

Evaluación de la Relación entre la Variación Altitudinal, la Precipitación y el Contenido de Carbono Orgánico para los Municipios San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el Departamento del Huila.

Juan Jacobo Muñoz Rosales

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Titulación de Magíster en Tecnologías de la Información Geográfica

Línea de Investigación

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Maestría en Tecnologías de Información Geográfica

Manizales, 2023

De Dedicado a Dios y a mi Familia. El conocimiento no es una vasija que se llena, sino un fuego que se enciende. Plutarco

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por otorgarme una familia maravillosa, que ha creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio.

A todas las personas que me impulsaron a terminar este proyecto, en especial a Julieth, Stephan y Víctor, sin duda cada uno de sus aportes fueron indispensable para poder lograrlo.

A Luciana, por ser mi significado de amor.

A Nataly, por se mi apoyo incondicional, por su tolerancia e infinita paciencia, por permitir llevar a cabo un proyecto que paso de ser una meta personal a otro emprendimiento de familia; A ella, mi eterno amor y gratitud.

Resumen

Esta investigación evaluó la relación altitudinal, la precipitación promedio anual acumulada y el contenido de carbono orgánico suelo (COS) del sistema de mapeo digital a nivel global de suelos que utiliza la plataforma Soilgrids; con base en un código de aprendizaje automatizado (machine learning) que permite mapear algunas propiedades edáficas a nivel mundial, soilgrids como es llamada esta fuente de información, está ajustada con más de 230.000 muestras de perfiles de suelo de la base del servicio mundial de información sobre suelos. El desarrollo metodológico se acotó para el departamento del Huila, específicamente para los municipios de Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín.

Con base en los análisis concluyentes de otras autorías de la relación existente entre la altitud y COS, se validó la data usando las capas ráster generadas por el ISRIC para el departamento del Huila, realizando una división orográfica por cordilleras, que permitió encontrar la relación de COS generado con Machine Learning (ML) y la altitud (STRM); esta validación se realizó usando estadística descriptiva y geoprocесamientos, permitiendo encontrar causalidad entre el contenido de carbono orgánico en el suelo y la altitud para todos los municipios.

Palabras clave: geoprocесamiento, contenido de carbono orgánico, altitud.

Abstract

This research evaluated the altitudinal relationship, the average annual accumulated precipitation and the soil organic carbon (SOC) content of the global digital soil mapping system that uses the Soilgrids platform; Based on a machine learning code that allows mapping some edaphic properties worldwide, soilgrids, as this source of information is called, is adjusted with more than 230,000 soil profile samples from the global information service database. on soils. The methodological development was limited to the department of Huila, specifically for the municipalities of Colombia, Garzón, La Plata and San Agustín.

Based on the conclusive analyzes of other authors of the relationship between altitude and SOC, the data was validated using the raster layers generated by the ISRIC for the department of Huila, carrying out an orographic division by mountain ranges, which allowed finding the relationship of COS generated with Machine Learning (ML) and altitude (STRM); This validation was carried out using descriptive statistics and geoprocessing, allowing causality to be found between the organic carbon content in the soil and altitude for all municipalities.

Keywords: geoprocessing, organic carbon content, altitude.

Contenido

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN.....	15
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA.....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. ANTECEDENTES.....	19
4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL	23
5. REFERENTE TEÓRICO.....	25
5.1 REFERENTE CONTEXTUAL.....	25
5.2 CICLO DEL CARBONO	26
5.3 CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO	28
5.4 SISTEMA DE MAPEO DE CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO.....	29
5.5 PRECIPITACIÓN.....	29
5.6 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	30
6. METODOLOGÍA.....	33
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO	33
6.2 TIPO DE ESTUDIO	33
6.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	34
6.4 DIAGRAMA METODOLOGICO DE FLUJO Y PROCESOS	35
6.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	36
6.5.1 Información Edáfica.....	36
6.5.2 Información Orográfica	37
6.5.3 Información Climática.....	38
6.6 PROCEDIMIENTO.....	41
6.6.1 Guía metodológica (1) de transformación de información orográfica ráster espacial a bases de datos planas.	41
6.6.2 Guía metodológica (2) de transformación de información edáfica espacial a bases de datos planas, y división espacial por cordilleras.....	41

6.6.3	<i>Guía metodológica (3) de transformación de información espacial de precipitación a bases de datos planas.</i>	42
6.6.4	<i>Información plana o tabular.</i>	43
7.	MATERIALES Y MÉTODOS	46
7.1	ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS	46
7.2	CORRELACIÓN DE DATOS	53
8.	RESULTADOS	56
8.1	VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE SALIDAS ESTADÍSTICAS	56
8.1	SALIDAS GRAFICAS	60
9.	CONCLUSIONES	63
9.1	VALIDACIÓN DE CAUSALIDAD ENTRE VARIABLES.	63
9.2	DEFINICIÓN DE PLATAFORMA SOILGRIDS CON DATA CONFIABLE.	64
9.3	CARTOGRAFÍA TEMÁTICA	64
10.	RECOMENDACIONES	67
10.1	PARAMETRIZACIÓN DE BASE DE DATOS	67
10.2	GEOPROCESAMIENTO	67
10.3	CARTOGRAFÍA TEMÁTICA	67
11.	REFERENCIAS	68

Lista de figuras

Figura 1. <i>Ubicación municipios de estudio en el departamento del Huila.....</i>	26
Figura 2. <i>Ciclo de carbono de suelos</i>	27
Figura 3. <i>Diagrama metodológico para evaluar la causalidad entre el COS, la altitud y la precipitación.</i>	35
Figura 4. <i>Ráster de contenido de carbono en el suelo del departamento del Huila.....</i>	37
Figura 5. <i>Modelo de elevación digital departamento del Huila.</i>	38
Figura 6. <i>Capa ráster datos de precipitación del Huila.</i>	40
Figura 7. <i>Data espacializada de los puntos de estudio en el Huila.</i>	44
Figura 8. <i>Data espacializada puntos de estudio en los municipios de Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín del departamento del Huila.....</i>	45
Figura 9. <i>Boxplot Altitud de municipios de estudio</i>	50
Figura 10. <i>Boxplot Contenido de Carbono Orgánico en el Suelo de municipios de estudio</i>	51
Figura 11. <i>Boxplot Precipitación de municipios de estudio</i>	52
Figura 12. <i>Gráfico comportamiento estadístico de R2 relación COS-Altitud.....</i>	58
Figura 13. <i>Gráfico comportamiento estadístico de R2 relación Altitud-Precipitación.....</i>	58
Figura 14. <i>Gráfico comportamiento estadístico de R2 relación Precipitación-COS.....</i>	59
Figura 15. <i>Puntos de estudios evaluados con capa ráster de COS</i>	60
Figura 16. <i>Puntos de estudios evaluados con capa Ráster de precipitación.....</i>	61
Figura 17. <i>Puntos de estudios evaluados con modelo de elevación digital del Huila.</i>	62

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Variable de Altitud en municipios de estudio.</i>	47
Tabla 2. <i>Variable de contenido de carbono orgánico en municipios de estudio.</i>	48
Tabla 3. <i>Variable de precipitación en municipios de estudio.</i>	49
Tabla 4. <i>Regresión lineal correlación COS-Altitud.</i>	54
Tabla 5. <i>Regresión lineal correlación Altitud-Precipitación.</i>	54
Tabla 6. <i>Regresión lineal correlación COS-Precipitación.</i>	55
Tabla 7. <i>Coefficientes de determinación R2 relación COS-Altitud.</i>	57
Tabla 8. <i>Coefficientes de determinación R2 relación Altitud-Precipitación.</i>	57
Tabla 9. <i>Coefficientes de determinación R2 relación Precipitación-COS.</i>	57

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ALOS PALSAR</i>	Recursos cartográficos disponibles dentro de los productos del satélite ALOS.
<i>COS</i>	Contenido de Carbono Orgánico.
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
<i>IGAC</i>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<i>SIG</i>	Sistema de Información Geográficos.
<i>ISRIC</i>	Centro Internacional de Información y Referencia del Suelo.
<i>CAM</i>	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena.
<i>WoSIS</i>	Base de datos de perfiles de suelos.
<i>Dg</i>	Decigramo
<i>Kg</i>	Kilogramo
<i>mm</i>	Milímetro

GLOSARIO

Contenido de Carbono Orgánico: El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001).

Soilgrids: es un sistema de mapeo digital de suelos basado en una compilación global de datos de perfiles de suelos (WoSIS) y capas ambientales.

ISRIC, World Soil Information: Es el centro Internacional de Información y Referencia de Suelos, es una fundación independiente con base científica la cual tiene la misión de servir a la comunidad internacional con información sobre los recursos del suelo del mundo para ayudar a abordar los principales problemas globales.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi: El Instituto Geográfico Agustín Codazzi es la entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia, elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble, realizar el inventario de las características de los suelos, adelantar investigaciones geográficas como apoyo al desarrollo territorial, capacitar y formar profesionales en tecnologías de información geográfica y coordinar la infraestructura colombiana de Datos Espaciales.

Mapeo digital de suelos: es una metodología que brinda información directa y a mayor escala, y es la que necesitan productores, extensionistas o líderes para seleccionar opciones más productivas y eficientes, identificar lugares críticos o analizar riesgos climáticos u ambientales.

Esta información digitalizada puede estar disponible en diversas plataformas espaciales de consulta, por medio de aplicaciones móviles y de esta manera conectar con los usuarios y conocer la diversidad del suelo a través del paisaje.

Base de datos: conjunto de datos estructurado para permitir su almacenamiento, consulta y actualización en un sistema informático. Las bases de datos relacionales son un caso concreto en el que la información se organiza en relaciones (llamadas más frecuentemente “tablas”) que son conjuntos de tuplas (“registros”) cada una de las cuales integra información de un elemento en un conjunto de campos (uno por atributo del elemento).

Escala: relación de proporción que existe entre las medidas de un mapa con la medida real.

Georreferenciar: asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura; el concepto aplicado a una imagen digital implica un conjunto de operaciones geométricas que permiten asignar a cada pixel de la imagen un par de coordenadas (x, y) en un sistema de proyección.

Grilla espacial: En cartografía, cualquier red de líneas paralelas y perpendiculares se superpone en un mapa y se usa como referencia. Estas cuadrículas se mencionan generalmente mediante la proyección del mapa o el sistema de coordenadas que representan, como la cuadrícula universal de Mercator transversal.³

Modelo: representación simplificada de un objeto o proceso en la que se representan algunas de sus propiedades, un modelo reproduce solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda, por tanto, representado por otro objeto o sistema de menor complejidad. Los modelos se construyen para conocer o predecir propiedades del objeto real.

Modelo digital del terreno: estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa; se trata, por tanto, de un modelo digital que representa una propiedad cuantitativa topográfica (por ejemplo, elevación, pendiente) o no (temperatura de la superficie del terreno, reflectancia).

Ráster: Según ESRI, 2017, son modelos de datos en el que la realidad se representa mediante piezas elementales que forman un mosaico regular, también denominadas teselas o píxeles; cada una es una unidad de superficie que recoge el valor medio de la variable representada (altitud, reflectancia ...); las teselas pueden ser cuadradas (celdas) o no (triangulares, hexagonales...) un modelo de datos ráster está basado en localizaciones. Cada píxel tiene un punto denominado centroide, el cual asume una sola georreferenciación para asociar todos los atributos o variables estimadas.

Resolución espacial: se refiere a la finura de detalles visibles en una imagen; cuanto menor es el área terrestre representada por cada píxel en una imagen digital, mayores son los detalles que pueden ser captados y mayor es la resolución espacial.

Shape (shapefile): un formato de almacenamiento de datos vectoriales para almacenar la ubicación, la forma y los atributos de las características geográficas. Un shapefile se almacena en un conjunto de archivos relacionados y contiene una clase de entidad.⁴

Validación: proceso de comprobación que permite reconocer si los datos y métodos responden a un estándar. Por ejemplo, en el caso de la investigación para la precipitación a escala mensual se refiere, por ejemplo, a si los datos mensuales históricos de una variable climática, corresponden con aquellos que puedan recolectarse de estaciones próximas a las del sitio de análisis.

Factores Edáficos: son las condiciones físicas químicas o biológicas que influyen en los organismos y en los procesos que ocurren en el suelo.

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

1.1 Descripción del área problemática

El departamento del Huila es ampliamente afectado por la variabilidad climática con los fenómenos El Niño y La Niña, los cuales producen restricciones económicas al sector agrario. En los estimativos de la corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM¹) el 53% del territorio es dedicado a la producción agrícola, con más de un millón de hectáreas destinadas a actividades agropecuarias (CAM, 2014), a su vez el departamento del Huila cuenta con 35 municipios cafeteros con un total de 154.709 hectáreas, 81.560 caficultores y 101.452 fincas (SIC@, 2016), esta área cafetera se encuentra ubicada geográficamente sobre las vertientes de las cordilleras central y oriental en los flancos ubicados sobre la vertiente del cañón del río Magdalena, con alturas desde los 700 hasta los 2.300 m.s.n.m. De allí la importancia de aportar información a partir de plataformas digitales validadas, que permita tomar decisiones estratégicas y disminuir el riesgo asociado a la producción agropecuaria.

¹ CAM, Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena.

1.2 Formulación del problema

El conocimiento de la dinámica edáfica es una herramienta fundamental para la toma de decisiones a nivel agronómico, sin embargo, la falta de disponibilidad de datos libres por parte de las entidades privadas y gubernamentales, dificultan el acceso a información de calidad, potencializando los posibles efectos negativos en el sector agropecuario, por ejemplo, la baja producción de los cultivos. Además, el departamento del Huila cuenta con todos los pisos térmicos, característica que lo presenta como un líder nacional agropecuario, por lo tanto, es estratégico para el desarrollo departamental, el conocimiento de fuentes de información que optimicen la producción agrícola. Por estas razones se busca validar la plataforma SoilGrids, que interpola data edáfica libre y permite conocer la distribución espacial del COS, variable de gran interés para los profesionales agropecuarios al momento de realizar la recomendación de fertilización edáfica.

1.3 Justificación

En el campo de políticas públicas y recomendaciones asociadas a la productividad y producción de los cultivos, en Colombia y en diferentes regiones existen limitantes por falta y acceso a la información, por lo tanto, es imperativo evaluar una nueva alternativa para el conocimiento espacial de variables edáficas con información generada por el ISRIC, y en el caso particular, el contenido de COS en cuatro municipios del departamento del Huila, lo cual será determinante para apoyar las recomendaciones de carácter agronómico que permitan potencializar

la producción agropecuaria, con nuevas técnicas de mapeo asociadas a los Sistemas de información geográfica (SIG²).

² SIG, Sistema de Información Geográfico

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Validar si existen relación de causalidad entre la altitud de terreno, la precipitación y los contenidos de carbono orgánico en el suelo, para los municipios San Agustín, Garzón, La Plata y Colombia, en el departamento del Huila.

2.2 Objetivos específicos

- Obtener información espacial de los contenidos de carbono orgánico en suelo, precipitación y altitud de terreno, para cuatro municipios del departamento del Huila.
- Utilizar geoprocesos SIG para cuantificar la relación entre las variables estudiadas, mediante coeficientes de determinación (R^2) y la estimación de los cuadrados medios del error (ECM).
- Generar cartografía temática que permita visualizar los resultados obtenidos, así como la especialización de las variables estudiadas.

3. Antecedentes

En la actualidad, han sido los Sistemas de Información Geográficos (SIG) la principal herramienta que ha abordado la naturaleza disímil de la información geográfica (Araneda C, Edgardo, 2002). El trabajo realizado por Rodríguez Pérez, J. R (1999) expone los dos tipos principales de SIG y compara modelos raster y vectorial con diferencias que exigen la elección del mejor sistema adaptado al tipo de datos que se quieran analizar, encontrando en datos raster la optimización en la gestión de los recursos naturales y su eficiencia al efectuar análisis de la dinámica de uso y características del suelo.

Así mismo cuando se habla de las características del suelo existen variables importantes para el estado y estructura del suelo, entre ellas el carbono orgánico el cual se obtiene a través del ciclo del carbono, un proceso natural que comienza con la fotosíntesis, donde las plantas capturan dióxido de carbono de la atmósfera y lo convierten en materia orgánica rica en carbono. Cuando las plantas y los organismos mueren, sus restos caen al suelo y son descompuestos por microorganismos, liberando dióxido de carbono en el proceso. Parte de esta materia orgánica se acumula en el suelo como carbono orgánico (Burbano, 2018), en forma de horizontes orgánicos como la hojarasca y el humus (Páliz, P. I. 2016). Por su cobertura vegetal, el suelo, es el segundo después de los océanos en capturar el carbono atmosférico (Rojas et al., 2018) y el más grande depósito de carbono presente en la naturaleza (Vela et al., 2012).

Las consecuencias de la captura de carbono en el suelo serán siempre positivas las cuales incluyen en la fertilidad del suelo, su capacidad de retención de agua y su contribución a la captura

de carbono atmosférico efectuando menores tasas de degradación físicas químicas y biológicas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2002). Además, el carbono orgánico es uno de los elementos más importantes en el suelo debido a que influye en el crecimiento de las plantas por ser una fuente importante de energía e incentiva la disponibilidad de nutrientes a través de la mineralización. Asimismo, es la principal fuente de energía y nutrientes para microorganismos mejorando las funciones para mantener la fertilidad y productividad del suelo. (SoilQuality, 2011, Pan et al., 2009).

La variación del contenido de carbono orgánico en los suelos ha sido evaluada en diversas investigaciones, y su mayor o menor proporción ha sido atribuida a diferentes factores: Según Mogollón et al., 2015 el relieve del terreno desempeña un papel clave en la variación de los niveles de carbono orgánico en el suelo, tanto en términos de cantidad como de calidad. Esto se debe a que la altitud conlleva cambios en diversas características del suelo, como su acidez (pH), humedad, contenido de nutrientes, textura, así como en factores climáticos como la precipitación, temperatura y tipo de vegetación. Estos factores interrelacionados influyen en la cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo y su composición.

Para Swetnam et al., (2017) a medida que aumenta la altitud, se espera que disminuyan las reservas de carbono de la biomasa viva. Sin embargo, Tashi et al., (2016) afirma que el contenido de carbono orgánico aumenta con el aumento de la altitud debido a la lenta descomposición de la materia orgánica del suelo en sitios de mayor elevación donde la temperatura es más fría.

Investigaciones hechas por Griffiths et al. (2009) en las montañas de Oregon, Estados Unidos, revelaron que a medida que la altitud aumenta, se observan diferencias significativas en varios aspectos, como el aumento de la producción de carbono orgánico de fácil descomposición, la cantidad de precipitación anual, la presencia de materia orgánica, la actividad microbiana y la cantidad de amonio extraíble. Sin embargo, solo el nivel de acidez del suelo (pH) y la temperatura muestran una disminución significativa a medida que se asciende en altitud.

