre “comentario” que contiene la interpretación del dato dada por el autor. (xxi) un campo de nombre “referencia_ful”, que contiene la referencia completa del artículo donde fue publicada la edad. Y dos campos, (xxii) y (xxiii), de nombre “latitud” y “longitud”, que contienen la ubicación de la muestra en coordenadas geográficas en grados decimales en sistema WGS 1984. b) El modelo lógico de la Base de Datos Espacial con Información Geocronológica de Colombia (figura 5), el cual representa no solo la entidad y los atributos definidos, sino también específica para los atributos el dominio del dato más adecuado. El atributo “id” es de tipo integer, ya que es un número entero que indexa la tabla, además se indica que corresponde a la llave primaria (pk). Los atributos “muestra”, “unidad_geo” y “litología” son de tipo varchar, ya que los registros que se almacenan en estos campos son cadenas de caracteres. Los atributos “edad_bp”, “error_bp”, “edad_ma”, “error_ma”, “grano_menor”, “grano_menor_e”, “grano_mayor” y “grano_mayor_e” son de dominio varchar, ya que aunque en estos campos se registra el dato de la edad de la muestra, en algunos casos los autores dan rangos o aproximaciones utilizando caracteres alfanuméricos, lo que hace necesario que estas columnas permitan el ingreso de este tipo de datos. Los atributos “herencia”, “metodo” y “material” son de tipo varchar, porque registran datos de tipo texto. Los atributos “mswd” y “numero_granos” tiene la misma característica de los atributos donde se almacena la edad, y es que, aunque indiquen valores o cantidades, los autores reportan también caracteres alfanuméricos que hace necesario utilizar un dominio que permita el ingreso de esta información. El atributo “referencia_res” es de tipo varchar, ya que el registro está formado por una cadena de caracteres alfanuméricos. El atributo “ano” es de tipo integer, ya que corresponde a un número entero. Los atributos “comentario” y “referencia_ful” son de tipo varchar, ya que son cadenas de texto con caracteres alfanuméricos. Los atributos “latitud” y “longitud” son de tipo double precision, ya

que almacenan los datos de las coordenadas de las muestras que están dadas en grados decimales. Y finalmente la columna “geom” es de tipo geometry, ya que guarda la geometría de la entidad, que para este caso es de tipo punto. c) El modelo físico de la Base de Datos Espacial con Información Geocronológica de Colombia (figura 6), el cual provee el código en lenguaje SQL para crear la entidad con sus atributos dentro del gestor de base de datos *PostgreSQL*. d) Una base de datos espacial constituida por una entidad representada por una tabla y 23 atributos. Esta base de datos espacial contiene 2.066 registros en la misma cantidad de filas, donde se almacena la información geocronológica de Colombia. En la figura 7 se muestra la base de datos y la tabla “dataciones_col”, en *PostgreSQL*, con sus 23 atributos y su columna de geometría. La sentencia inicial para cargar toda la información de la tabla es “SELECT * FROM dataciones_col”.

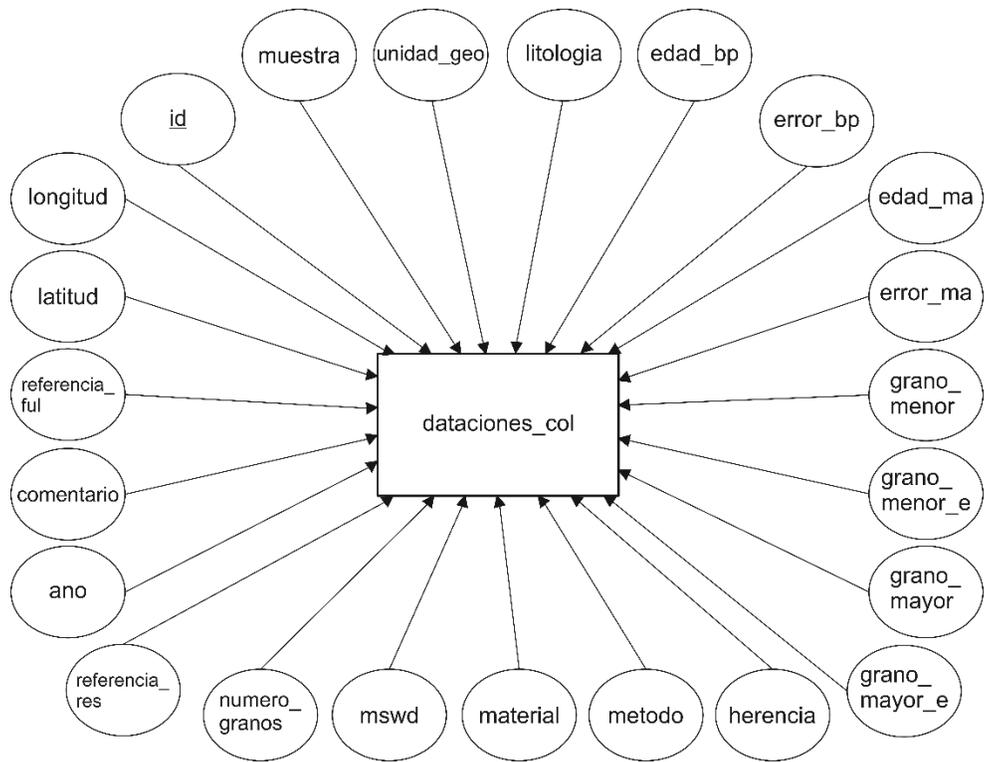


Figura 4: Modelo conceptual de la Base de Datos Geocronológica de Colombia.