De igual manera, en Etiopia Occidental, en el bosque natural de Bolale se evaluó la variación de las reservas de carbono forestal con la altitud con la técnica de muestreo sistemático encontrando variaciones significativas del contenido de carbono con la profundidad obteniendo una densidad de carbono más alta en altitudes más bajas y menor en altitudes más altas (Chimdessa, 2023).

Por otro lado, de acuerdo con estudios realizados en Honduras, en la reserva Biológica Uyuca, se determinó el efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en los suelos, caracterizando el suelo a partir de los 1,600 msnm hasta los 1,950 msnm mediante la medición del carbono orgánico de la hojarasca, textura del suelo, pedregosidad y la densidad aparente, concluyendo que la altitud influye en el contenido de carbono orgánico, pero se modifica por la intervención y uso que se la ha dado a través del tiempo (Páliz, P. I, 2016). En este contexto en la Península de Paraguaná, Venezuela, se evaluaron los cambios en las reservas del contenido de carbón orgánico un gradiente altitudinal seleccionando quince puntos de muestreo a diferentes altitudes y se determinaron las variables como: carbono total del suelo, densidad aparente, fracciones granulométricas, conductividad eléctrica y pH, adquiriendo como resultados que las

reservas de COS fueron mayores en el sitio de mayor altitud, mientras que en el sitio más bajo, menores. Además, Las variaciones en el COS fueron relacionadas principalmente a la disminución de la temperatura y al incremento de la precipitación con la altitud (Mogollón et al., 2015).

Asimismo, el estudio realizado por Huamán-Carrión et al., (2021) En la provincia de Andahuaylas, Perú, determinó la influencia de la variabilidad altitudinal en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo para tres tipos de especies de pastos naturales altoandinos (*Stipa*, *Festuca* y *Calamagrostis*), empleando la metodología de oxidación húmeda. Determinando que a medida que crece la altitud el contenido de COS se incrementa; la variación de arena y arcilla en la estructura del suelo, influyen en este proceso, mientras que las bajas temperaturas favorecen la acumulación de carbono de acuerdo con la disponibilidad de materia orgánica.

El contenido de carbono orgánico en el suelo es un indicador crucial de la salud y calidad del suelo, que a su vez influye en la productividad agrícola y forestal. Además, el carbono orgánico en el suelo desempeña un papel fundamental en la captura y retención de carbono atmosférico, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático (Burbano, 2018). A medida que la altitud varía, cambian las condiciones climáticas, la vegetación y los procesos de descomposición, lo que afecta directamente la cantidad y la estabilidad del carbono orgánico en el suelo.

4. Referente normativo y legal

Como normativa el uso de los datos de precipitación anual acumulada, información solicitada al autor, Stephan Salazar Arias de la tesis “Evaluación de un interpolador geoespacial óptimo para predecir la precipitación mensual en el departamento del Huila”, dicha solicitud se realizó de manera formal al autor a través de una carta enviada por medio de correo electrónico. La información de la precipitación anual acumulada llegó como una capa ráster en formato (.tif). El ráster utilizado para los datos de contenido de carbono se obtuvo de la página oficial ISRIC³ en su visor de mapa SoilGrids250m 2.0. El modelo de elevación digital (DEM) se obtiene de la página ASF de la Nasa, específicamente de los satélites ALOS PALSAR Búsqueda de datos ASF (alaska.edu), sobre la información espacial la mayor parte de la misma se trabajó y depuro mediante geoprocesos en el software ArcGIS Desktop licencia educativa (2023).

La información oficial manejada en este proyecto se encuentra almacenada conforme a los lineamientos del Instituto Colombiano de Datos Espaciales (ICDE), el cual está alineado conforme a la Resolución 899 de 2023 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

³ ISRIC: Centro Internacional de Información y Referencia del Suelo.

5. Referente teórico

5.1 Referente Contextual

El departamento del Huila está conformado por 37 municipios, localizado orográficamente entre las cordilleras Oriental y Central, al sur de Colombia; tiene un área de 19.900 km², que representa el 1.8% del territorio nacional (Huila, 2017). A su vez el Huila cuenta con todos los pisos térmicos, iniciando desde el cálido en la zona del desierto de la Tatacoa, hasta el piso frío ubicado en el Nevado Huila, que se encuentra ubicado sobre la cordillera central en el municipio de Teruel. Su ubicación espacial se encuentra entre los 3° 55' y 1° 30' de latitud Norte, y los 74°25' y 76°35' de longitud Oeste del meridiano.

La presente investigación se centra en cuatro municipios del departamento: San Agustín, Garzón, La Plata y Colombia, ubicados en sitios opuestos según su cardinalidad. Fueron seleccionados con el fin de analizar datos a diferentes condiciones altitudinales y diferentes ubicaciones a lo largo de la cadena montañosa de los Andes, en los municipios de estudio.

Figura 1. Ubicación municipios de estudio en el departamento del Huila



Fuente: Elaboración propia

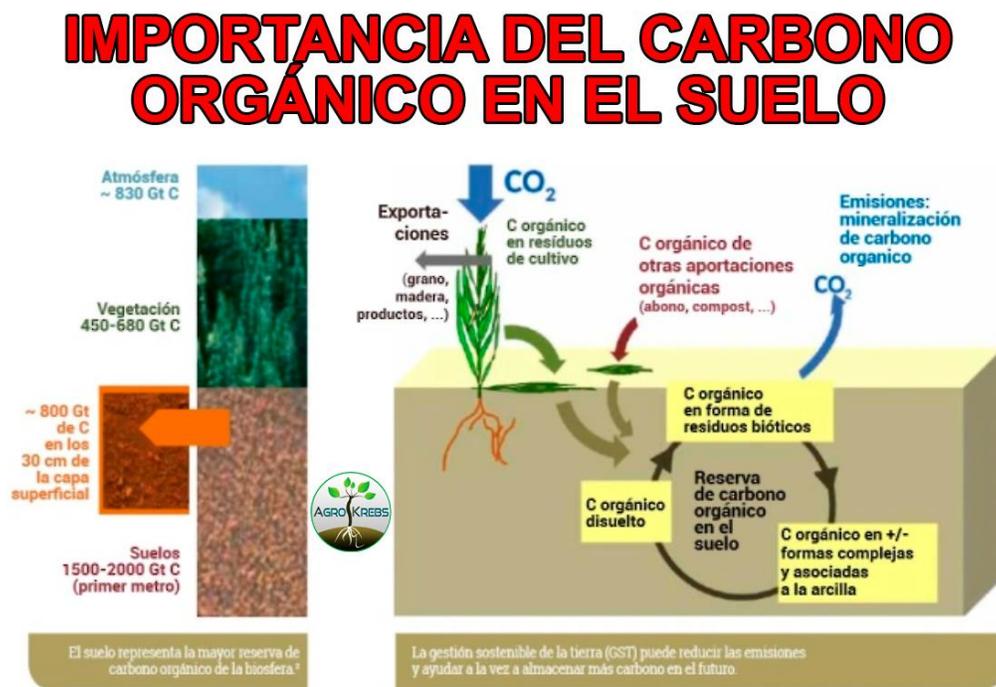
5.2 Ciclo del Carbono

El suelo se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables del mundo frente al cambio climático, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad. El suelo es una importante reserva de carbono, conteniendo más carbono que la atmósfera y la vegetación terrestre en conjunto. El carbono orgánico del suelo (COS) es dinámico, no obstante, los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un sumidero o fuente neta de gases de efecto invernadero (GEI). Se ha logrado un enorme progreso científico en la comprensión y explicación

de la dinámica del COS. Sin embargo, la protección y el monitoreo de las reservas de COS a nivel nacional y global todavía se enfrentan a desafíos complicados que obstaculizan el diseño e implementación de políticas efectivas sobre el terreno y adaptadas a regiones específicas.

El carbono (C) es uno de los pocos elementos conocidos desde la antigüedad y es el pilar básico de la química orgánica. Está presente en la Tierra en estado de cuerpo simple (carbón), de compuestos inorgánicos como dióxido de carbono (CO₂) y carbonato de calcio (CaCO₃) y de compuestos orgánicos (biomasa, petróleo y gas natural). La química del carbono es tan variada que es capaz de formar más compuestos que el resto de los elementos de la tabla periódica juntos.

Figura 2. *Ciclo de carbono de suelos*



Fuente: Página web de Facebook AGRO KREBS

5.3 Contenido de carbono orgánico del suelo

El nivel de carbono presente en el suelo depende de las propiedades particulares del suelo y de cómo se equilibran las tasas de incorporación de carbono orgánico de origen vegetal y animal. (Orjuela H. B., 2018) El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono, el cual hace parte a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera (Lefèvre Clara, 2017). La captura de carbono en los suelos se ha convertido en una estrategia para mitigar los efectos del calentamiento de la atmósfera, pero además supone un medio adicional para frenar los procesos de degradación de los suelos y aumentar la calidad del suelo. (Hontoria, Rodríguez-Murrillo, & Saa, 2004)

El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS). Como indicador de la salud del suelo, el COS es importante por sus contribuciones a la producción de alimentos, la mitigación y adaptación al cambio climático, y el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Un alto contenido en MOS proporciona nutrientes a las plantas y mejora la disponibilidad de agua, lo cual mejora la fertilidad del suelo y, en definitiva, mejora la productividad de los alimentos. Además, el COS mejora la estabilidad estructural del suelo promoviendo la formación de agregados que, junto con la porosidad, aseguran suficiente aireación e infiltración de agua para promover el crecimiento de la planta. Con una cantidad óptima de COS, la capacidad de filtración de agua de los suelos permite el suministro de agua limpia.

5.4 Sistema de mapeo de contenido de carbono orgánico.

El Servicio Mundial de Información de Suelos (WoSIS) proporciona datos de perfiles de suelo estandarizados y evaluados con calidad para respaldar el mapeo digital de suelos y aplicaciones ambientales de gran escala. Desde el lanzamiento de la primera 'instantánea de WoSIS', en julio de 2016, se compartieron con nosotros datos edáficos, se registraron en el repositorio de datos de ISRIC y posteriormente se estandarizaron de acuerdo con las licencias especificadas por los proveedores de datos (Batjes, Ribeiro, & Oostrum, 2019). En WoSIS, se recopilaron datos de perfil del suelo de diversos proveedores, lo que implicó un cuidadoso enfoque en garantizar la calidad de los datos, la uniformidad en las definiciones de las propiedades del suelo, la estandarización de los valores de esas propiedades y la consistencia en las descripciones de los métodos analíticos utilizados para evaluar el suelo. (Batjes, Ribeiro, & Oostrum, 2019)

5.5 Precipitación

La precipitación es definida por la Organización Meteorológica mundial (OMM), como “la precipitación de partículas líquidas de agua de diámetro mayor de 0.5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas”, y para Jaramillo et al. (2005), la precipitación hace referencia a “algún depósito de agua sólida o líquida proveniente de la atmósfera y, por tanto, es aplicable a la lluvia, nieve, granizo, rocío y neblina”. este elemento presenta una variabilidad espacial estrechamente relacionada con la altura. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

(IDEAM⁴) establece que en Colombia medida que asciende en altitud desde las regiones bajas y costeras hacia las zonas montañosas de los Andes, la cantidad de precipitación tiende a aumentar. Esto se debe a la influencia de los vientos alisios cargados de humedad que chocan con las cadenas montañosas, lo que provoca la ascensión del aire, la condensación y la precipitación. Sin embargo, en altitudes muy elevadas, como en los páramos andinos, la cantidad de precipitación puede disminuir debido a la capacidad limitada del aire para retener humedad a esas altitudes extremas. La variabilidad climática en Colombia hace que esta relación sea específica para diferentes regiones y temporadas, lo que la convierte en un tema de estudio importante para comprender y gestionar los recursos hídricos y la agricultura en el país.

La lluvia en Colombia está influenciada por la Zona de Confluencia intertropical, los sistemas atmosféricos de la Amazonía y los sistemas atmosféricos del océano Pacífico; Según Jaramillo & Chaves, (2000) las lluvias registradas en Colombia, situadas en zonas de vertiente de las cordilleras, aumentan con la altitud hasta un nivel máximo que varía de acuerdo con la ladera, pero en general, la máxima lluvia se presenta entre los 1300 y 1500m, y a partir de esta altitud, la cantidad de precipitación disminuye hacia la parte alta de la montaña.

5.6 Sistemas de Información Geográfica.

En la actualidad, la necesidad de contar con bases de datos actualizadas de manera rápida está creciendo, lo que impulsa la exploración, ajuste y evaluación de nuevos métodos y procesos para integrar la información (C. Armenakis et al, 2003). Los recursos como modelos de terreno

⁴ IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

digital, fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite de diferentes tipos y modelos tridimensionales están cada vez más disponibles, generando una gran cantidad de información que necesita ser fusionada de manera efectiva para aprovechar al máximo su potencial (U. Soergel et al., 2005). La incorporación de estas bases de datos puede ser gestionada y procesada mediante sistemas de información geográfica.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una estructura organizada compuesta por diferentes componentes que siguen un conjunto de reglas establecidas dado que parte de la información que maneja tiene un componente geográfico, estos elementos también poseen una ubicación específica en el espacio. La visión que un SIG tiene del mundo real está dividida en estratos, capas o coberturas. Según esta esquematización, el espacio está constituido por elementos cuya localización precisa es posible gracias a su referenciación mediante un sistema de coordenadas. Además, los elementos espaciales pueden tener atributos temáticos. De este modo se trabaja con dos tipos de datos: los espaciales y los temáticos. Los datos espaciales pueden, a su vez, desglosarse en otras dos componentes: geométrica (x,y) y topológica (López Lara et al., 1998).

Según Rodríguez et al, (2012) los SIG están diseñados para trabajar con grandes cantidades de datos y ofrecen funciones orientadas a la organización y el análisis de información que está vinculada a ubicaciones geográficas. Esto permite la automatización de diversos procesos.

Aunque la capacidad de crear escenarios tridimensionales en un SIG todavía no se acerca a la realidad virtual, se están dando importantes avances en la creación de representaciones en 3D y su simbología. En la actualidad, las bases de datos tienen la capacidad de incluir modelos de geometría en tres dimensiones y mostrar símbolos tridimensionales para representar puntos, líneas y polígonos, así como texturas realistas. En pocos años, la representación tridimensional se ha vuelto más rápida, sencilla y versátil.

El continuo desarrollo de los sistemas SIG 3D y su integración con tecnologías de diseño asistido por computadora (CAD), realidad virtual y gráficos por computadora están teniendo un gran impacto en estos sistemas, acercándolos cada vez más a la realidad virtual. En este contexto, los modelos urbanos tridimensionales pueden desempeñar un papel interactivo en cualquiera de las etapas de los procesos de toma de decisiones que involucran componentes de un SIG (Rodríguez et al, 2012).

6. Metodología

6.1 Enfoque metodológico

La propuesta de investigación se enmarca dentro del enfoque metodológico cuantitativo, ya que permite medir la relación directa entre la variación altitudinal del terreno, el contenido de carbono orgánico y la precipitación, para cuatro municipios del departamento del Huila.

Las características del método cuantitativo que se pueden relacionar con la presente investigación son: la relación numérica espacial entre las variables, la operación de datos cuantificables, la descripción del comportamiento espacial de las variables, el posible uso de los resultados en situaciones reales y la orientación del proceso investigativo hacia los resultados.

6.2 Tipo de estudio

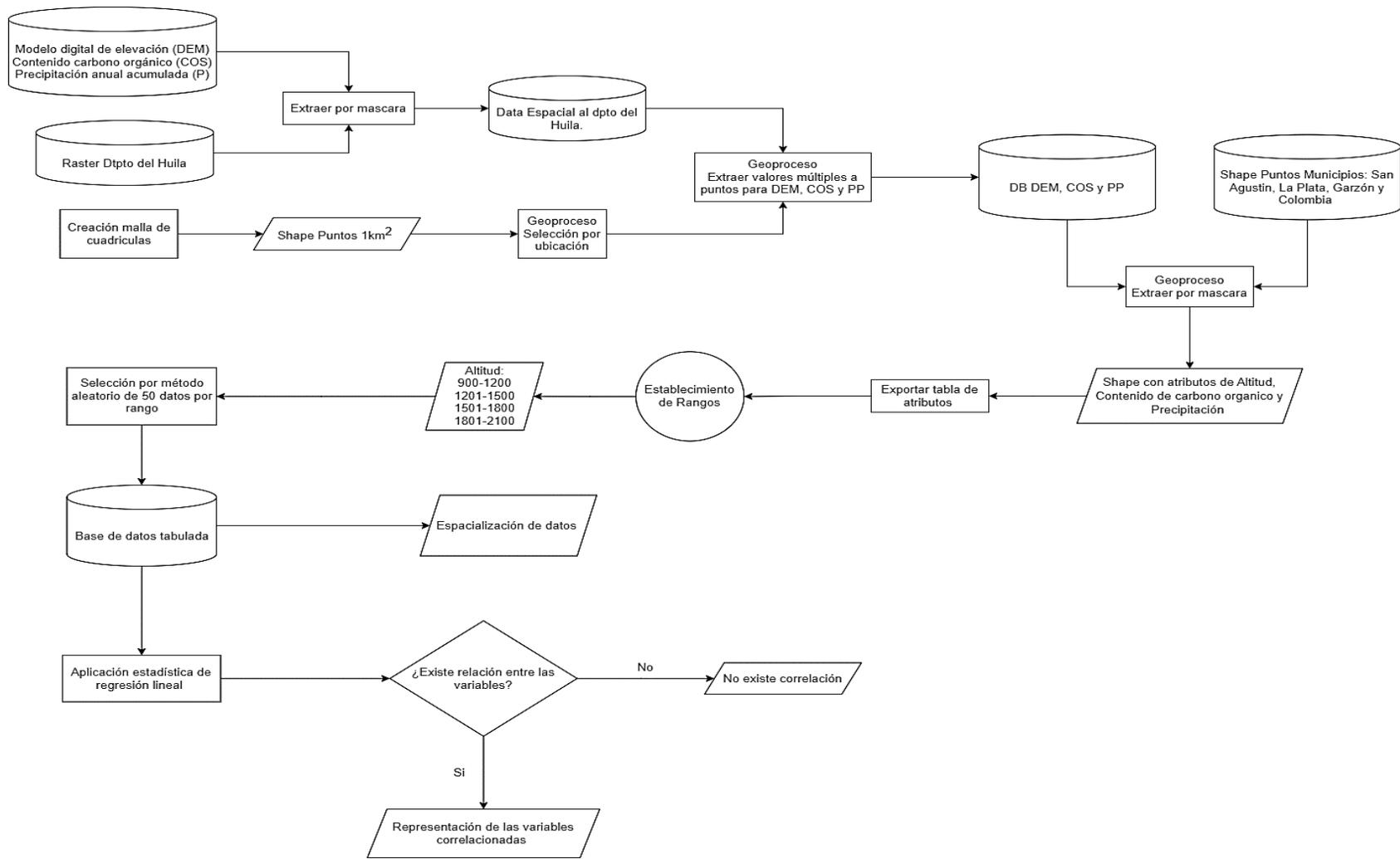
La propuesta de investigación es de tipo cuantitativo correlacional, en el área de formación en sistemas de información geográfica, línea de investigación “análisis y modelamiento espacial”, ya que cuantifica las variables altitud, COS y precipitación y explica la relación entre las mismas.