dataciones_col		
pk	id	integer
	muestra	varchar
	unidad_geo	varchar
	litologia	varchar
	edad_bp	varchar
	error_bp	varchar
	edad_ma	varchar
	error_ma	varchar
	grano_menor	varchar
	grano_menor_e	varchar
	grano_mayor	varchar
	grano_mayor_e	varchar
	herencia	varchar
	metodo	varchar
	material	varchar
	mswd	varchar
	numero_granos	varchar
	referencia_res	varchar
	ano	integer
	comentario	varchar
	referencia_ful	varchar
	latitud	double precision
	longitud	double precision
	geom	geometry

Figura 5: Modelo lógico de la Base de Datos Geocronológica de Colombia.

```

SQL
CREATE TABLE "dataciones_col" (
  "id" integer,
  "muestra" varchar,
  "unidad_geo" varchar,
  "litologia" varchar,
  "edad_bp" varchar,
  "error_bp" varchar,
  "edad_ma" varchar,
  "error_ma" varchar,
  "grano_menor" varchar,
  "grano_menor_e" varchar,
  "grano_mayor" varchar,
  "grano_mayor_e" varchar,
  "herencia" varchar,
  "metodo" varchar,
  "material" varchar,
  "mswd" varchar,
  "numero_granos" varchar,
  "referencia_res" varchar,
  "ano" integer,
  "comentario" varchar,
  "referencia_ful" varchar,
  "latitud" double precision,
  "longitud" double precision,
  "geom" geometry
);

CREATE INDEX "pk" ON "dataciones_col" ("id");

```

Figura 6: Modelo físico de la Base de Datos Geocronológica de Colombia.

The screenshot shows a PostgreSQL database interface with a table named 'dataciones'. The table has the following columns: id, muestra, unidad_geo, litologia, edad_bp, error_bp, edad_ma, error_ma, grano_menor, grano_menor_e, grano_mayor, grano_mayor_e, herencia, metodo, material, mswd, numero_granos, referencia_res, ano, comentario, referencia_ful, latitud, longitud, and geom. The table contains 14 rows of data, with the first row being a header row. The data includes sample IDs, sample names, geographic units, lithologies, ages, errors, grain sizes, inheritance, methods, materials, mswd values, number of grains, references, years, comments, full references, latitudes, longitudes, and geometry.

id	muestra	unidad_geo	litologia	edad_bp	error_bp	edad_ma	error_ma	grano_menor	grano_menor_e	grano_mayor	grano_mayor_e	herencia	metodo	material	mswd	numero_granos	referencia_res	ano	comentario	referencia_ful	latitud	longitud	geom
257	348	MA-52	Semperlo-Guá	1815	4							200-14	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	1.5	10	Rodriguez et al., 2016	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	4.624	-76.147	010100000001	
258	249	OR-872	Misasa-Miraflores	1776	1.2								K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	3	40	Rodriguez et al., 2016	Concepcion et al.	Rodriguez et al.	1.974	-76.790	010100000001	
259	257	15100	Quinta Esperanza	1736	0.30								zircon	zircon	1.43	10	Rodriguez et al., 2016	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	7.189	-75.874	010100000001	
260	260	MA-100	Misasa-Miraflores	1818	1.3							699.49 ± 0.9	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	1.4	31	Rodriguez et al., 2016	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	1.369	-76.773	010100000001	
261	261	MA-501	Misasa-Miraflores	1767	0.3								K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	3.3	33	Rodriguez et al., 2016	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	1.037	-76.843	010100000001	
262	262	260-073 (004-0)	La Plata-Guata	2018	0							1148 ± 130, n = 1	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	1.4	26	Rodriguez et al., 2017	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	1.453	-75.934	010100000001	
263	263	OR-405 (004-0)	La Plata-Guata	2018	0							841.63 ± 61.1 (n)	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	1.06	45	Rodriguez et al., 2017	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	2.387	-76.153	010100000001	
264	264	MA-010 (004-0)	La Plata-Guata	2018	0							285.91 ± 50.7 (n)	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	1.6	32	Rodriguez et al., 2017	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	2.288	-76.121	010100000001	
265	265	MA-551 (004-0)	La Plata-Guata	2018	0							602 ± 70, n = 5	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	0.34	38	Rodriguez et al., 2017	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	0.5487	-76.172	010100000001	
266	266	OR-403 (004-0)	La Plata-Guata	2018	0							1191.176 ± 1.5	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	3.3	19	Rodriguez et al., 2017	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	2.377	-75.999	010100000001	
267	267	OR-402 (004-0)	La Plata-Guata	2018	0							914.4 ± 83.4 (n)	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	0.5	32	Rodriguez et al., 2017	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	2.624	-75.976	010100000001	
268	268	OR-404 (004-0)	La Plata-Guata	2018	0							204.4 ± 9.1 (n)	K ⁴⁰ Ar-LiF/PM	Zircon	1.9	14	Rodriguez et al., 2017	Weghofer et al.	Rodriguez et al.	2.637	-76.708	010100000001	
269	269	AL-012	Aluche-Puerto Compe	1140	0.30								zircon	zircon	1.2	10	Rodriguez et al., 2017	Panizza et al.	Rodriguez et al.	7.377	-72.943	010100000001	
270	269	AL-012	Aluche-Puerto Compe	1140	0.3								zircon	zircon	1.04	10	Rodriguez et al., 2017	Panizza et al.	Rodriguez et al.	7.377	-72.943	010100000001	