6.3 Diseño de la investigación

La propuesta de investigación “Evaluación de la Relación entre la Variación Altitudinal, la Precipitación y el Contenido de Carbono Orgánico, a partir de Datos de las Plataformas SoilGrids 2.0 y Alos Palsar, para los Municipios San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el Departamento del Huila, donde se establece una malla de puntos cada 1 km² y se evalúan las variables; sigue el diseño de investigación NO experimental transversal, puesto que se obtiene información de contenido de COS y altitud de terreno de un momento específico y evolutivo, al considerar la variabilidad climática para definir la precipitación en la zona de estudio.

6.4 Diagrama metodológico de flujo y procesos

Figura 3. Diagrama metodológico para evaluar la causalidad entre el COS, la altitud y la precipitación.



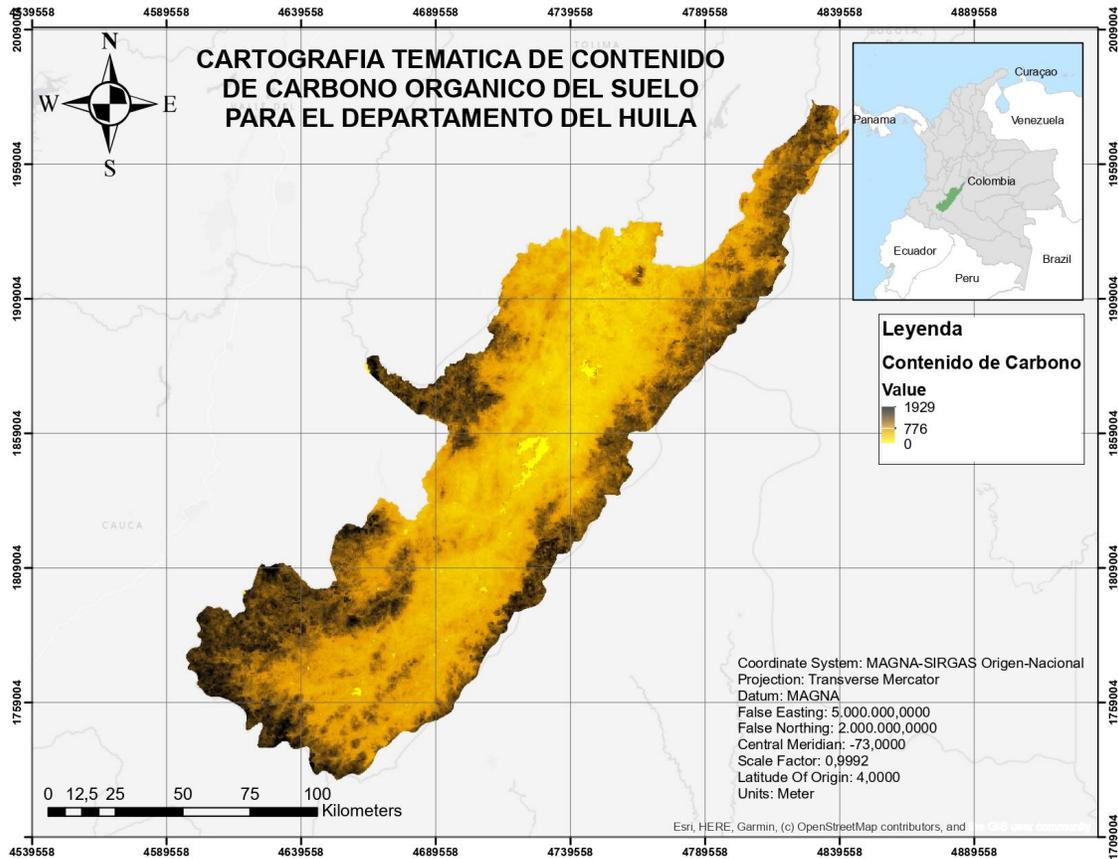
6.5 Operacionalización de variables

6.5.1 Información Edáfica

El contenido de carbono orgánico suelo (COS) del sistema de mapeo digital a nivel global de suelos se enfoca principalmente en el análisis de datos de fuentes oficiales, el área de trabajo está constituida en el espacio geográfico del Departamento del Huila.

- Insumos: Shape departamental del Huila, municipios de Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín de IGAC.
- Capa ráster de la variable de contenido de carbono (COS) que se obtiene descarga de forma oficial en la plataforma de mapeo digital a nivel global de suelos que utiliza la plataforma SoilGrids (ISRIC, 2023) <https://soilgrids.org/>.

Figura 4. *Ráster de contenido de carbono en el suelo del departamento del Huila*



Fuente: elaboración propia en software ArcGIS.

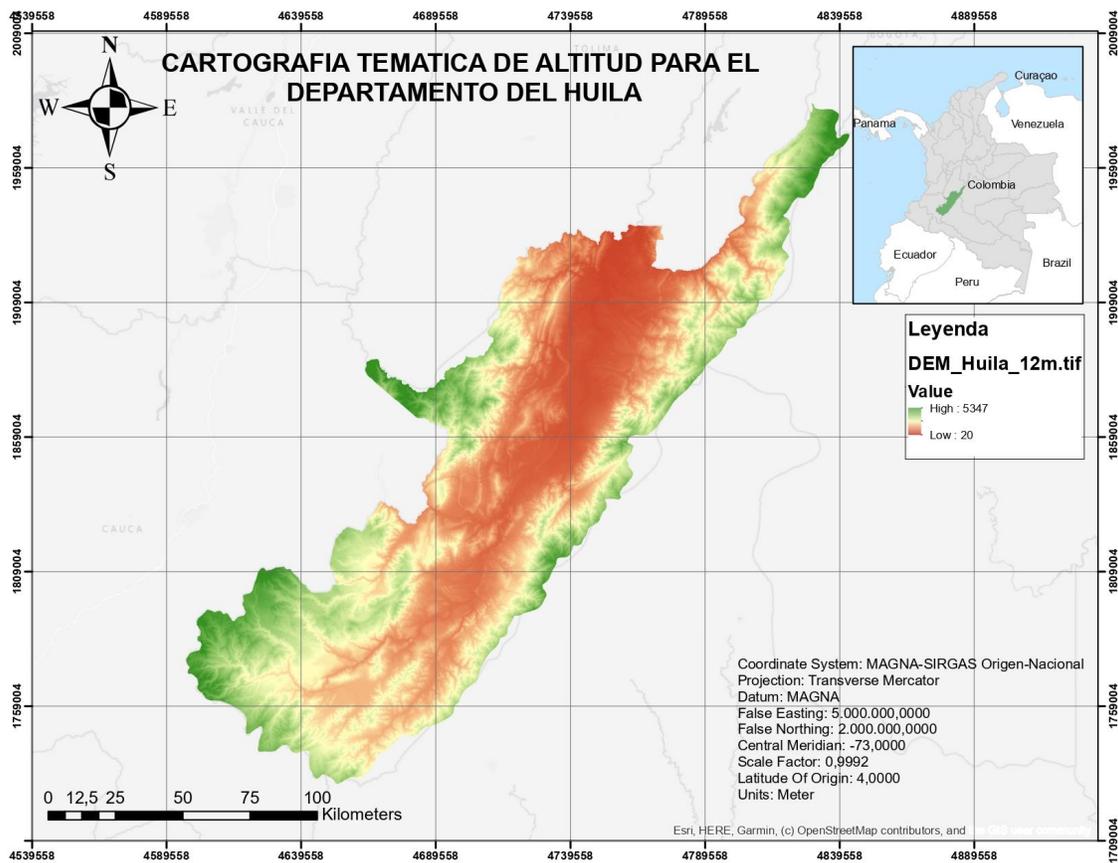
6.5.2 Información Orográfica

Las características orográficas del Huila como la elevación y la pendiente, fueron consultadas en la página “Alaska Satélite Facility – Distributed Active Archive Center”, específicamente de los satélites ALOS PALSAR (NASA, 2011) <https://search.asf.alaska.edu/#/>, en la cual se obtiene el modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 12 metros, donde están contenidos datos de elevación (msnm) en el departamento del Huila.

- Insumos: Shape departamental del Huila, municipios de Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín de IGAC.

- Modelo de elevación (DEM), resolución de 12 metros, obtenido de Satélites ALOS PALSAR (NASA,2011) , contiene información de alturas (msnm) del departamento del Huila.
- ArcGIS, ArcMap, Licenciado, ESRI, Universidad de Manizales.

Figura 5. Modelo de elevación digital departamento del Huila.



Fuente: elaboración propia en software ArcGIS.

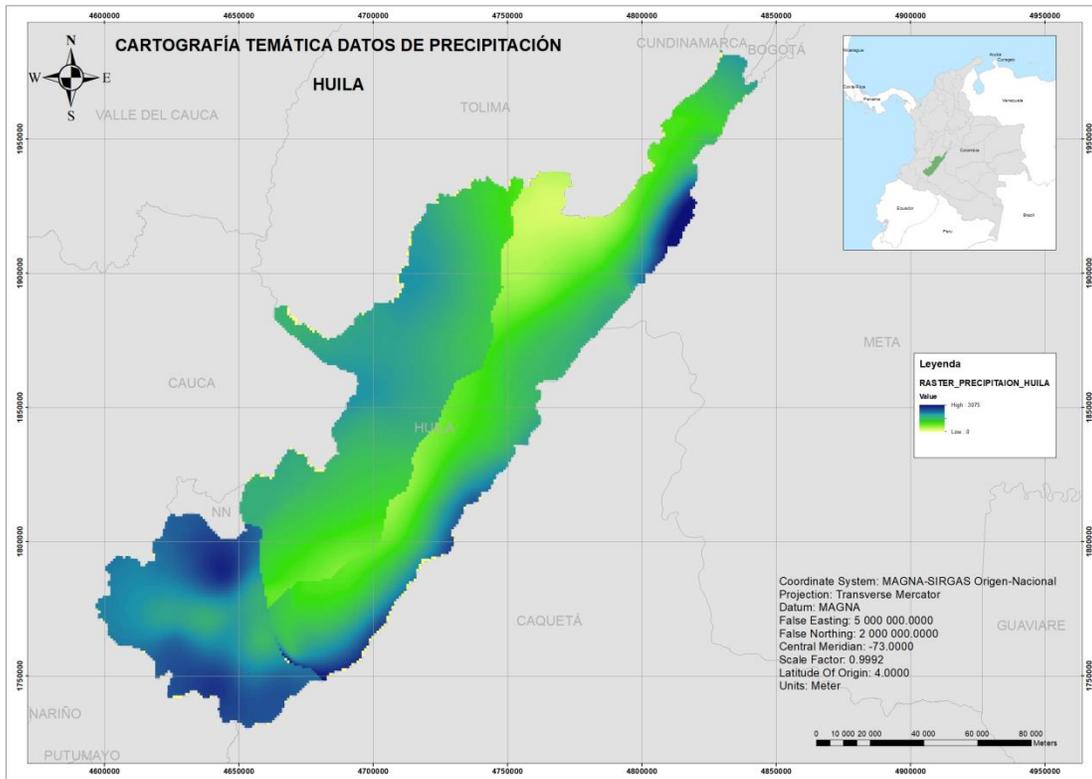
6.5.3 Información Climática

La información para la variable climática de precipitación se manejará a través de la tesis de investigación “Evaluación de un interpolador geoespacial óptimo para predecir la precipitación

mensual del departamento del Huila” (Salazar, 2019), en el cual se obtiene una capa ráster con datos de precipitación, con los cuales se trabajara dos regiones, teniendo como referencia la cordillera central y oriental y como división espacial de estas regiones el paso del río Magdalena a través del departamento del Huila.

- Insumos: Shape departamental del Huila de IGAC.
- Capa ráster de la variable de Precipitación, se obtiene de la investigación de tesis de maestría sobre “Evaluación de un interpolador geoespacial óptimo para predecir la precipitación mensual del departamento del Huila” (Salazar, 2019).
- ArcGIS, ArcMap, Licenciado, ESRI, Universidad de Manizales.

Figura 6. Capa ráster datos de precipitación del Huila.



Fuente: elaboración propia en software ArcGIS.

6.6 Procedimiento

6.6.1 Guía metodológica (1) de transformación de información orográfica ráster espacial a bases de datos planas.

6.5.1.1. Insumos: Shape departamental del Huila, municipios de Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín de IGAC.

6.5.1.2. Se descarga la capa ráster del satélite ALOS PALSAR (NASA, 2011) , en la cual se obtiene el modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 12 metros, donde están contenidos datos de elevación (msnm) en el departamento del Huila.

6.5.1.3. Con la herramienta de conversión ráster “Ráster to Point”, se generan puntos cada 1 km² a lo largo de la capa ráster del DEM, con los cuales se obtiene la información de elevación (msnm) para el departamento del Huila.

6.5.1.4. De la capa descargada en (6.5.1.2.) se procede a realizar un geoproceto denominado “Extract multi values to point” para obtener el valor de la altura del Modelo de 12m al modelo de 1 km².

6.6.2 Guía metodológica (2) de transformación de información edáfica espacial a bases de datos planas, y división espacial por cordilleras.

6.5.2.1. Se descarga la capa del departamento del Huila oficial del IGAC.

- 6.5.2.2. Se obtiene la capa ráster de ISRIC, la cual contiene los datos de contenido de carbono en el suelo ubicado geográficamente en el departamento del Huila. (ISRIC, 2023)
- 6.5.2.3. Con el archivo shape de puntos por unidad de área de 1 km² generado en la guía metodológica (1) se toma de referencia el paso del río Magdalena para la separación geográfica del departamento del Huila por cordilleras y dividir las cordilleras occidental y oriental con respecto al cauce del río.
- 6.5.2.4. Se utiliza la herramienta “Select by location” para seleccionar los puntos de acuerdo a cada cordillera, oriental y occidental para el departamento del Huila.
- 6.5.2.5. Posteriormente se utiliza la herramienta “Extract multi value to points” para obtener la información de la capa ráster COS en cada uno de los puntos con respecto al shape del paso no. (6.5.2.3.)

6.6.3 Guía metodológica (3) de transformación de información espacial de precipitación a bases de datos planas.

- 6.5.3.1. Se descarga la capa del departamento del Huila oficial del IGAC.
- 6.5.3.2. Se obtiene la capa ráster donde se obtiene información de la precipitación, tomado de la tesis “Evaluación de un interpolador geoespacial óptimo para predecir la precipitación mensual en el departamento del Huila” en el departamento del Huila” (Salazar, 2019).
- 6.5.3.3. Con el archivo shape de puntos por unidad de área de 1 km² generado en la guía metodológica (2) se toma de referencia el paso del río Magdalena para la

separación geográfica del departamento del Huila por cordilleras y dividir las cordilleras occidental y oriental con respecto al cauce del río.

6.5.3.4. Posteriormente se utiliza la herramienta “Extract multi value to points” para obtener la información de la capa ráster Precipitación en cada uno de los puntos con respecto al shape del paso no. (6.5.3.3.)

6.6.4 Información plana o tabular.

6.5.4.1. Unidos los datos espaciales de las guías metodológicas 1, 2 y 3, se exporta la base de datos espacial a una base de datos tabular.

6.5.4.2. Se obtiene un archivo .csv de los puntos del departamento del Huila que visualizamos en Excel.

6.5.4.3. Se estableció rangos de altitudes a partir de 900 msnm hasta los 2100 msnm cada 300 msnm, donde se obtiene 4 rangos (900-1200), (1201-1500), (1501-1800), (1801-2100) msnm; para los municipios de Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín en el departamento del Huila.

6.5.4.4. Luego, se utilizó la herramienta aleatoria con cada uno de los rangos obtenidos en donde se seleccionaron 50 datos por rango, con lo que obtuve 200 datos para cada municipio, los cuales se representan en la **Figura 6 y 7**.

6.5.4.5. Con los datos seleccionados se procede a especializarlos en el software ArcGIS.

Figura 7. Data especializada de los puntos de estudio en el Huila.