Figura 7: Base de datos espacial “dataciones” con la tabla “dataciones_col” en PostgreSQL.

Además de esto, se puede visualizar la ubicación de cada muestra de la base de datos desde la columna “geom”. En la figura 8 se puede ver la localización de las dataciones radiométricas de Colombia publicadas desde 2015 hasta 2022 visualizada desde *PostgreSQL*.

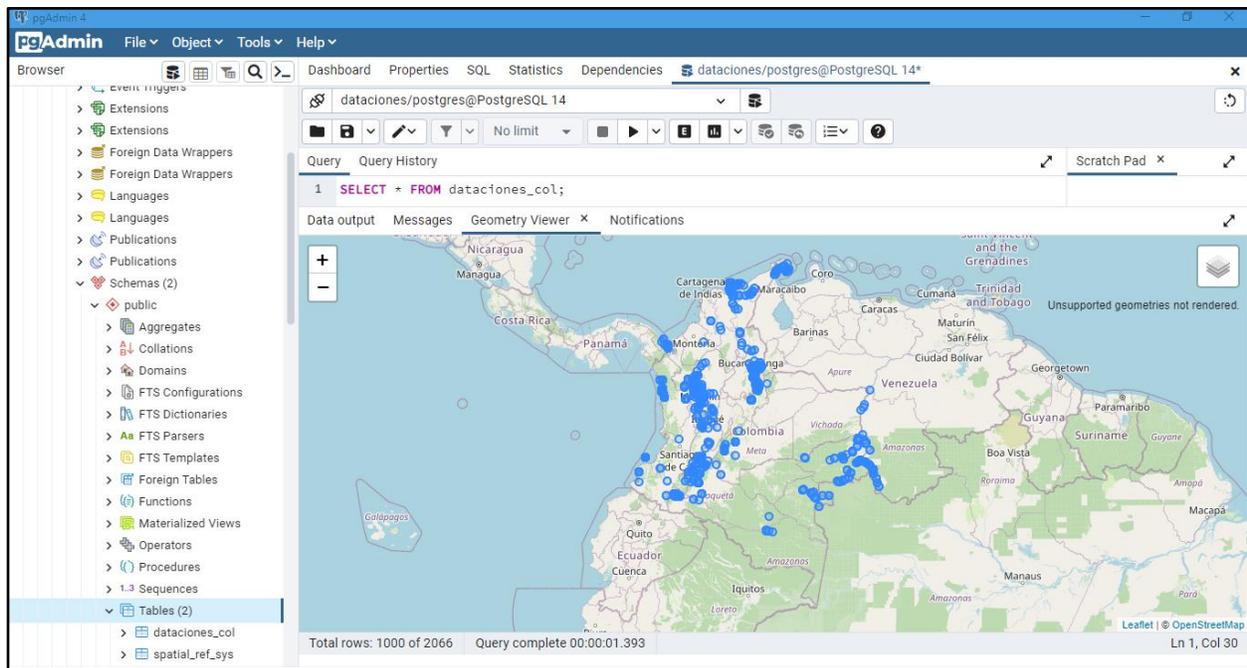
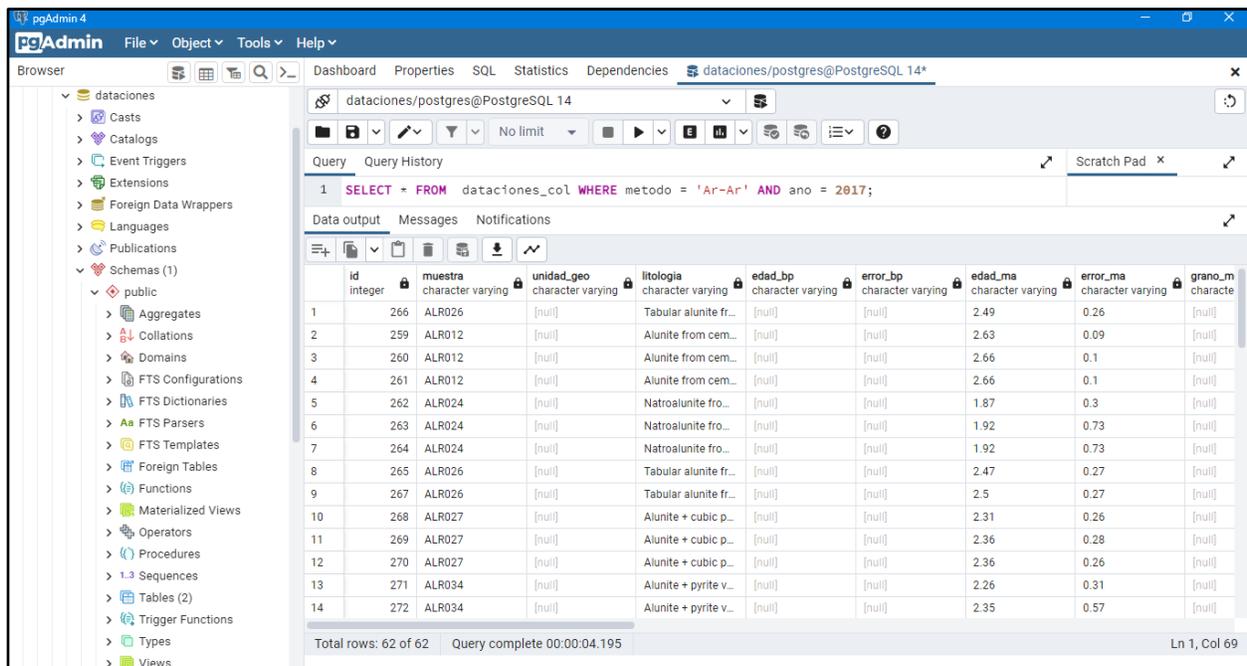


Figura 8: Localización de la información geocronológica de Colombia cargada en la base de datos espacial y visualizada en *PostgreSQL*.

El propósito de las bases de datos no es solo almacenar información, sino también permitir su manipulación de forma eficiente. Las bases de datos geocronológicas de Colombia desarrolladas por Restrepo (1982), Maya (1992), Gómez Tapias *et al.* (2015) y Rodríguez-Corcho *et al.* (2022) están publicadas en formatos PDF, Excel, KMZ, file geodatabase y visor web, cada uno permite una forma diferente manipular la información. PDF permite lectura y búsqueda sin opciones de filtrado ni visualización geográfica. Excel permite lectura, búsqueda y filtrado, pero sin visualización espacial de los datos y con espacio limitado de almacenamiento.

KMZ permite la lectura y la visualización geográfica de la información que contiene, pero sin la capacidad de manejar la información. File geodatabase permite inserción, lectura, búsqueda, filtrado y visualización espacial de datos, pero está limitada a un software específico y consume una gran cantidad de memoria en el computador que hace que disminuya el rendimiento. Y finalmente un visor web permite solo la lectura y visualización geográfica. La base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia, desarrollada en este trabajo, se presenta en un gestor de base de datos que permite su manipulación a través de lenguaje SQL, por medio del cual se hace la creación, inserción, modificación, eliminación, selección y filtrado de los datos, lo que faculta al usuario para manejar completamente la información y poder visualizar cada consulta que haga; en la figura 9 se da un ejemplo de como con una sentencia corta se filtra la base de datos para obtener solo la información de las dataciones realizadas por el método Ar-Ar en el año 2017. Otra de las mayores virtudes que tiene la base de datos espacial desarrollada en *PostgreSQL* es la compatibilidad entre este gestor con softwares SIG, dando una gran interoperabilidad a la base de datos y permitiendo que el usuario extraiga solo la información de su interés y la agregue a sus proyectos de investigación. Para este trabajo se utilizó el software *Qgis* versión 3.22.9. La conexión del software, con la base de datos con la información geocronológica de Colombia se hace desde el panel de navegación de *Qgis*, allí se encuentra la herramienta de *Postgis*, desde la cual con clic derecho se puede acceder a una nueva conexión y enlazar la base de datos con el software. Esta unión permite manipular la información en *PostgreSQL* y visualizarla en *Qgis*. En la figura 10 se muestra la conexión del gestor de base de datos de *PostgreSQL* en *Qgis* con la información geocronológica de Colombia y en la figura 11 se muestra la conexión del gestor de base de datos de *PostgreSQL* en *Qgis* con la información filtrada en la figura 9. Estos ejemplos muestran las ventajas en que tiene la base de

datos espacial con la información geocronológica de Colombia en *PostgreSQL* respecto a la manipulación y la visualización de los datos, en comparación con las mencionadas anteriormente que están en otros formatos que no permiten un manejo completo y eficiente de los datos y además de que no en todas se puede ver la ubicación de la información que contienen por no tener la propiedad de ser bases de datos espaciales.