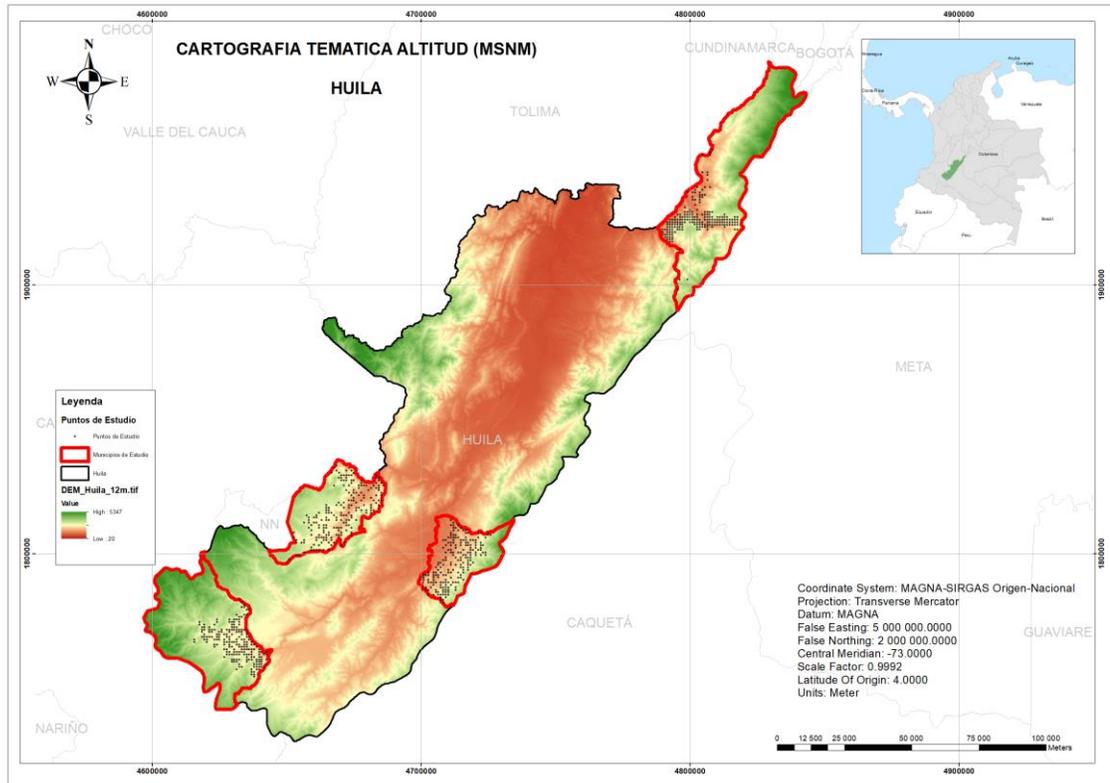
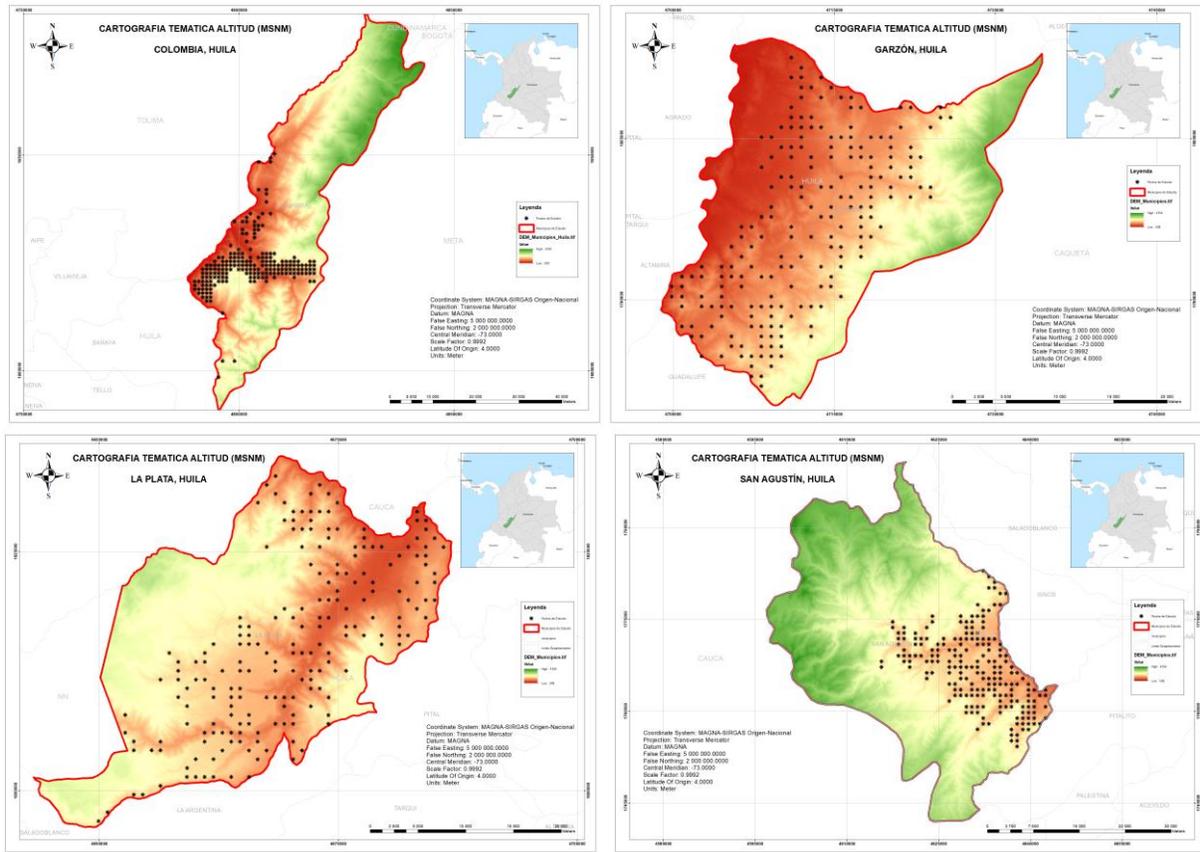


Figura 8. Data especializada puntos de estudio en los municipios de Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín del departamento del Huila



7. Materiales y métodos

7.1 Análisis exploratorio de datos

El conocimiento del comportamiento de las variables precipitación, contenido de carbono orgánico y altitud (Anexo C), es necesario como base para generar un análisis exploratorio de datos de las capas utilizadas, en este capítulo se incluye la estadística descriptiva de las variables mencionadas anteriormente, se generan la data grafica en diagramas de caja y bigotes (Boxplot) para los municipios de Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín en el departamento del Huila, en donde según la metodología previamente descrita se tomaron 200 datos aleatorios para cada municipio utilizando una rutina de excel, en donde se toman los valores de referencia entre la Altitud con un rango entre los 900 msnm y 2100 msnm. Esta información está representada en la Tabla 1, 2 y 3 y las salidas graficas de las variables en mención.

Tabla 1. Variable de Altitud en municipios de estudio.

Municipio	Altitud (msnm)			
	Colombia	Garzón	La Plata	San Agustín
Media	1504,98	1485,61	1667,785	1852,715
Error típico	23,75069	24,82672	21,87826286	11,81372462
Mediana	1505,5	1500,5	1741,5	1866
Moda	1165	1622	1818	1830
Desviación estándar	335,8854	351,1029	309,4053606	167,0712958
Curtosis	-1,178753	-1,150445	-0,75842021	0,284870195
Coeficiente de asimetría	0,024233	-0,023352	-0,51277207	-0,64947143
Rango	1155	1198	1179	785
Mínimo	927	900	921	1314
Máximo	2082	2098	2100	2099
Cuenta	200	200	200	200
Percentil 25	1199,5	1200	1447	1743,25
Percentil 75	1795,75	1809	1944,5	1980,75

La estadística descriptiva para la variable de altitud (msnm), presenta una media aritmética oscila entre valores 1485 y 1852 msnm para los municipios de estudio, el límite inferior de la variable corresponde a 900 (msnm) para el municipio de Garzón, mientras que el límite mínimo para el municipio de San Agustín corresponde al municipio a 1314 (msnm), esta diferencia entre el los limites inferiores corresponde a la formación del relieve, su orografía y su cercanía con el páramo de las papas en la región Surcolombiana. Así mismo se observa que para San Agustín obtenemos menores desviaciones frente a los demás municipios, un indicador de la normalidad que presenta la variable en este municipio a diferencia de los otros municipios. También es de resaltar el valor promedio que presenta la variable para el municipio de San Agustín, siendo este muy superior con 1852 msnm frente a sus contendores de mayor a menor definiéndose así con La Plata en segundo lugar, Colombia en tercero y finalmente Garzón.

Tabla 2. Variable de contenido de carbono orgánico en municipios de estudio.

Municipio	Carbono Orgánico Suelo (COS)			
	Colombia	Garzón	La Plata	San Agustín
Media	823,93	763,51	788,515	868,62
Error típico	8,808968	15,33819	10,53988114	8,320527863
Mediana	807	722,5	795,5	875,5
Moda	769	588	809	959
Desviación estándar	124,5776	216,9148	149,0564285	117,6700335
Curtosis	-0,078067	0,267377	-0,43654237	-0,45744469
Coefficiente de asimetría	0,339577	0,943095	-0,11009684	-0,12353366
Rango	637	994	767	584
Mínimo	555	433	458	559
Máximo	1192	1427	1225	1143
Cuenta	200	200	200	200
Percentil 25	752,25	588	689,5	778
Percentil 75	895	877	904,75	948,5

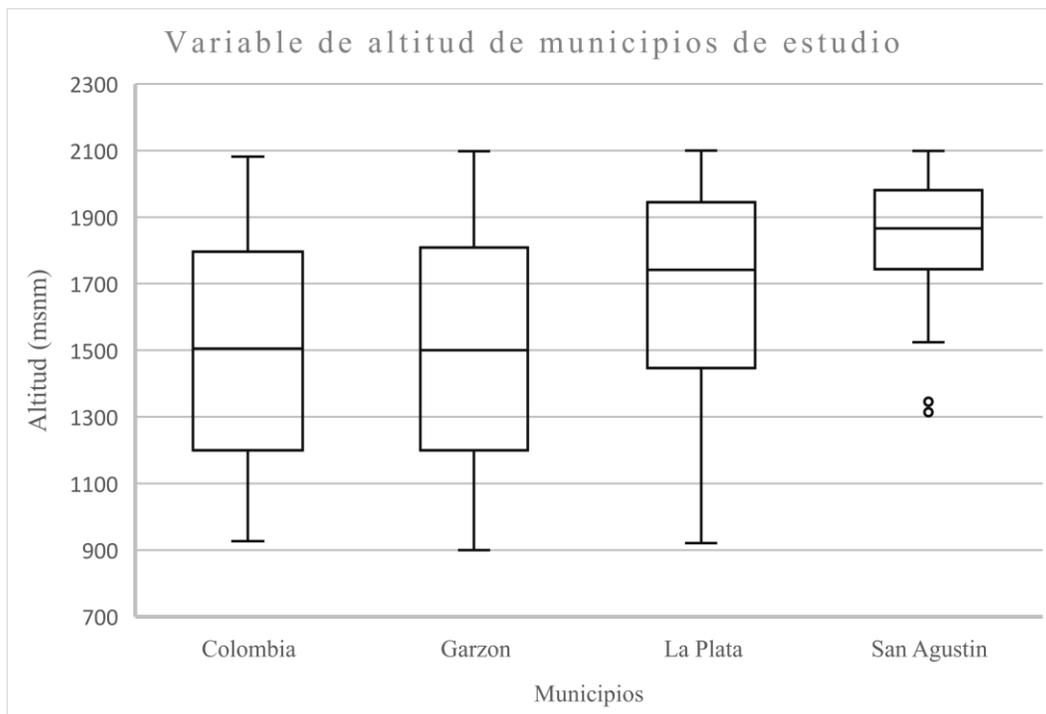
La estadística descriptiva para el contenido de carbono orgánico en el suelo COS (dg/kg), se observa que la media oscila entre valores de 763 y 868 (dg/kg) para los municipios de estudio, el valor mínimo de COS se encuentra en el municipio de Garzón con un valor de 433 (dg/kg), el valor máximo de la variable se encuentra en el municipio de Garzón con un valor de 1427 (dg/kg). Esto posiblemente por la cercanía del municipio con el páramo de Miraflores. Es imperativo presentar como el promedio aritmético en San Agustín posiblemente por una condición asociada en su relación con la cercanía al paramo de las papas predomine condiciones más altas. Así mismo la data nos presenta los datos de carbono orgánico agrupados en sus límites inferiores al municipio de Garzón, con un promedio aritmético de 722 (dg/kg). En general cabe destacar como los municipios de San Agustín y Garzón presentan una mejor relación de COS frente a los otros municipios producto de este estudio.

Tabla 3. *Variable de precipitación en municipios de estudio*

Municipio	Precipitación (mm/año)			
	Colombia	Garzón	La Plata	San Agustín
Media	1455,53	1433,16	1572,145	1909,465
Error típico	42,11613	18,73785	13,02893648	10,95548525
Mediana	1191,5	1416	1544	1876
Moda	1062	1441	1664	1776
Desviación estándar	595,612	264,9933	184,2569867	154,9339583
Curtosis	-0,224492	-1,083076	6,784840139	-0,88113925
Coefficiente de asimetría	0,983794	-0,004577	2,407848828	0,464819037
Rango	2217	1070	1032	612
Mínimo	770	912	1329	1663
Máximo	2987	1982	2361	2275
Cuenta	200	200	200	200
Percentil 25	1004,5	1206,25	1458,25	1776
Percentil 75	1806,75	1655,5	1635	2037

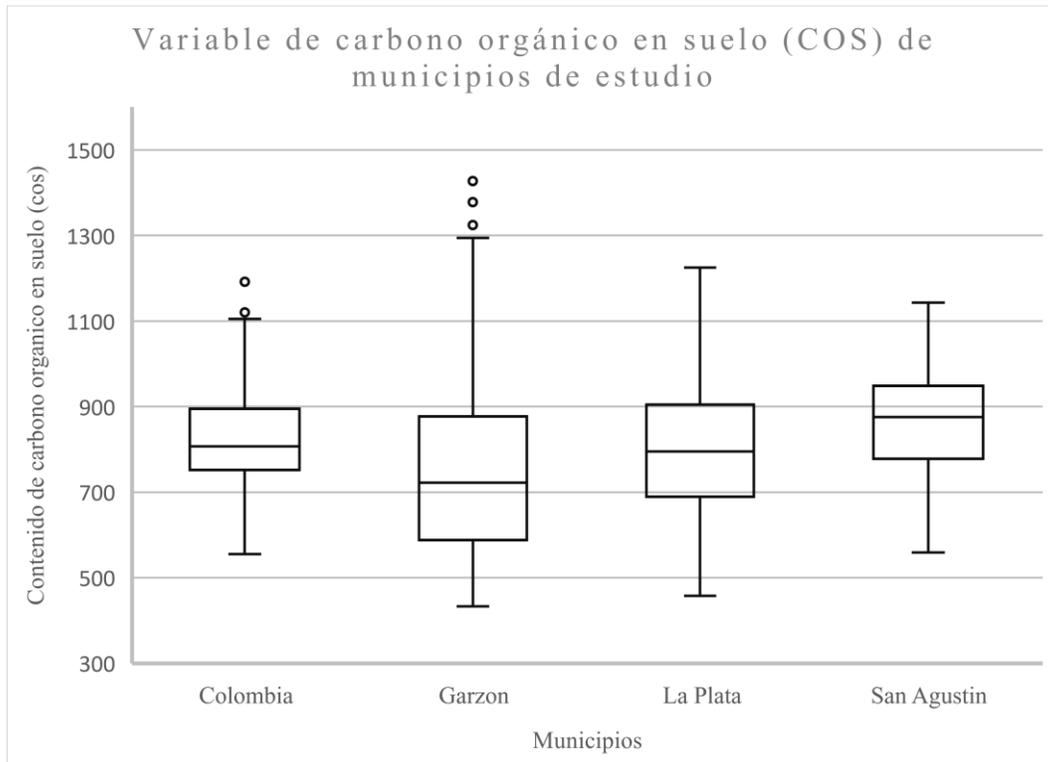
La precipitación (mm/año) presenta promedios que oscilan entre valores 1433 y 1909 (mm/año), el valor mínimo de la variable se encuentra en el municipio de Colombia con un valor de 770 (mm/año) estos datos posiblemente están asociados a la cercanía que presenta el municipio con el área de desierto, el valor máximo de la variable se encuentra en el municipio de Colombia con un valor de 2987 (mm/año). El promedio de los valores sobre la variable presenta datos superiores frente a los demás municipios, posiblemente por la cercanía del municipio con el páramo de las papas. La desviación que presentan los datos frente a la media aritmética para el municipio de San Agustín presenta una normalidad superior en los datos indicando un menor rango entre sus límites frente a los demás municipios (Figura 10).

Figura 9. *Boxplot Altitud de municipios de estudio*



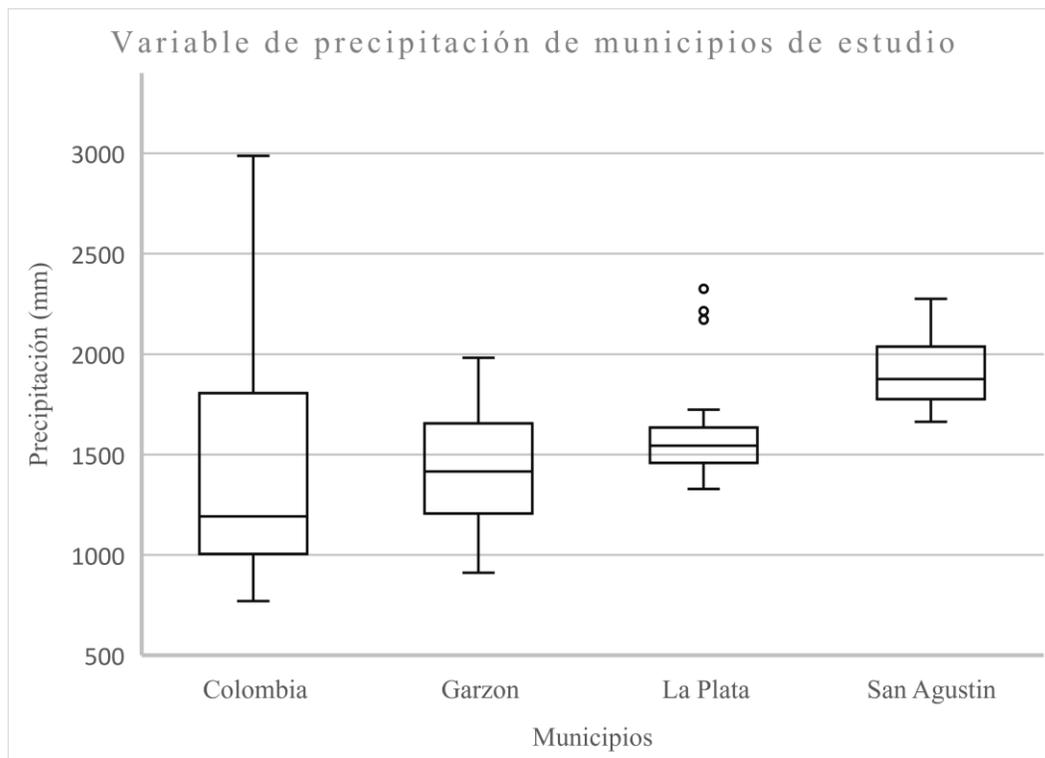
El análisis de la estadística, los diagramas de caja y bigotes para la altitud presenta en su conjunto para la altitud de los municipios una relación escalonada para los municipios de Garzón, La Plata y Colombia, sin embargo, en San Agustín se denota el inicio de sus valores mínimos con un límite inferior superior al de los otros municipios. El comportamiento altitudinal de los datos entre Garzón y Colombia es muy similar, posiblemente por la ubicación geográfica que tienen los municipios al ubicarse dentro de la cordillera oriental.

Figura 10. *Boxplot Contenido de Carbono Orgánico en el Suelo de municipios de estudio*



Se presenta en los datos una agrupación para los municipios de Colombia y San Agustín, a diferencia de la data en Garzón y La Plata, el valor promedio el límite inferior y los valores más deficientes en la acumulación de COS se hacen más evidentes en el municipio de Garzón.

Figura 11. *Boxplot Precipitación de municipios de estudio*



La precipitación anual muestra una uniformidad y agrupación en sus datos para el municipio de La Plata, en el municipio de Colombia observamos datos en su límites inferiores y promedio, sin embargo, cabe denotar como su límite superior toca valores cercanos a los 1800 mm/año. Se destaca San Agustín como el municipio con los rangos superiores en la precipitación anual acumulada.

7.2 Correlación de datos

Para establecer la evaluación en los datos analizados en el inciso anterior, se definieron tres correlaciones: COS-Altitud, Precipitación-Altitud y Precipitación-COS para cada una de los municipios estudiados, usando métodos estadísticos de validación como la regresión lineal, cual nos permite obtener una ecuación que describe la relación entre dichas variables, y mediante un coeficiente de correlación múltiple nos permite medir la intensidad de la relación existente entre las variables, un coeficiente de determinación (R^2) que indica cuanta variabilidad tiene las variables de una respecto a la otra, R^2 ajustado que proporciona un valor corregido según el ajuste de la regresión y un error estándar, el cual representa la discrepancia entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. Los datos arrojados por el modelo se encuentran en las tablas 4, 5 y 6.

Tabla 4. Regresión lineal correlación COS-Altitud

<i>COS VS ALTITUD</i>				
Municipio	Colombia	Garzón	La Plata	San Agustín
Coefficiente de correlación múltiple	0,712486	0,85927	0,832105045	0,764981109
Coefficiente de determinación R ²	0,507636	0,738345	0,692398805	0,585196096
R ² ajustado	0,505149	0,737024	0,690845264	0,583101127
Error típico	87,63489	111,2365	82,87788563	75,97684192
Observaciones	200	200	200	200

Los estadísticos de regresión nos presentan una relación de causalidad directa existente para todos los municipios definidos dentro del estudio, destacándose los municipios de Garzón y La Plata. A pesar de que Colombia presenta los valores de relación inferiores encontramos un coeficiente de correlación positivo.

Tabla 5. Regresión lineal correlación Altitud-Precipitación

<i>ALTITUD VS PRECIPITACION</i>				
Municipio	Colombia	Garzón	La Plata	San Agustín
Coefficiente de correlación múltiple	0,39996	0,943667	0,273855227	0,259928116
Coefficiente de determinación R ²	0,159968	0,890507	0,074996686	0,067562625
R ² ajustado	0,155726	0,889954	0,070324952	0,062853346
Error típico	547,2745	87,90653	177,6599568	149,9858871
Observaciones	200	200	200	200

Para el caso de la altitud frente a la precipitación encontramos que el único municipio que presenta una correlación y determinación positiva es el municipio de Garzón, pues los otros municipios no tienen causalidad entre sus variables.

Tabla 6. Regresión lineal correlación COS-Precipitación

Municipio	PRECIPITACION VS COS			
	Colombia	Garzón	La Plata	San Agustín
Coefficiente de correlación múltiple	0,350446	0,833755	0,30391369	0,288847151
Coefficiente de determinación R^2	0,122813	0,695147	0,092363531	0,083432676
R^2 ajustado	0,118382	0,693607	0,087779509	0,078803548
Error típico	116,9715	120,0684	142,3641445	112,9384974
Observaciones	200	200	200	200

Nuevamente los estadísticos presentan al municipio de Garzón con un nivel de correlación y determinación positivo frente a los demás municipios producto del estudio. A pesar de que Colombia presenta la mejor correlación frente a los municipios de La Plata y San Agustín, sus resultados no son positivos para ninguno de los tres municipios.

8. Resultados

Los resultados estadísticos definen que existe una relación causalidad directa entre la altitud de terreno y el contenido de carbono orgánico en el suelo en donde sus coeficientes están por encima de 0.71 en los resultados de la regresión, para los municipios San Agustín, Garzón, La Plata y Colombia, en el departamento del Huila (Tablas 7,8 7 9).

Adicionalmente cabe denotar al municipio de Garzón que presentó resultados positivos para todos los estadísticos de validación dentro de las variables estudiadas como la altitud de terreno, el contenido de carbono orgánico en el suelo y la precipitación (Tablas 7,8 7 9).

Para los municipios de La Plata, Colombia y San Agustín los resultados no presentan una relación de causalidad entre la precipitación y la altitud, y la precipitación con el contenido de carbono orgánico en el suelo con valores no determinantes en la relación de causalidad evaluada. (Tablas 7,8 7 9).

8.1 Validación y análisis de salidas estadísticas

Los datos arrojados en la regresión lineal fueron sometidos análisis según sus coeficientes de determinación R^2 correspondientes. Estos coeficientes R^2 son valores métricos cruciales que indican la proporción de la variabilidad de la variable dependiente que es explicada por el modelo de regresión. Además, muestran la efectividad relativa de los modelos de regresión lineal en cada una de las relaciones planteadas, proporcionando una idea de cuánta variabilidad de los datos se puede explicar utilizando estos modelos.

Los resultados del coeficiente de determinación R2 para las relaciones de COS-Altitud, Altitud-Precipitación y Precipitación-COS en cada zona de estudio se presentan en la Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9 respectivamente y las gráficas correspondientes en Figuras 11, 12 y 13.

Tabla 7. *Coeficientes de determinación R2 relación COS-Altitud*

RELACION DE MUNICIPIOS DE ESTUDIO CON COEFICIENTE R2	
Colombia	0,712485902
Garzón	0,859270314*
La Plata	0,832105045
San Agustín	0,764981109

Tabla 8. *Coeficientes de determinación R2 relación Altitud-Precipitación*

RELACION DE MUNICIPIOS DE ESTUDIO CON COEFICIENTE R2	
Colombia	0,15996823
Garzón	0,890507417*
La Plata	0,074996686
San Agustín	0,067562625

Tabla 9. *Coeficientes de determinación R2 relación Precipitación-COS*

RELACION DE MUNICIPIOS DE ESTUDIO CON COEFICIENTE R2	
Colombia	0,122812598
Garzón	0,695146663*
La Plata	0,092363531
San Agustín	0,083432676

Figura 12. Gráfico comportamiento estadístico de R2 relación COS-Altitud

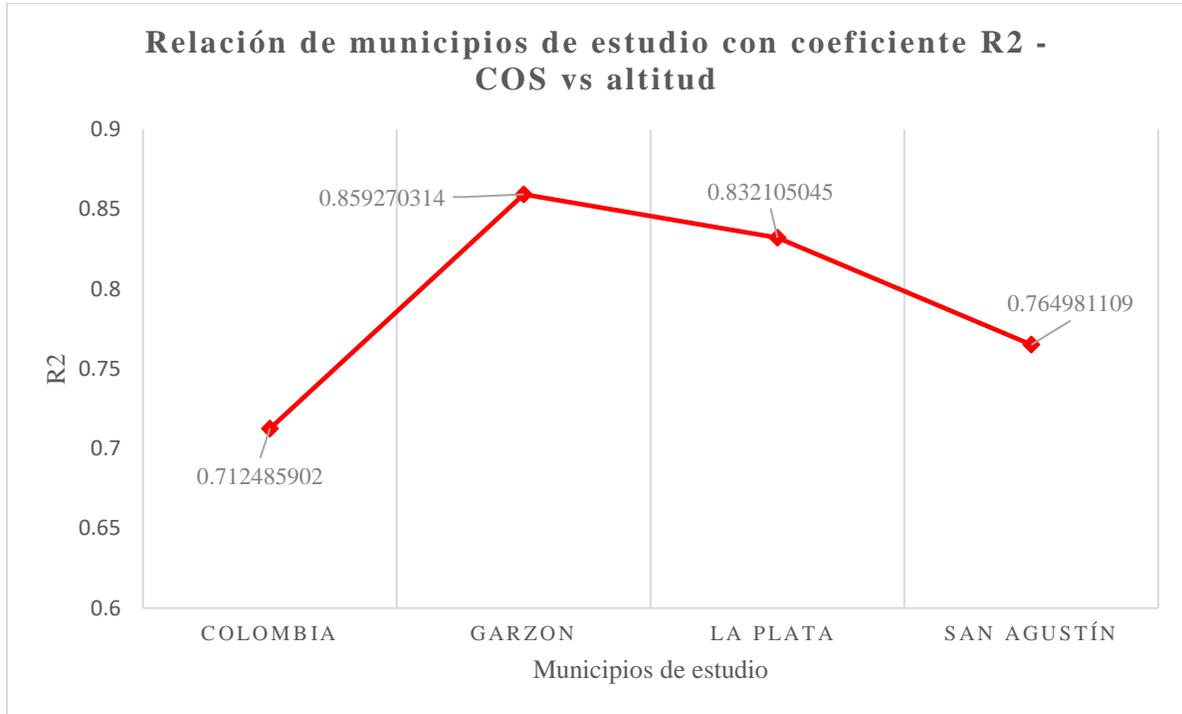


Figura 13. Gráfico comportamiento estadístico de R2 relación Altitud-Precipitación

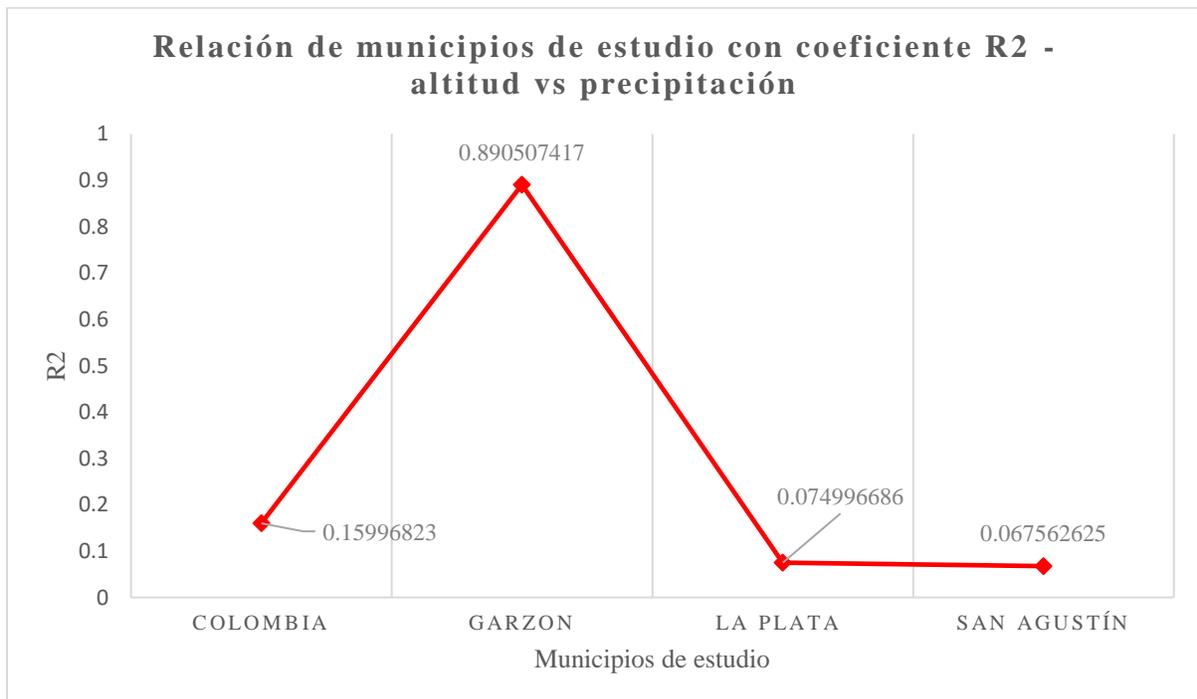
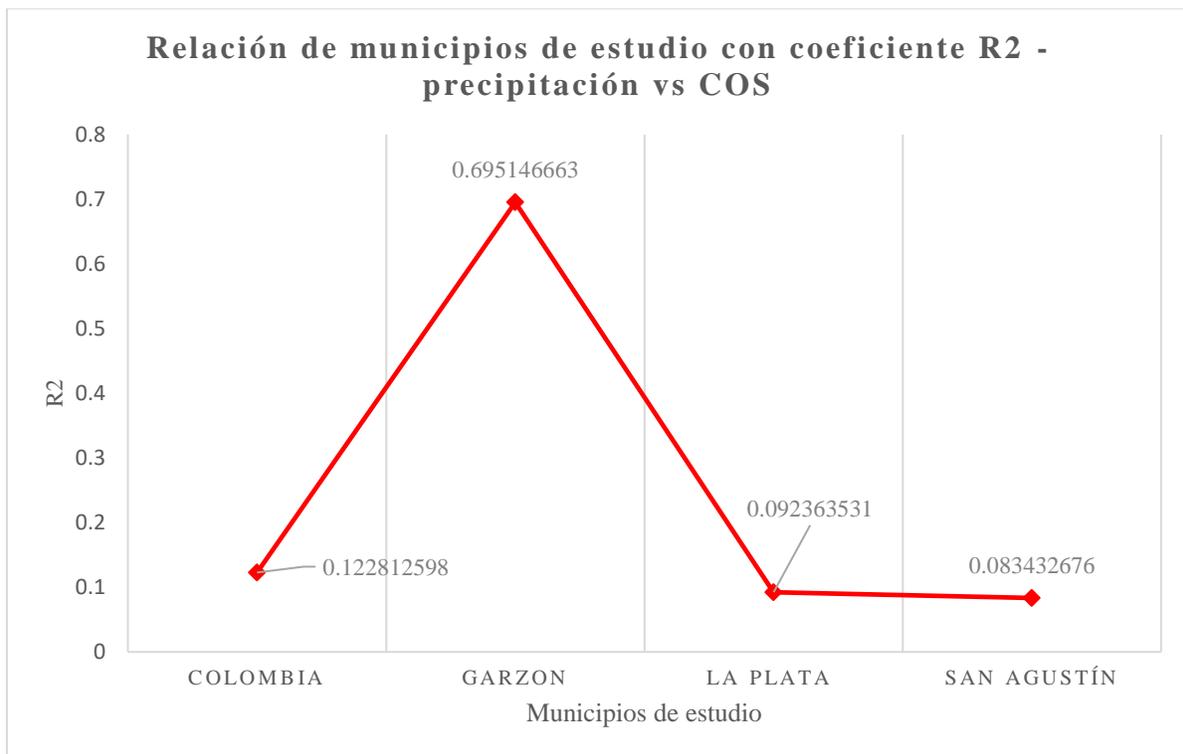


Figura 14. Gráfico comportamiento estadístico de R2 relación Precipitación-COS



8.1 Salidas graficas

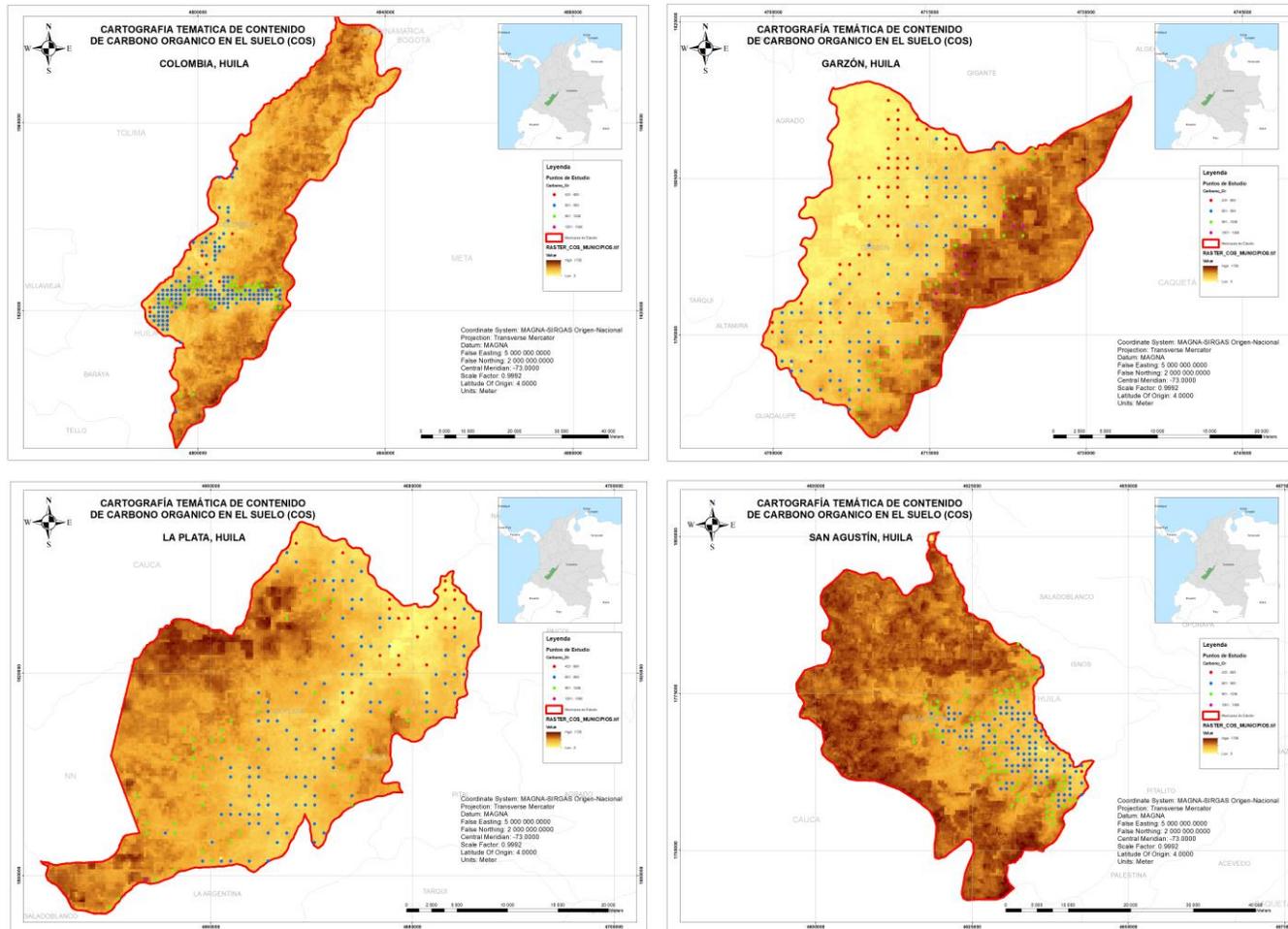


Figura 15. Puntos de estudios evaluados con capa ráster de COS

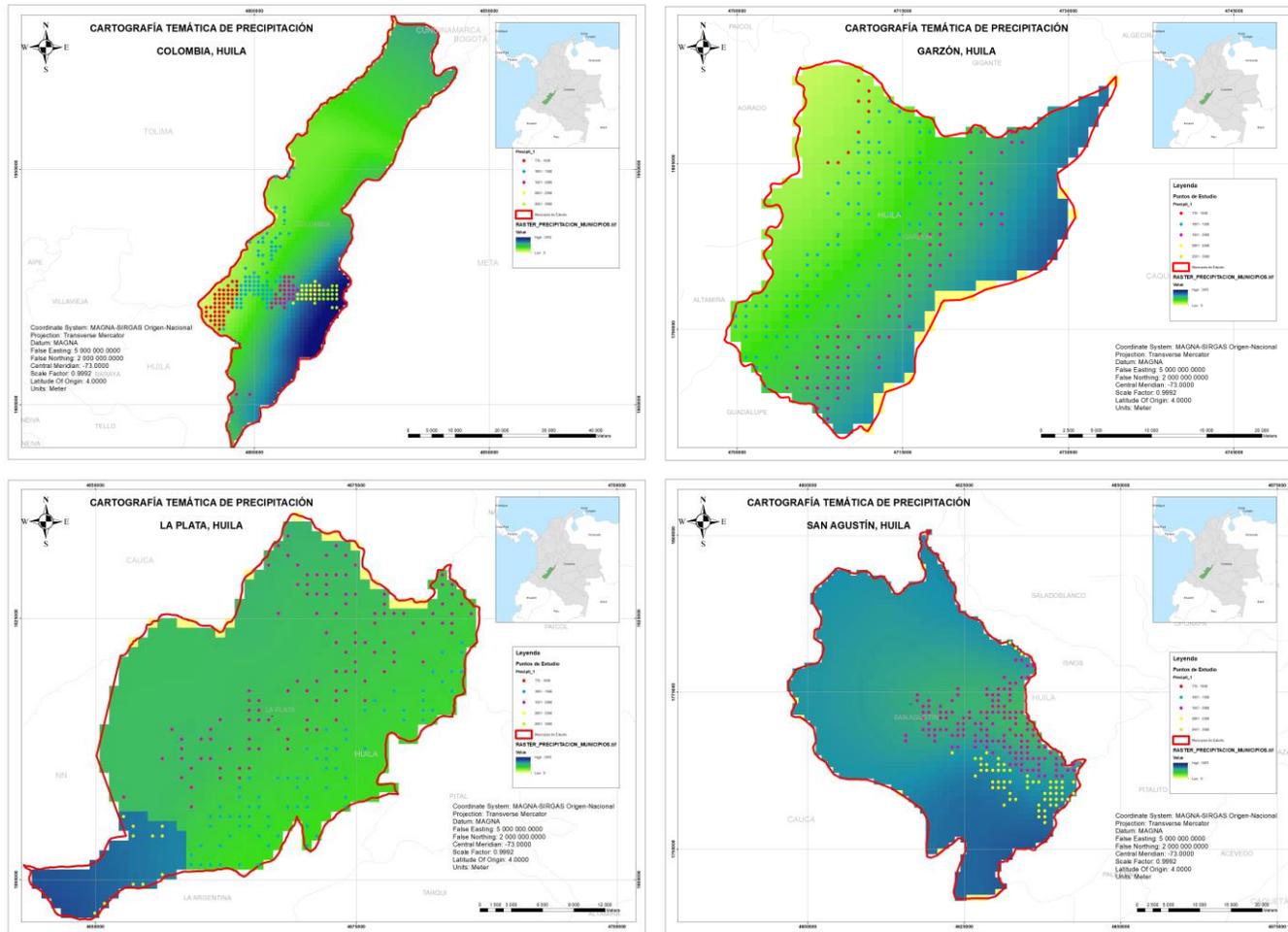


Figura 16. Puntos de estudios evaluados con capa Ráster de precipitación.