The screenshot shows the pgAdmin 4 interface. The query editor contains the following SQL statement:

```
SELECT * FROM dataciones_col WHERE metodo = 'Ar-Ar' AND ano = 2017;
```

The results are displayed in a table with the following columns and data:

	id	muestra	unidad_geo	litologia	edad_bp	error_bp	edad_ma	error_ma	grano_m
	integer	character varying	character varying	character varying	character varying	character varying	character varying	character varying	character varying
1	266	ALR026	[null]	Tabular alunite fr...	[null]	[null]	2.49	0.26	[null]
2	259	ALR012	[null]	Alunite from cem...	[null]	[null]	2.63	0.09	[null]
3	260	ALR012	[null]	Alunite from cem...	[null]	[null]	2.66	0.1	[null]
4	261	ALR012	[null]	Alunite from cem...	[null]	[null]	2.66	0.1	[null]
5	262	ALR024	[null]	Natroalunite fro...	[null]	[null]	1.87	0.3	[null]
6	263	ALR024	[null]	Natroalunite fro...	[null]	[null]	1.92	0.73	[null]
7	264	ALR024	[null]	Natroalunite fro...	[null]	[null]	1.92	0.73	[null]
8	265	ALR026	[null]	Tabular alunite fr...	[null]	[null]	2.47	0.27	[null]
9	267	ALR026	[null]	Tabular alunite fr...	[null]	[null]	2.5	0.27	[null]
10	268	ALR027	[null]	Alunite + cubic p...	[null]	[null]	2.31	0.26	[null]
11	269	ALR027	[null]	Alunite + cubic p...	[null]	[null]	2.36	0.28	[null]
12	270	ALR027	[null]	Alunite + cubic p...	[null]	[null]	2.36	0.26	[null]
13	271	ALR034	[null]	Alunite + pyrite v...	[null]	[null]	2.26	0.31	[null]
14	272	ALR034	[null]	Alunite + pyrite v...	[null]	[null]	2.35	0.57	[null]

Total rows: 62 of 62 Query complete 00:00:04.195 Ln 1, Col 69

Figura 9: Manipulación de la base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia de *PostgreSQL* con sentencia SQL de filtrado de información.

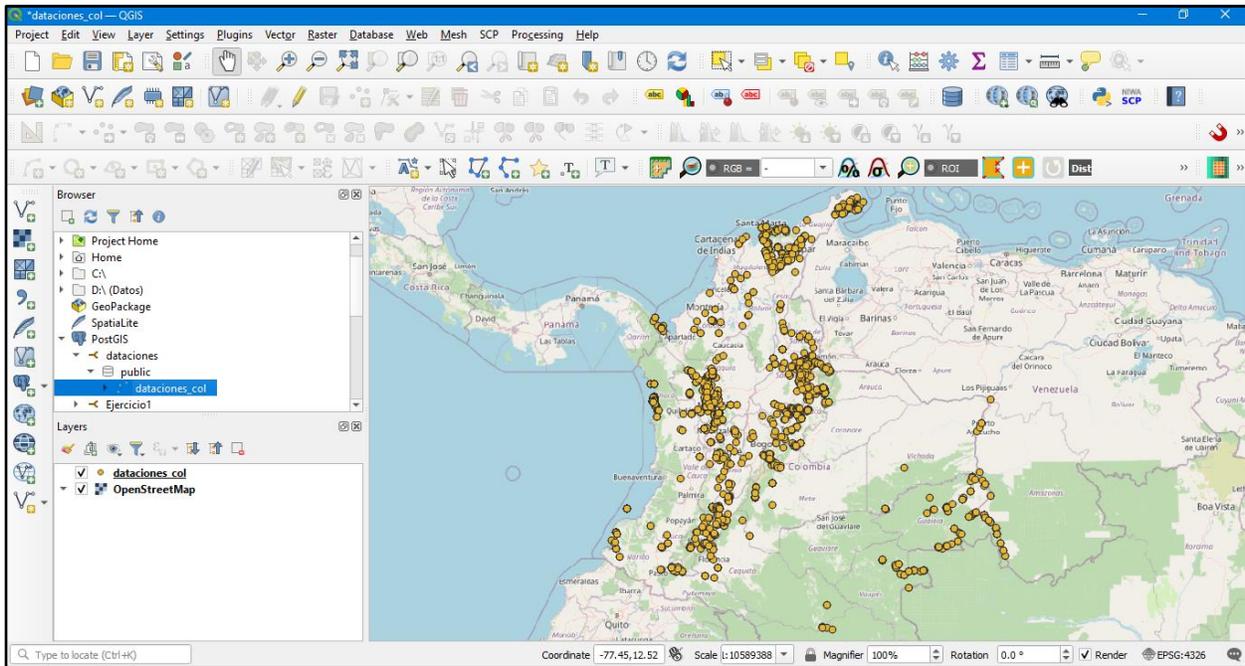


Figura 10: Conexión de la base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia de *PostgreSQL* con *Qgis*.