62 Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

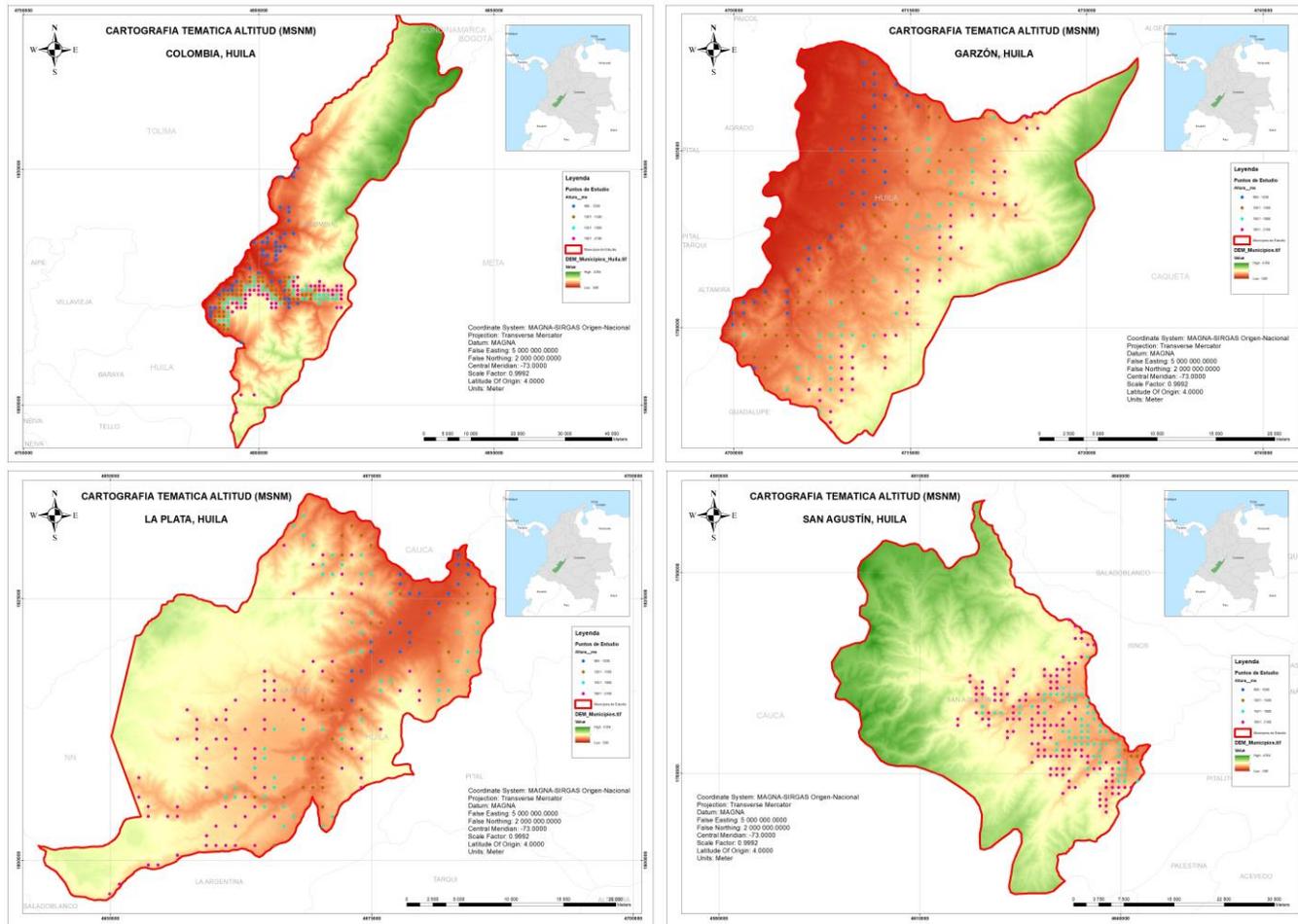


Figura 17. Puntos de estudios evaluados con modelo de elevación digital del Huila.

9. Conclusiones

9.1 Validación de causalidad entre variables.

En el contexto específico de los municipios analizados (Colombia, Garzón, La Plata y San Agustín), se obtuvieron los siguientes coeficientes R^2 para la relación COS-Altitud: 0.71 para Colombia, En Garzón, se alcanzó un coeficiente R^2 de 0.86, La Plata exhibió un R^2 de 0.83 y San Agustín presentó un coeficiente R^2 de 0.76, dichos valores definen la alta relación que existe entre el contenido de carbono orgánico en el suelo y la altitud.

Los valores se encuentran cercanos a 1 indicando que una gran proporción de la variabilidad de la variable dependiente es explicada por el modelo, lo que indica un ajuste robusto y una capacidad de predicción sólida en la relación establecida. Esto implica que la variable COS en el modelo está relacionada de manera significativa con la variable Altitud y que el modelo puede ser confiable al realizar predicciones.

Asimismo, como se detalla en la Figura 8 relación Altitud- Precipitación y Figura 9 Precipitación-COS, los valores relacionados a el coeficiente R^2 para Colombia, La Plata y San Agustín indican valores cercanos a 0 relacionados a una baja relación con las variables en el modelo e indicando que no existe una relación de causalidad entre sí.

Por el contrario, en el municipio de Garzón los valores indicaron ser cercanos a 1 lo cual se deduce según la precipitación a la influencia de factores determinantes como la orografía, efecto

de ladera o gradientes altitudinales al estar ubicado a Cordillera Oriental. De igual manera para el caso del contenido de carbono orgánico a medida que se asciende en altitud en una cordillera el COS puede tener estrecha relación con factores como cambios de vegetación, procesos de descomposición o erosión y transporte de materiales.

9.2 Definición de plataforma SoilGrids con data confiable.

Es imperativo definir que la plataforma SoilGrids como base de datos interpolados presenta un alto nivel de confiabilidad, las validaciones realizadas dentro de esta investigación demostraron la relación existen y previamente demostrada por Mogollón (2015), Tashi et al. (2016) y Griffiths et al. (2009), quienes afirmaron en sus investigaciones que con el aumento de la altitud existe una relación directa de aumento del Carbono Orgánico presente en el suelo.

9.3 Cartografía temática

El uso de geoprocetos, metodologías y software de análisis espacial, nos permitió generar la cartografía temática y genera la posibilidad de realizar una evaluación visual de los fenómenos que allí se presentan. En nuestro caso puntual la causalidad existente entre la altitud y el contenido de carbono orgánico, aquí es posible apreciar los cambios que presenta la variable.

Como recomendación principal, el uso de una paleta de colores permite la identificar y apreciar el comportamiento de los fenómenos en el espacio a diferencia de utilizar tonos monocromáticos.

10. Recomendaciones

10.1 Parametrización de base de datos

La correcta parametrización y normalización de los datos adquiridos en plataformas libres nos permite, obtener una base de datos confiable y útil para realizar los análisis respectivos para validar la causalidad entre las variables.

10.2 Geoprocesamiento

Las rutinas de geoprocesamiento en software geográfico fueron determinantes para realizar los análisis espaciales necesarios que permitieron validar la causalidad entre las variables estudiadas, adicionalmente nos permite llevar extrapolar la data sin referencia espacial para presentar datos geoespaciales.

El uso de geoprocesos, metodologías y software de análisis espacial, permite generar la cartografía temática y nos generó la posibilidad de realizar una evaluación visual de los fenómenos que allí se presentan.

10.3 Cartografía temática

Como recomendación principal, el uso de una paleta de colores permite la identificar y apreciar el comportamiento de los fenómenos en el espacio a diferencia de utilizar tonos monocromáticos.

11. Referencias

- Araneda C, Edgardo. (2002). Uso de Sistemas de Información Geográficos y análisis espacial en arqueología: Proyecciones y limitaciones. *Estudios atacameños*, (22), 59-75. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-10432002002200004>
- Burbano Orjuela, Hernán. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96.
- Batjes, N. H., Ribeiro, E., & Oostrum, A. V. (2019). Datos estandarizados del perfil del suelo para el mundo (instantánea de WoSIS). Centro de datos ISRIC.
- C. Armenakis, F. Leduc, I. Cyr, F. Savopol and F. Cavayas. "A comparative analysis of scanned maps and imagery for mapping applications". *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. The Netherlands. Vol. 57, pp. 304-314. 2003.
- Chimdessa, T. (2023). Forest Carbon Stock Variation with Altitude in Bolale Natural Forest, Western Ethiopia. *Global Ecology and Conservation*, e02537.
- ChimdeHuamán- Carrión, Mary L., Espinoza-Montes, Francisco, Barrial-Lujan, Abel I., & Ponce-Atencio, Yalmar. (2021). Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 83-90. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.010>
- Griffiths, R. y Swanson, A. (2001). Forest soil characteristics in a chronosequence of harvested Douglas-fir forests. *Canadian Journal Of Forest Research*, 31(11), 1871- 1879. <http://dx.doi.org/10.1139/x01-126>
- Hontoria, C., Rodríguez-Murrillo, J., & Saa, A. (2004). *Contenido de Carbono Orgánico en el Suelo y Factores de Control en la España Peninsular*. Madrid.
- Huamán-Carrión, M., Espinoza-Montes, F., Barrial-Lujan, A., & Ponce-Atencio, Y. (2021). Influencia de la altitud y características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de pastos naturales altoandinos. *Scientia*, 83-90.
- ISRIC. (18 de 09 de 2023). ISRIC World Soil Information. Obtenido de ISRIC World Soil Information: <https://www.isric.org/explore/soilgrids>.

- Lefèvre Clara, R. F. (2017). CARBONO ORGANICO DEL SUELO, el potencial oculto. Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAD PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.
- López Lara, E. J., Posada Simeón, J. C., & Moreno Navarro, J. G. (1998). Los sistemas de información geográfica. In *Rodríguez García, J. y Collado Machuca, JC (eds.). Andalucía en el umbral del Siglo XXI. Congreso de Ciencia Regional de Andalucía (1. 1997. Jerez de la Frontera)*, 789-804. Universidad de Cádiz.
- Mogollón, J. P., Rivas, W., Martínez, A., Campos, Y., & Márquez, E. (2015). Carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Multiciencias*, 15(3), 271-280.
- National Aeronautics and Space Administration. (01 de 2011). Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center. Obtenido de Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center: <https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/>
- Orjuela, H. B. (2018). El carbono orgánico del suelo su papel frente al cambio climático . *Revista de Ciencias Agrícolas*, 15.
- Orjuela, H. B. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel en el cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 82-96. Obtenido de Universidad de Nariño.
- Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). 2009. Guía para la descripción de Suelos, (4 th ed.). Roma, Italia. 54
- U. Soergel, K. Schulz, U. Thoennesen and U. Stilla. "Integration of 3D data in SAR mission planning and image interpretation in urban areas". *Information Fusion*. USA. Vol. 6 N° 4, pp. 301-310. 2005.
- Pan G, Smith P, Pan W. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture Ecosystems & Environment* 129: 344-348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.10.008>
- Páliz, P. I. (2016). Efecto de la altitud en el contenido de carbono orgánico en el suelo y hojarasca de la Reserva Biológica Uyuca, Zamorano, Honduras (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2016.).
- Rodríguez Pérez, J. R., González Vázquez, X. P., & Arias Sánchez, P. (1999). Cartografía de usos del suelo por fotointerpretación mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG): análisis comparativo de los sistemas ráster y vectorial.

Rojas, A. S., Andrade, H. J., & Segura, M. (2018). Los suelos del paisaje alto-andino de Santa Isabel (Tolima, Colombia) ¿Son sumideros de carbono orgánico? *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 21(1), 51-59.

Salazar, S. (2019). Evaluación de un interpolador geoespacial óptimo para predecir la precipitación mensual en el Departamento del Huila.

SoilQuality. (2011). Soil quality indicators: Total Organic Carbon. *Soilquality.org*. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de http://soilquality.org/indicators/total_organic_carbon.html

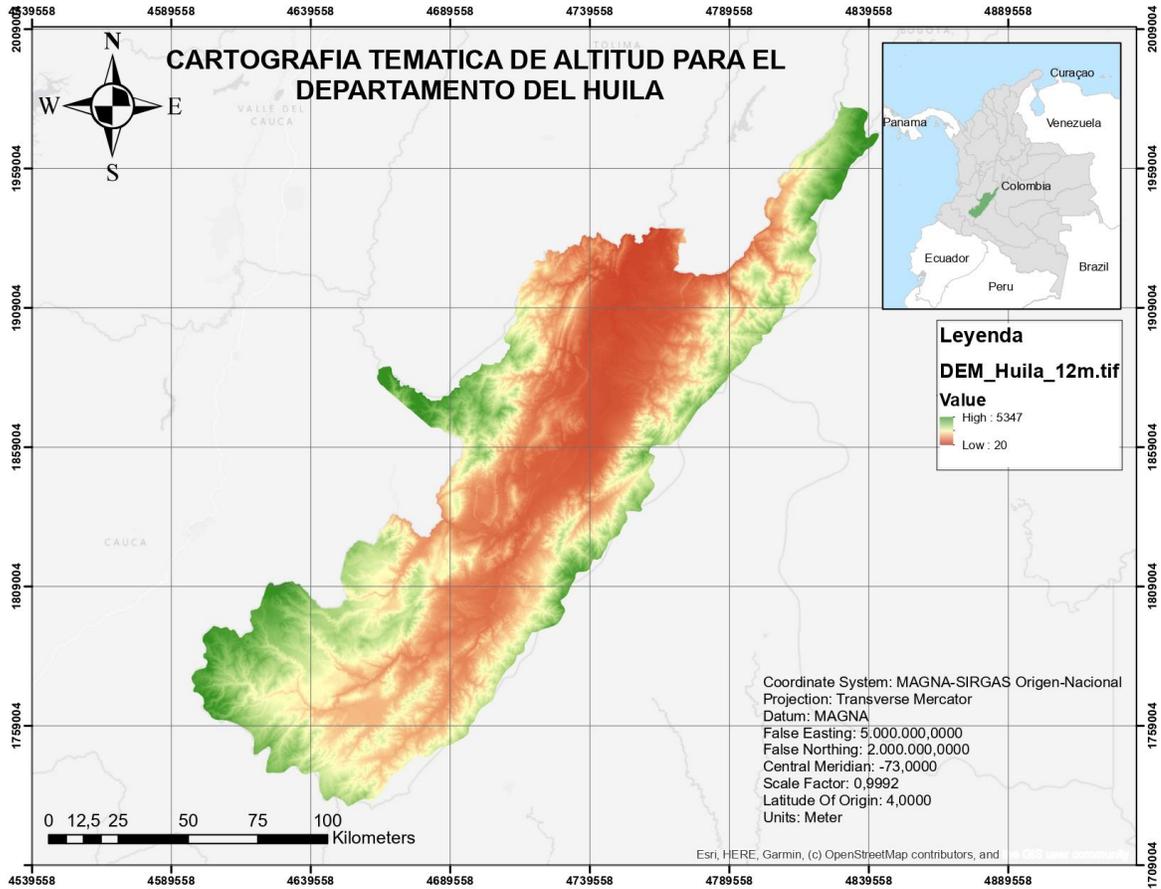
Swetnam, T. L., Brooks, P. D., Barnard, H. R., Harpold, A. A., & Gallo, E. L. (2017). Topographically driven differences in energy and water constrain climatic control on forest carbon sequestration. *Ecosphere*, 8(4), e01797.

Tashi, S., Singh, B., Keitel, C., & Adams, M. (2016). Soil carbon and nitrogen stocks in forests along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas and a meta-analysis of global data. *Global change biology*, 22(6), 2255-2268.

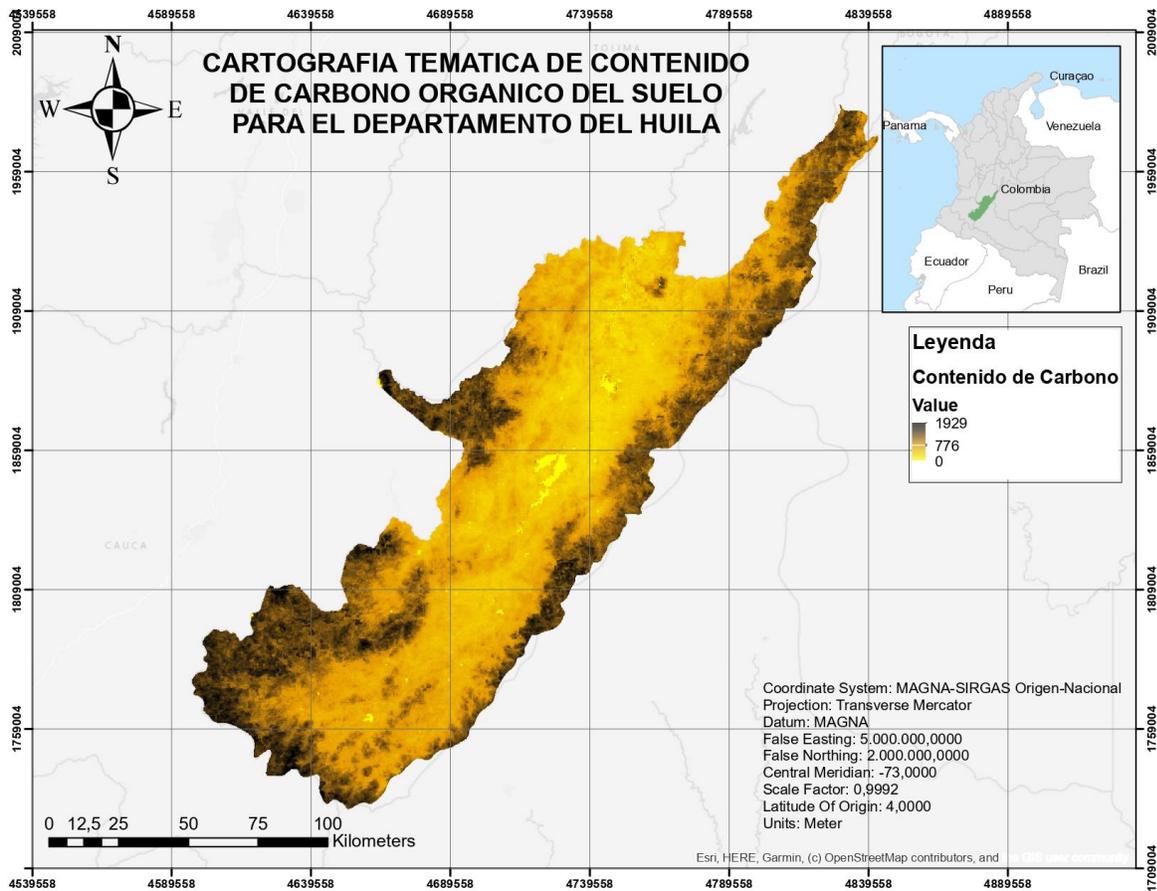
Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones geográficas*, 77, 18-30.

Chimdessa, T. (2023). Forest carbon stock variation with altitude in bolale natural forest. *Global Ecology & Conservation*, 2-6.

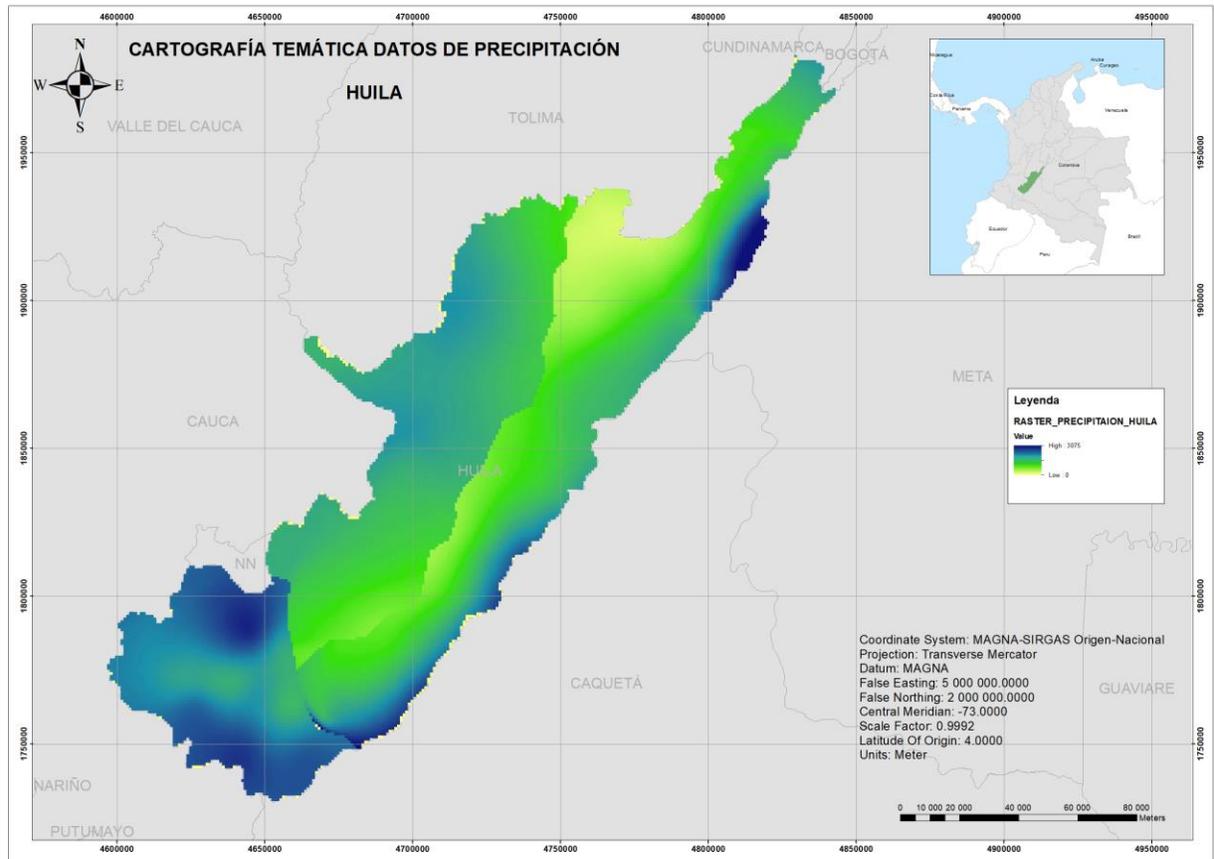
A. Anexo: Modelo de elevación del Huila



B. Anexo 1. Ráster de contenido de carbono en el departamento del Huila.



C. Ráster datos de precipitación en el Huila.



D. Municipios de Estudio con respecto a variables de precipitación, contenido de carbono en el suelo y altitud.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Garzón	4702676,07	1793059,14	965	555	1175
Garzón	4711009,59	1800456,14	1067	543	1163
Garzón	4704526,17	1792132,48	1086	642	1263
Garzón	4711014,32	1806933,6	901	508	1013
Garzón	4711010,26	1801381,49	1025	577	1136
Garzón	4709160,89	1803233,54	927	433	1028
Garzón	4701750,05	1792134,41	1018	676	1179
Garzón	4711937,63	1804156,87	1065	583	1107
Garzón	4711017,08	1810635,01	935	478	943
Garzón	4711941,73	1809708,97	969	504	992
Garzón	4708236,89	1805084,94	900	537	964
Garzón	4714717,77	1809706,89	1076	505	1107
Garzón	4710084,91	1801382,16	953	561	1102
Garzón	4712867,08	1809708,27	1084	525	1027
Garzón	4711942,43	1810634,31	1024	483	974
Garzón	4701746,24	1786582,15	1199	614	1375
Garzón	4700824,67	1792135,05	1054	686	1155
Garzón	4704525,53	1791207,11	1103	559	1298
Garzón	4708231,54	1797682,06	918	503	1170
Garzón	4709157,56	1798606,76	1028	739	1164
Garzón	4707305,52	1796757,36	1110	552	1177
Garzón	4709162,25	1805084,26	916	490	990
Garzón	4704526,82	1793057,85	925	622	1229
Garzón	4700824,03	1791209,67	1044	724	1184
Garzón	4711011,6	1803232,2	993	526	1091
Garzón	4711938,31	1805082,22	1073	588	1087
Garzón	4709158,88	1800457,47	962	569	1098
Garzón	4699898,01	1790284,93	1100	588	1189
Garzón	4706380,16	1796758,01	971	535	1149
Garzón	4712865,02	1806932,23	1162	537	1084
Garzón	4710088,28	1806008,93	908	555	1000

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Garzón	4711013,64	1806008,25	936	505	1032
Garzón	4711941,04	1808783,61	969	511	1009
Garzón	4715642,42	1808780,86	1168	605	1172
Garzón	4713793,12	1810632,93	1069	472	1047
Garzón	4711939,67	1806932,92	966	581	1047
Garzón	4711012,28	1804157,55	1013	560	1071
Garzón	4711943,12	1811559,66	1020	478	958
Garzón	4712861,63	1802305,5	1121	581	1190
Garzón	4711015	1807858,95	940	554	995
Garzón	4712862,3	1803230,85	1138	527	1167
Garzón	4712864,33	1806006,89	1115	524	1104
Garzón	4711934,94	1800455,47	1163	593	1201
Garzón	4711018,47	1812485,71	915	449	912
Garzón	4699898,65	1791210,31	902	558	1161
Garzón	4710086,92	1804158,22	978	513	1038
Garzón	4706379,5	1795832,65	1114	535	1184
Garzón	4711938,99	1806007,57	1009	597	1067
Garzón	4708234,86	1802308,86	951	510	1022
Garzón	4705453,48	1794907,94	1048	661	1190
Garzón	4721193,72	1807851,4	1426	733	1528
Garzón	4707302,92	1793055,91	1384	578	1326
Garzón	4710078,99	1793053,97	1333	726	1441
Garzón	4712858,96	1798604,11	1458	710	1311
Garzón	4704523,62	1788431	1417	778	1409
Garzón	4714710,98	1800453,47	1467	706	1333
Garzón	4706376,26	1791205,83	1245	596	1366
Garzón	4711006,29	1795829,38	1354	613	1355
Garzón	4706378,2	1793981,92	1203	635	1255
Garzón	4713785,64	1800454,14	1495	727	1286
Garzón	4705452,19	1793057,2	1245	687	1260
Garzón	4716567,07	1807854,83	1243	520	1240
Garzón	4713783,65	1797678,11	1453	665	1397
Garzón	4707304,21	1794906,63	1417	666	1250
Garzón	4717492,4	1807854,15	1319	588	1291
Garzón	4716563,67	1803228,15	1484	633	1356
Garzón	4700823,39	1790284,29	1326	664	1214
Garzón	4701746,87	1787507,52	1228	687	1342
Garzón	4702671,61	1786581,52	1273	722	1412
Garzón	4716567,76	1808780,17	1283	474	1220
Garzón	4708230,22	1795831,34	1282	582	1245

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Garzón	4704524,89	1790281,74	1225	633	1333
Garzón	4714712,99	1803229,5	1413	587	1256
Garzón	4700821,49	1787508,16	1249	735	1309
Garzón	4714714,34	1805080,18	1435	628	1210
Garzón	4711934,28	1799530,12	1227	544	1233
Garzón	4715636,99	1801378,15	1348	696	1355
Garzón	4705449,62	1789355,73	1334	572	1406
Garzón	4718412,99	1801376,14	1500	699	1523
Garzón	4704524,25	1789356,37	1328	624	1370
Garzón	4714713,67	1804154,84	1386	670	1233
Garzón	4712856,99	1795828,07	1403	699	1441
Garzón	4713791,74	1808782,24	1311	562	1085
Garzón	4709156,9	1797681,4	1244	586	1201
Garzón	4706376,91	1792131,19	1283	711	1329
Garzón	4719341,02	1805076,79	1495	767	1476
Garzón	4705451,54	1792131,84	1274	673	1295
Garzón	4703597,62	1787506,26	1335	584	1412
Garzón	4713789,68	1806006,21	1368	648	1145
Garzón	4710079,64	1793979,33	1345	541	1399
Garzón	4718415,69	1805077,47	1427	794	1417
Garzón	4702670,36	1784730,77	1297	709	1482
Garzón	4702673,51	1789357,64	1380	698	1305
Garzón	4702674,15	1790283,02	1428	709	1270
Garzón	4717489,68	1804152,81	1468	684	1385
Garzón	4709152,99	1792129,26	1426	665	1441
Garzón	4703598,88	1789357,01	1317	598	1337
Garzón	4711004,34	1793053,33	1500	731	1484
Garzón	4702675,43	1792133,77	1263	689	1205
Garzón	4711003,05	1791202,62	1464	685	1572
Garzón	4708224,45	1787503,11	1690	762	1610
Garzón	4710076,42	1789352,55	1745	782	1614
Garzón	4707299,72	1788429,1	1646	732	1525
Garzón	4717483,69	1795824,8	1766	1181	1703
Garzón	4711927,13	1789351,28	1741	752	1713
Garzón	4721192,35	1806000,75	1648	840	1578
Garzón	4711001,14	1788426,57	1784	1034	1708
Garzón	4707299,08	1787503,74	1540	792	1567
Garzón	4709151,71	1790278,55	1584	686	1526

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Garzón	4708222,56	1784727,03	1751	761	1743
Garzón	4718414,33	1803226,8	1528	657	1468
Garzón	4720266,35	1805076,11	1510	811	1539
Garzón	4720264,32	1802300,13	1800	809	1622
Garzón	4720264,99	1803225,46	1695	738	1593
Garzón	4715639,68	1805079,5	1547	815	1257
Garzón	4714708,99	1797677,45	1572	669	1444
Garzón	4714709,65	1798602,79	1559	680	1402
Garzón	4705447,1	1785654,27	1501	817	1568
Garzón	4718413,66	1802301,47	1549	664	1495
Garzón	4717489	1803227,48	1504	740	1411
Garzón	4704521,11	1784729,52	1571	851	1566
Garzón	4707295,96	1782876,93	1748	811	1782
Garzón	4708225,71	1789353,83	1524	759	1525
Garzón	4715635,65	1799527,47	1540	678	1415
Garzón	4706372,46	1785653,64	1789	778	1610
Garzón	4720262,98	1800449,48	1763	825	1681
Garzón	4708227,63	1792129,91	1549	751	1402
Garzón	4717485,66	1798600,81	1762	1149	1561
Garzón	4708223,19	1785652,39	1691	750	1698
Garzón	4709151,07	1789353,19	1664	751	1569
Garzón	4717486,99	1800451,48	1574	850	1492
Garzón	4722119,04	1807850,71	1653	877	1593
Garzón	4716565,7	1806004,16	1518	743	1284
Garzón	4705447,72	1786579,63	1505	728	1527
Garzón	4719338,32	1801375,47	1611	614	1585
Garzón	4714707,68	1795826,77	1768	723	1537
Garzón	4708223,82	1786577,75	1735	780	1654
Garzón	4720265,67	1804150,78	1553	810	1566
Garzón	4707300,35	1789354,46	1515	726	1483
Garzón	4716564,34	1804153,49	1509	768	1332
Garzón	4718412,32	1800450,81	1657	803	1552
Garzón	4711930,34	1793978,03	1593	735	1486
Garzón	4713779,1	1791200,7	1724	878	1724
Garzón	4716560,33	1798601,47	1622	746	1505
Garzón	4700822,75	1789358,91	1622	807	1246
Garzón	4716560,99	1799526,8	1577	695	1467
Garzón	4714707,03	1794901,43	1622	1012	1586
Garzón	4715633,67	1796751,45	1666	631	1540
Garzón	4716565,02	1805078,82	1571	783	1308

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Garzón	4711006,95	1796754,73	1507	700	1313
Garzón	4723964,27	1800446,81	2050	1324	1954
Garzón	4710073,28	1784725,78	1919	1022	1836
Garzón	4718409,02	1795824,15	1860	1258	1763
Garzón	4718411	1798600,15	1937	1250	1621
Garzón	4707297,2	1784727,65	1916	972	1697
Garzón	4725819,62	1806922,66	2053	1067	1886
Garzón	4715632,37	1794900,77	1845	1165	1640
Garzón	4723040,96	1803223,43	2066	1132	1798
Garzón	4710073,9	1785651,14	2031	1028	1792
Garzón	4708220,71	1781950,95	1974	1050	1874
Garzón	4717484,35	1796750,14	1843	1234	1652
Garzón	4722114,3	1801373,46	2055	1227	1787
Garzón	4717483,04	1794899,47	1883	1225	1757
Garzón	4718411,66	1799525,48	1812	950	1584
Garzón	4722114,97	1802298,79	2010	919	1758
Garzón	4709148,55	1785651,76	1824	903	1744
Garzón	4722115,64	1803224,11	1851	1052	1729
Garzón	4717485	1797675,47	1915	1244	1604
Garzón	4713780,39	1793051,39	1922	836	1630
Garzón	4709149,17	1786577,12	1865	961	1700
Garzón	4714705,08	1792125,4	1971	849	1732
Garzón	4723038,95	1800447,48	1892	1294	1885
Garzón	4721188,97	1801374,13	1861	822	1718
Garzón	4712850,58	1786574,61	2003	1031	1900
Garzón	4724894,99	1807848,65	1820	933	1794
Garzón	4709150,43	1788427,83	1820	893	1612
Garzón	4723963,6	1799521,49	2042	1200	1982
Garzón	4714704,44	1791200,06	1882	797	1780
Garzón	4719335,01	1796748,83	2082	1378	1772
Garzón	4712851,21	1787499,95	2049	1025	1857
Garzón	4707296,58	1783802,29	1833	877	1740
Garzón	4708221,32	1782876,31	1914	990	1830
Garzón	4709147,3	1783801,05	1889	970	1834
Garzón	4713777,82	1789350,01	2065	934	1820
Garzón	4710075,16	1787501,85	2088	902	1703
Garzón	4712852,48	1789350,65	1864	979	1765
Garzón	4709147,92	1784726,41	1857	886	1789

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Garzón	4723968,31	1805998,71	1849	990	1781
Garzón	4722116,32	1804149,43	1832	996	1700
Garzón	4709149,8	1787502,48	1865	962	1656
Garzón	4717482,39	1793974,14	2064	1274	1811
Garzón	4710074,53	1786576,49	2001	1012	1747
Garzón	4724894,31	1806923,34	1919	1135	1820
Garzón	4715631,72	1793975,44	1902	1202	1691
Garzón	4718410,34	1797674,81	2039	1427	1664
Garzón	4706371,84	1784728,28	1873	872	1652
Garzón	4722112,96	1799522,82	2073	1150	1847
Garzón	4720262,32	1799524,15	1898	1078	1712
Garzón	4715631,07	1793050,1	2098	1247	1742
Garzón	4715629,14	1790274,08	1979	922	1889
Colombia	4799029,79	1934533,78	977	896	1017
Colombia	4803655,3	1934528,61	1105	763	1137
Colombia	4801799,96	1929905,17	927	595	1150
Colombia	4803654,27	1933603,51	941	622	1155
Colombia	4789762,34	1919741,97	953	563	785
Colombia	4789763,34	1920667,1	1158	573	770
Colombia	4801805,1	1934530,68	1044	743	1085
Colombia	4806417,35	1922499,35	1059	869	1769
Colombia	4803651,18	1930828,22	1018	722	1215
Colombia	4804578,33	1932677,39	1165	779	1211
Colombia	4804596,19	1948403,99	1036	632	1114
Colombia	4789761,35	1918816,83	988	669	804
Colombia	4799947,72	1928057	1153	720	1101
Colombia	4806435,78	1939150,95	1183	728	1127
Colombia	4800880	1934531,71	1102	715	1062
Colombia	4796231,33	1913259,19	1094	824	1277
Colombia	4804581,43	1935452,67	933	688	1147
Colombia	4807372,54	1949325,86	1122	613	1119
Colombia	4808266,53	1921572,26	1090	744	2047
Colombia	4802732,28	1936379,84	1137	759	1084
Colombia	4806438,93	1941926,22	1141	614	1093
Colombia	4804588,75	1941928,33	1110	639	1064
Colombia	4804571,19	1926201,73	1002	568	1401
Colombia	4802721	1926203,75	975	652	1282
Colombia	4803652,21	1931753,32	1187	785	1194
Colombia	4792542,74	1924364,62	965	756	833
Colombia	4803653,24	1932678,42	1112	657	1174