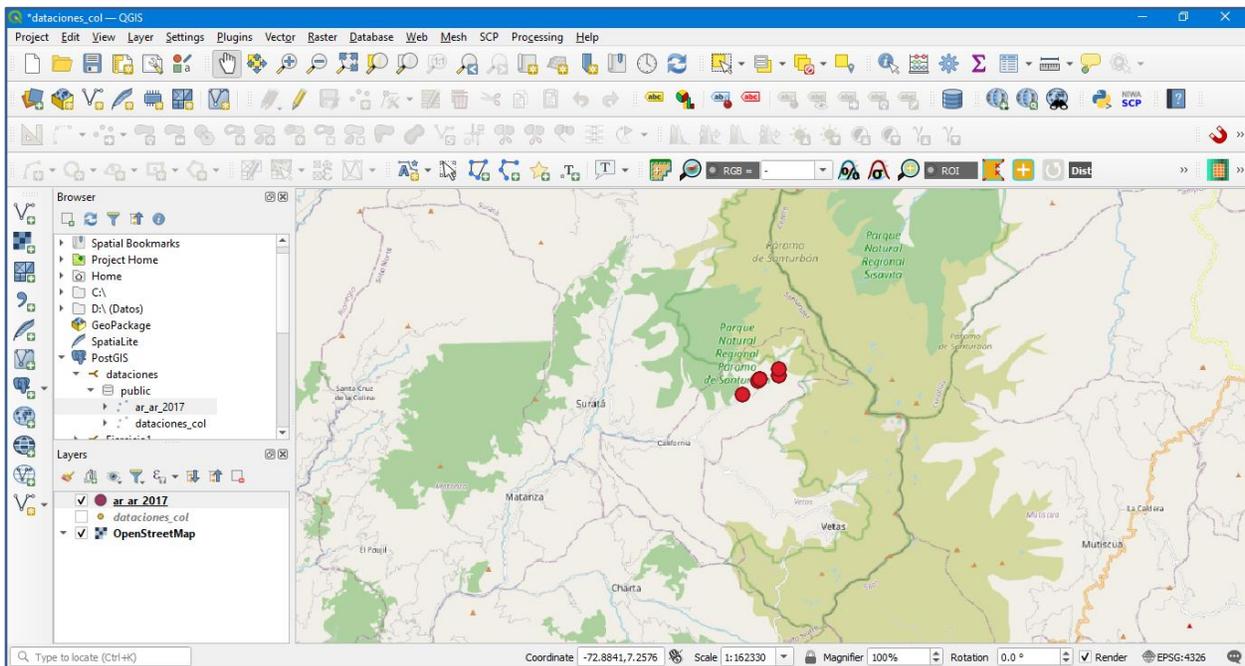


Figura 11: Conexión de *PostgreSQL* con *Qgis* de la base de datos espacial con la información de las dataciones por el método Ar-Ar durante el año 2017.

8. Conclusiones

- El diseño de la base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia se desarrolló mediante un modelo de datos de entidad-relación con la metodología de modelo conceptual, lógico y físico, obteniendo una entidad y 24 atributos.
- La base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia se compone de 24 atributos que representan los datos más relevantes de cada datación realizada entre 2015 y 2022. La información almacenada permite tener una visión general de cada muestra, para que el usuario analice y extraiga la información más útil para su trabajo y se pueda dirigir a la fuente original para profundizar con mayor detalle.
- La conexión del gestor de base de datos *PostgreSQL* con el software *Qgis* permite dar interoperabilidad a las dataciones geocronológicas de Colombia, ya que posibilita que la información contenida en la base de datos sea tratada como una capa más en un software SIG de uso común, dentro del desarrollo de un proyecto de investigación, por lo cual el usuario tiene la capacidad de seleccionar y manipular de forma eficiente la información más relevante para su trabajo.
- La base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia contiene 2.066 filas con 2.066 registros de dataciones realizadas entre 2015 y 2022 cargados a partir de un archivo CSV delimitado por comas.
- El formato más adecuado para almacenar la información geocronológica de Colombia es una base de datos espacial, que permite tener un manejo completo de la

- información, desde insertar, consultar, filtrar, modificar y visualizar hasta hacer geoprocесamientos espaciales, través de programación SQL y en el mismo software.
- *PostgreSQL* es un gestor de bases de datos adecuado para almacenar información geográfica de todo tipo, ya que tiene la cualidad de manejar bases de datos espaciales y es operable con softwares SIG como *Qgis* que facilita la manipulación y visualización de la información, además de permitir su ingreso a un proyecto desarrollo SIG.

9. Recomendaciones

La base de datos espacial con la información geocronológica de Colombia contribuye al mejoramiento del acceso, manipulación y visualización de los datos geocronológicos del país. El desarrollo de esta base de datos le porta al campo de la investigación en geociencias una herramienta más para extraer y analizar información importante que se usa en el desarrollo de muchos tipos de proyectos, ya que como se expuso en el capítulo 3.2, las dataciones radiométricas tienen gran aplicación en geología, debido a que básicamente son la que definen la cronología de la historia geológica de un territorio. Este trabajo solo compila la información geocronológica publicada desde 2015 hasta marzo de 2022, por lo cual se recomienda continuar con la actualización de la base de datos, ingresando los datos faltantes y los que se van liberando en artículos científicos y tesis, para mantener al día la información y que siga siendo útil en el desarrollo de nuevas investigaciones que van avanzando conforme se tienen nuevos datos de la historia geológica de Colombia.

10. Referencias Bibliográficas

- Bernal, R. (2016). Geografía de Colombia. In R. Bernal, R. S. Gradstein, & M. Celis (Eds.), *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia volumen 1* (pp. 19–32). Universidad Nacional de Colombia.
- https://www.researchgate.net/publication/313844589_Catalogo_de_plantas_y_liquenes_de_Colombia_volumen_i_-_editores_-_volumen_i_capitulos_introductorios_-_liquenes_a_lythraceae_Catalogo_de_plantas_y_liquenes_Brunelliaceae
- Cuney, M. (2021). Nuclear Geology. In D. Alderton & E. Scott (Eds.), *Encyclopedia of Geology, 2nd edition* (2nd ed., pp. 723–744). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00024-2>
- Davies, B. J., Darvill, C. M., Lovell, H., Bendle, J. M., Dowdeswell, J. A., Fabel, D., García, J. L., Geiger, A., Glasser, N. F., Gheorghiu, D. M., Harrison, S., Hein, A. S., Kaplan, M. R., Martin, J. R. V., Mendelova, M., Palmer, A., Pelto, M., Rodés, Á., Sagredo, E. A., ... Thorndycraft, V. R. (2020). The evolution of the Patagonian Ice Sheet from 35 ka to the present day (PATICE). *Earth-Science Reviews*, 204(September 2019), 103152.
- <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103152>
- Del Pilar Martínez, A., Nieto Samaniego, Á. F., Angeles Moreno, E., Suárez Arias, A. M., Olmos Moya, M. de J. P., Alaniz Álvarez, S. A., & Levresse, G. (2021). Digital geological map and geochronological database of the Cenozoic cover of the southern Mesa Central province, Mexico. *Terra Digitalis*, 5(2), 1–10.
- <https://doi.org/10.22201/igg.25940694e.2021.2.89>
- Eglington, B. M. (2004). DateView: A windows geochronology database. *Computers and Geosciences*, 30(8), 847–858. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.06.002>

- Fang, X., Wu, Y., Liao, S., Xue, L., Chen, Z., Yang, J., Lu, Y., Ling, K., Hu, S., Kong, S., Xiong, Y., Li, H., Shang, X., Ji, R., Lu, X., Song, B., Zhang, L., & Ji, J. (2020). Division of crustal units in China using grid-based clustering and a zircon U–Pb geochronology database. *Computers and Geosciences*, *145*(July), 104570.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104570>
- Gómez, J., & Montes, N. E. (2020). Mapa Geológico de Colombia 2020. Escala 1:1 000 000. In *Servicio Geológico Colombiano* (p. 2 hojas). Servicio Geológico Colombiano.
https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/mgc_1M2020.aspx
- Gómez, J., Montes, N. E., Almanza, M. F., Marín E. (2023). Base de datos geocronológica de Colombia (trabajo inédito). Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.
- Gómez, J., Nivia, Á., Montes R, N., Almanza, M. F., Alcárcel, F., & Madrid, C. (2015). Notas explicativas: Mapa Geológico de Colombia. In J. Gómez & M. F. Almanza (Eds.), *Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015* (pp. 9–33). Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 33.
<https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/pev33ch01.aspx>
- Gómez Tapias, J., Montes R, N., Alcárcel G, F., & Ceballos, J. (2015). Catálogo de dataciones radiométricas de Colombia en ArcGIS y Google Earth. In J. Gómez Tapias & M. F. Almanza (Eds.), *Publicaciones Geológicas Especiales* (Vol. 33, Issue 2, pp. 63–419). Servicio Geológico Colombiano. <https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/pev33ch03.aspx>
- Gómez Tapias, J., Núñez Tello, A., Mateus Zabala, D., Alcárcel Gutiérrez, F. A., Lasso Muñoz, R. M., Marín Rincón, E., & Marroquín Gómez, M. P. (2020). Physiographic and Geological Setting of the Colombian Territory. In J. Gómez Tapias & D. Mateuz Zabala (Eds.), *The Geology of Colombia, Volume 1 Proterozoic – Paleozoic* (1st ed., Vol. 1, pp. 1–6). Servicio

Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 35.

<https://doi.org/doi.org/10.32685/pub.esp.35.2019.03>

Gopalan, K. (2017). Principles of radiometric dating. In *Principles of Radiometric Dating*.

Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108186551>

Harmon, R. S. (2021). Geochronology — Introduction and Overview. In D. Alderton & E. Scott

(Eds.), *Encyclopedia of Geology, 2nd edition* (2nd ed., pp. 1–12). Elsevier Inc.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12017-2>

Jäger, E. (1979). Introduction to Geochronology. In E. Jäger & J. C. Hunziker (Eds.), *Lectures in*

Isotope Geology (pp. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-67161-6_1

López Montalbán, I., & de Castro Vázquez, M. (2014). *Gestión de Bases de Datos* (Garceta

grupo editorial (ed.); 2nd ed.). [https://oiipdf.com/gestion-de-bases-de-datos-2da-edicion-](https://oiipdf.com/gestion-de-bases-de-datos-2da-edicion-ivan-lopez-montalban-freelibros-org)

[ivan-lopez-montalban-freelibros-org](https://oiipdf.com/gestion-de-bases-de-datos-2da-edicion-ivan-lopez-montalban-freelibros-org)

Marquez, A. (2015). *PostGIS Essentials*. Packt. [https://www.packtpub.com/product/postgis-](https://www.packtpub.com/product/postgis-essentials/9781784395292)

[essentials/9781784395292](https://www.packtpub.com/product/postgis-essentials/9781784395292)

Matthew, N., & Stones, R. (2005). Beginning Databases with PostgreSQL. In *Springer* (2nd ed.).

Apress Berkeley, CA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0018-5>

Maya, M. (1992). Catalogo de dataciones isotopicas en Colombia. *Boletín Geológico*, 32(1),

126–187. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol32.1-3.1992.204>

Momjian, B. (2000). *PostgreSQL Introduction and Concepts*. Addison–Wesley.

https://lab.demog.berkeley.edu/Docs/Refs/aw_pgsql_book.pdf

Obe, R., & Hsu, L. (2015). *PostGIS in Action* (2nd ed.). Manning.

<https://www.manning.com/books/postgis-in-action-second-edition>

Oppel, A., & Sheldon, R. (2009). *SQL: A Beginner's Guide* (3rd ed.). McGraw-Hill

Interamericana.

- Pinson, W. H., Hurley, P. M., Mencher, E., & Fairbairn, H. W. (1962). K-Ar and Rb-Sr ages of biotites from Colombia, South America. *GSA Bulletin*, 73(7), 907–910.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1962\)73\[907:KARAOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1962)73[907:KARAOB]2.0.CO;2)
- Puetz, S. J. (2018). A relational database of global U–Pb ages. *Geoscience Frontiers*, 9(3), 877–891. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.12.004>
- Reichel-Dolmatoff, G. (1961). Puerto Hormiga: Un complejo prehistórico marginal de Colombia (nota preliminar). *Revista Colombiana de Antropología*, 10, 348–354.
<https://doi.org/10.22380/2539472X.1647>
- Restrepo, J. J. (1982). Compilación de edades radiométricas de Colombia: Departamentos Andinos hasta 1982. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 7–8, 201–248.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/94733>
- Restrepo, J. J., & Toussaint, J. F. (2020). Tectonostratigraphic Terranes in Colombia: An Update First Part: Continental Terranes. In J. Gómez Tapias & D. Mateus Zabala (Eds.), *The Geology of Colombia, Volume 1 Proterozoic – Paleozoic* (1st ed., Vol. 1, pp. 37–63).
- Rigaux, P., Scholl, M., & Agnès, V. (2001). *Spatial Databases With Application to GIS* (P. Rigaux, M. Scholl, & V. Agnès (eds.); 1st ed.). Morgan Kaufmann Publishers An imprint of Elsevier Science. <https://www.elsevier.com/books/spatial-databases/rigaux/978-1-55860-588-6>
- Rodriguez-Corcho, A. F., Rojas-Agramonte, Y., Barrera-Gonzalez, J. A., Marroquin-Gomez, M. P., Bonilla-Correa, S., Izquierdo-Camacho, D., Delgado-Balaguera, S. M., Cartwright-Buitrago, D., Muñoz-Granados, M. D., Carantón-Mateus, W. G., Corrales-García, A., Laverde-Martinez, A. F., Cuervo-Gómez, A., Rodriguez-Ruiz, M. A., Marin-Jaramillo, J.

- P., Salazar-Cuellar, N., Esquivel-Arenales, L. C., Daroca, M. E., Carvajal, A. S., ... Montes, C. (2022). The Colombian geochronological database (CGD). *International Geology Review*, 64(12), 1635–1669. <https://doi.org/10.1080/00206814.2021.1954556>
- Sanchez, G., Halpin, J. A., Gard, M., Hasterok, D., Stål, T., Raimondo, T., Peters, S., & Burton-Johnson, A. (2021). PetroChron Antarctica: A Geological Database for Interdisciplinary Use. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22(12), e2021GC010154. <https://doi.org/10.1029/2021GC010154>
- Schneider, M. (1997). *Spatial Data Types for Database System: Finite Resolution Geometry for Geographic Information System* (G. Goos, J. Hartmanis, & J. van Leeuwen (eds.)). Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/BFb0028319>
- Siegel, C., Bryan, S., Purdy, D., Gust, D., Allen, C., Uysal, T., & Champion, D. (2011). A new database compilation of whole-rock chemical and geochronological data of igneous rocks in Queensland : A new resource for HDR geothermal resource exploration . The compiled dataset comprises two types of. In A. R. Budd (Ed.), *Proceedings of the 2011 Australian Geothermal Energy Conference [Geoscience Australia, Record 2011/43]* (pp. 239–244). Geoscience Australia.
- Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2006). *Database System Concepts* (McGraw-Hill (ed.); 5th ed.). California University. https://books.google.com.co/books/about/Database_System_Concepts.html?id=HlBGAQA-AIAAJ&redir_esc=y
- Vermeesch, P. (2014). Isotope Geology Part I : Radiometric Geochronology. In *London Geochronology Centre, University College London* (p. 81). <https://eartharxiv.org/sj4ft/>
- Yeung, A. K. W., & Hall, B. G. (2007). *Spatial Database Systems: Design, Implementation and*

Project Management (A. K. W. Yeung & B. G. Hall (eds.); 1st ed.). Springer Dordrecht.

<https://doi.org/10.1007/1-4020-5392-4>

Zhang, B., Liu, S., & Zhang, C. (2023). EaDz: A web-based, relational database for detrital zircons from East Asia. *Computers and Geosciences*, *171*, 105288.

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2022.105288>