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Colombia	4806415,35	1920649,17	1171	675	1886
Colombia	4806416,35	1921574,26	1139	697	1829
Colombia	4794392,99	1924362,61	1068	803	903
Colombia	4804579,36	1933602,48	1124	628	1188
Colombia	4800876,91	1931756,4	1059	599	1089
Colombia	4802723,03	1928053,95	995	807	1231
Colombia	4793467,86	1924363,61	1036	745	867
Colombia	4795320,12	1926211,84	1186	759	928
Colombia	4801802,01	1931755,37	990	767	1122
Colombia	4808298,7	1950249,86	1185	752	1116
Colombia	4805492,26	1922500,35	1197	673	1666
Colombia	4806437,88	1941001,13	1160	631	1102
Colombia	4794393,99	1925287,73	972	694	898
Colombia	4800877,94	1932681,5	965	779	1079
Colombia	4807357,74	1936374,65	1085	555	1217
Colombia	4798098,52	1928984,14	947	782	1012
Colombia	4805494,27	1924350,53	1165	809	1560
Colombia	4790688,47	1920666,1	1165	648	798
Colombia	4805507,56	1936376,73	1003	619	1155
Colombia	4791616,6	1923440,5	951	666	805
Colombia	4807371,46	1948400,77	1132	632	1119
Colombia	4805504,46	1933601,45	1121	753	1224
Colombia	4801806,14	1935455,78	1160	789	1074
Colombia	4792541,73	1923439,49	1207	763	837
Colombia	4793466,86	1923438,49	1341	718	872
Colombia	4791615,6	1922515,37	1280	822	810
Colombia	4792540,73	1922514,37	1357	831	843
Colombia	4791614,6	1921590,24	1483	778	817
Colombia	4791613,6	1920665,11	1387	735	828
Colombia	4791612,61	1919739,98	1304	672	844
Colombia	4792537,74	1919738,98	1464	806	878
Colombia	4790686,49	1918815,84	1370	784	832
Colombia	4791611,62	1918814,85	1471	739	864
Colombia	4792536,75	1918813,86	1486	768	899
Colombia	4790685,5	1917890,71	1337	807	856
Colombia	4791609,64	1916964,59	1358	807	918
Colombia	4792534,77	1916963,6	1410	839	955
Colombia	4792533,78	1916038,48	1258	826	987

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Colombia	4793458,91	1916037,49	1465	790	1028
Colombia	4798096,48	1927133,92	1475	841	1036
Colombia	4799946,7	1927131,89	1239	987	1118
Colombia	4800871,81	1927130,88	1284	850	1161
Colombia	4805497,3	1927125,81	1258	756	1430
Colombia	4806422,39	1927124,79	1446	865	1501
Colombia	4796245,24	1926210,83	1403	851	967
Colombia	4798095,47	1926208,81	1407	741	1049
Colombia	4799945,69	1926206,78	1481	1000	1135
Colombia	4800870,8	1926205,77	1500	937	1181
Colombia	4805496,29	1926200,72	1214	699	1469
Colombia	4796244,23	1925285,71	1349	909	976
Colombia	4801794,89	1925279,66	1219	765	1254
Colombia	4802719,99	1925278,65	1259	651	1310
Colombia	4805495,28	1925275,63	1269	691	1513
Colombia	4795318,11	1924361,6	1240	730	943
Colombia	4796243,22	1924360,6	1464	817	985
Colombia	4802718,98	1924353,55	1341	777	1340
Colombia	4803644,08	1924352,55	1278	668	1407
Colombia	4806419,36	1924349,53	1495	765	1650
Colombia	4811969,85	1924343,49	1482	930	2285
Colombia	4794391,98	1923437,49	1250	769	910
Colombia	4795317,1	1923436,48	1237	709	950
Colombia	4796242,22	1923435,48	1427	753	993
Colombia	4803643,08	1923427,45	1409	731	1444
Colombia	4804568,17	1923426,45	1336	692	1524
Colombia	4806418,35	1923424,44	1242	797	1709
Colombia	4809193,61	1923421,43	1484	867	2034
Colombia	4810118,69	1923420,42	1340	925	2144
Colombia	4811043,77	1923419,42	1383	789	2248
Colombia	4804567,17	1922501,35	1397	761	1571
Colombia	4807342,44	1922498,35	1361	774	1877
Colombia	4808267,53	1922497,35	1346	906	1987
Colombia	4811042,76	1922494,34	1301	736	2303
Colombia	4805491,26	1921575,26	1355	775	1723
Colombia	4793465,86	1922513,36	1582	925	879
Colombia	4792539,73	1921589,24	1589	937	851
Colombia	4793464,86	1921588,24	1715	1005	887
Colombia	4792538,73	1920664,11	1548	844	862
Colombia	4793462,86	1919737,99	1727	769	915

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Colombia	4793461,87	1918812,87	1631	853	937
Colombia	4791610,63	1917889,72	1673	870	889
Colombia	4792535,75	1917888,73	1716	813	925
Colombia	4793460,88	1917887,74	1695	823	964
Colombia	4793459,89	1916962,62	1628	769	995
Colombia	4799021,59	1927132,91	1558	945	1076
Colombia	4807347,48	1927123,78	1740	886	1578
Colombia	4799020,58	1926207,8	1511	934	1092
Colombia	4806421,38	1926199,71	1534	809	1546
Colombia	4797169,35	1925284,7	1547	767	1019
Colombia	4798094,46	1925283,7	1635	938	1062
Colombia	4799019,57	1925282,69	1778	1040	1107
Colombia	4800869,79	1925280,67	1605	930	1202
Colombia	4806420,37	1925274,62	1624	911	1596
Colombia	4810120,7	1925270,58	1757	982	2006
Colombia	4797168,34	1924359,59	1674	873	1029
Colombia	4800868,78	1924355,56	1594	842	1223
Colombia	4801793,88	1924354,56	1547	770	1279
Colombia	4807344,45	1924348,52	1609	815	1749
Colombia	4809194,61	1924346,51	1680	980	1966
Colombia	4810119,7	1924345,5	1575	754	2078
Colombia	4811044,77	1924344,5	1665	821	2186
Colombia	4802717,98	1923428,45	1644	735	1372
Colombia	4807343,44	1923423,44	1596	800	1813
Colombia	4811968,84	1923418,42	1565	875	2344
Colombia	4812893,92	1923417,41	1761	885	2436
Colombia	4813818,99	1923416,41	1687	839	2524
Colombia	4814744,05	1923415,41	1728	857	2610
Colombia	4816594,18	1923413,4	1726	1105	2771
Colombia	4794390,98	1922512,36	1679	865	917
Colombia	4795316,1	1922511,36	1564	863	958
Colombia	4796241,22	1922510,36	1594	784	1002
Colombia	4802716,97	1922503,35	1780	892	1406
Colombia	4803642,07	1922502,35	1647	827	1485
Colombia	4809192,61	1922496,35	1513	769	2096
Colombia	4810117,69	1922495,34	1549	845	2202
Colombia	4811967,84	1922493,34	1759	792	2398
Colombia	4812892,91	1922492,34	1642	871	2489

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Colombia	4813817,98	1922491,34	1512	763	2576
Colombia	4814743,05	1922490,34	1620	727	2662
Colombia	4815668,12	1922489,34	1731	750	2744
Colombia	4816593,18	1922488,34	1662	1025	2822
Colombia	4796240,22	1921585,24	1746	864	1014
Colombia	4804566,17	1921576,26	1701	831	1622
Colombia	4812891,91	1921567,27	1558	789	2538
Colombia	4796219,81	1902157,78	2065	967	1706
Colombia	4798995,15	1902154,95	2012	1192	1883
Colombia	4795290,93	1898458,25	2078	821	1722
Colombia	4793463,86	1920663,12	1931	835	899
Colombia	4808272,56	1927122,77	2021	993	1663
Colombia	4807346,46	1926198,7	1836	962	1630
Colombia	4812896,94	1926192,63	2082	1104	2243
Colombia	4799944,68	1925281,68	1820	1023	1153
Colombia	4807345,45	1925273,61	1832	1022	1687
Colombia	4808270,54	1925272,6	2041	1051	1788
Colombia	4811045,78	1925269,57	1896	970	2114
Colombia	4811970,86	1925268,56	1913	927	2217
Colombia	4812895,93	1925267,56	1852	1045	2315
Colombia	4813821	1925266,55	1972	1043	2407
Colombia	4816596,19	1925263,52	2017	1083	2658
Colombia	4817521,25	1925262,51	2064	998	2731
Colombia	4798093,45	1924358,58	1954	800	1075
Colombia	4799018,57	1924357,58	1985	937	1122
Colombia	4799943,67	1924356,57	1973	759	1171
Colombia	4808269,53	1924347,52	1863	1027	1855
Colombia	4812894,92	1924342,49	1801	859	2379
Colombia	4813819,99	1924341,48	1861	888	2468
Colombia	4814745,06	1924340,47	1861	874	2554
Colombia	4815670,12	1924339,47	1888	1097	2638
Colombia	4816595,18	1924338,46	1848	796	2716
Colombia	4817520,25	1924337,46	2003	840	2789
Colombia	4797167,34	1923434,48	1880	967	1039
Colombia	4798092,45	1923433,47	2043	796	1086
Colombia	4799942,67	1923431,46	1962	779	1189
Colombia	4800867,77	1923430,46	1999	787	1245
Colombia	4801792,88	1923429,46	1843	800	1306
Colombia	4808268,53	1923422,43	1835	875	1923
Colombia	4815669,12	1923414,4	1802	781	2693

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
Colombia	4817519,24	1923412,4	1945	856	2844
Colombia	4797166,33	1922509,36	1940	944	1049
Colombia	4801791,87	1922504,35	2000	1100	1334
Colombia	4817518,24	1922487,34	1933	841	2894
Colombia	4794389,98	1921587,24	2066	980	927
Colombia	4795315,1	1921586,24	1877	888	969
Colombia	4797165,33	1921584,25	2021	1023	1062
Colombia	4802715,97	1921578,25	2035	998	1444
Colombia	4803641,07	1921577,26	1876	984	1529
Colombia	4795314,1	1920661,12	1987	890	983
Colombia	4796239,22	1920660,13	1998	968	1029
Colombia	4797164,34	1920659,13	2075	1019	1078
Colombia	4802714,98	1920653,16	2076	901	1487
Colombia	4803640,08	1920652,16	1932	848	1577
Colombia	4816591,18	1920638,22	1867	1085	2914
Colombia	4817516,24	1920637,22	1899	1120	2987
Colombia	4794387,99	1919737	1933	836	956
La Plata	4672165,96	1831024,26	1288	704	1684
La Plata	4661046,48	1813448,98	1946	1023	1654
La Plata	4675858,23	1818990,43	1155	696	1532
La Plata	4683267,56	1826388,12	1134	551	1546
La Plata	4653635,59	1804199,51	2043	1034	2219
La Plata	4681412,32	1820837	1261	570	1502
La Plata	4669388,83	1830101,05	1798	959	1680
La Plata	4661973,37	1815299,25	2046	1036	1657
La Plata	4683266,09	1824537,26	1334	564	1527
La Plata	4683269,78	1829164,4	921	492	1575
La Plata	4672150,07	1810664,18	1480	807	1437
La Plata	4663820,14	1809744,95	1803	796	1518
La Plata	4667534,18	1825475,19	2046	1105	1670
La Plata	4670295,02	1805112,79	1479	688	1362
La Plata	4679557,87	1816211,25	1976	921	1456
La Plata	4684192,25	1825461,95	1322	545	1526
La Plata	4668450,31	1813443,36	1806	763	1521
La Plata	4671237,52	1827323,17	1753	913	1650
La Plata	4670300,54	1812516,5	1627	809	1481
La Plata	4658269,3	1812525,59	1931	1108	1665
La Plata	4674003,78	1814364,6	1431	803	1475

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
La Plata	4667522,05	1809742,18	1673	809	1464
La Plata	4664745,62	1809744,26	1776	827	1500
La Plata	4669370,92	1806964,4	1483	634	1402
La Plata	4663817,39	1806043,02	1439	752	1435
La Plata	4658267,21	1809749,1	2039	923	1651
La Plata	4660113,41	1803269,28	2036	828	1459
La Plata	4682334,17	1816209,12	1699	764	1436
La Plata	4674006,62	1818066,42	1142	517	1541
La Plata	4679565,09	1825465,63	1051	515	1575
La Plata	4674933,5	1819916,6	1104	694	1556
La Plata	4674013,89	1827320,95	1589	656	1642
La Plata	4659187,25	1802344,46	2023	983	1469
La Plata	4656412,78	1805122,98	1829	905	2174
La Plata	4665669,04	1806967,14	1771	643	1431
La Plata	4674939,34	1827320,21	1587	653	1638
La Plata	4681409,45	1817135,26	1528	813	1454
La Plata	4653636,26	1805125,02	2047	988	2214
La Plata	4672162,98	1827322,43	1992	921	1647
La Plata	4661969,87	1810671,82	1882	797	1585
La Plata	4661040,26	1805119,58	1955	926	1473
La Plata	4663814,02	1801415,62	1815	822	1358
La Plata	4684186,45	1818058,55	1679	845	1444
La Plata	4673998,91	1807886,43	2089	886	1378
La Plata	4662891,91	1806043,71	1864	751	1450
La Plata	4676788,03	1824542,39	1565	740	1588
La Plata	4674936,4	1823618,41	1598	616	1594
La Plata	4670304,78	1818069,28	1927	902	1586
La Plata	4680489,06	1823614,02	1060	458	1544
La Plata	4665675,3	1815296,42	1881	753	1607
La Plata	4684191,51	1824536,53	1426	568	1517
La Plata	4676782,25	1817138,82	1525	821	1495
La Plata	4661040,94	1806045,07	1543	884	1494
La Plata	4656417,6	1811601,49	1995	980	1664
La Plata	4660119,59	1811598,7	2039	1020	1645
La Plata	4674941,58	1830096,56	1430	667	1670
La Plata	4681408,03	1815284,4	1759	904	1430
La Plata	4664742,88	1806042,34	1545	785	1424
La Plata	4672164,47	1829173,35	1454	721	1663
La Plata	4673079,03	1815290,76	1182	657	1501
La Plata	4668464,11	1831027,26	1595	761	1698

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
La Plata	4668447,52	1809741,49	1626	661	1456
La Plata	4675861,12	1822692,23	1352	688	1576
La Plata	4664746,32	1810669,74	1752	878	1523
La Plata	4672150,76	1811589,64	1760	846	1449
La Plata	4661037,56	1801417,63	2047	812	1400
La Plata	4665669,72	1807892,61	1771	724	1448
La Plata	4674000,28	1809737,34	1825	914	1405
La Plata	4683269,04	1828238,97	1009	473	1565
La Plata	4668453,85	1818070,71	1888	897	1606
La Plata	4667539,39	1831953,49	1538	650	1715
La Plata	4670293,67	1803261,86	1593	780	1329
La Plata	4670296,38	1806963,71	1430	756	1395
La Plata	4675853,27	1812512,3	2024	1030	1429
La Plata	4674003,07	1813439,15	1603	772	1459
La Plata	4664748,41	1813446,17	1818	836	1592
La Plata	4663816,71	1805117,54	1888	765	1418
La Plata	4658270	1813451,09	1988	999	1666
La Plata	4670297,07	1807889,18	1409	806	1412
La Plata	4677709,84	1819914,44	1140	540	1525
La Plata	4656412,1	1804197,48	1839	920	2174
La Plata	4660112,07	1801418,29	2020	927	1422
La Plata	4664747,71	1812520,69	1813	903	1570
La Plata	4678636,73	1821764,6	1036	522	1538
La Plata	4661963,05	1801416,96	1888	858	1382
La Plata	4654557,74	1799571,3	2050	967	2216
La Plata	4671219,8	1804186,65	1731	745	1338
La Plata	4684194,47	1828238,23	1014	480	1554
La Plata	4661966,43	1806044,39	1730	848	1470
La Plata	4670312,8	1828249,37	1795	995	1659
La Plata	4666593,83	1806040,98	1415	695	1407
La Plata	4671239,01	1829174,09	1795	794	1664
La Plata	4678636,01	1820839,16	1076	582	1526
La Plata	4660120,99	1813449,68	1936	1013	1662
La Plata	4678639,65	1825466,36	1100	505	1584
La Plata	4667525,54	1814369,54	1818	717	1555
La Plata	4662896,75	1812522,09	1838	909	1607
La Plata	4663820,84	1810670,43	1845	824	1541
La Plata	4685114,75	1821759,53	1591	763	1478

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
La Plata	4672163,72	1828247,89	1782	809	1654
La Plata	4666600,78	1815295,72	1814	774	1588
La Plata	4659192,01	1808822,92	2076	926	1619
La Plata	4674015,38	1829171,85	1787	724	1662
La Plata	4664742,19	1805116,86	1767	738	1408
La Plata	4659186,58	1801418,96	2038	856	1449
La Plata	4678633,85	1818062,84	1818	937	1490
La Plata	4650854,37	1797722,92	2066	992	2326
La Plata	4656409,42	1800495,47	1955	935	2172
La Plata	4659193,4	1810673,91	2020	1015	1649
La Plata	4666612,42	1830103,29	1809	813	1704
La Plata	4659190,64	1806971,93	2057	980	1579
La Plata	4661969,17	1809746,33	1930	755	1562
La Plata	4684187,88	1819909,4	1729	700	1465
La Plata	4653632,23	1799571,96	1960	1225	2240
La Plata	4661045,08	1811598	1957	873	1628
La Plata	4673082,6	1819918,04	1533	628	1579
La Plata	4674013,15	1826395,5	1894	775	1632
La Plata	4664750,53	1816222,61	2100	1015	1630
La Plata	4673076,92	1812514,4	1478	926	1453
La Plata	4681408,74	1816209,83	1625	821	1442
La Plata	4684190,78	1823611,1	1578	808	1507
La Plata	4661047,18	1814374,47	2036	959	1660
La Plata	4667517,94	1804189,35	1588	817	1369
La Plata	4652712,8	1807902,23	1961	992	1661
La Plata	4676788,77	1825467,84	1667	741	1600
La Plata	4649928,19	1796798,06	2095	965	2361
La Plata	4670298,45	1809740,1	1447	782	1441
La Plata	4674009,5	1821768,23	1543	884	1586
La Plata	4683261,74	1818984,69	1669	760	1463
La Plata	4665673,19	1812519,99	1759	867	1552
La Plata	4676785,84	1821766,05	1110	514	1557
La Plata	4665664,97	1801414,28	1472	765	1341
La Plata	4679557,16	1815285,81	2076	1034	1443
La Plata	4671225,3	1811590,33	1432	743	1458
La Plata	4652711,43	1806051,21	2030	925	2223
La Plata	4664751,24	1817148,09	2073	970	1636
La Plata	4664751,96	1818073,57	2090	790	1642
La Plata	4673998,22	1806960,98	1982	905	1363
La Plata	4669372,29	1808815,33	1325	798	1434

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
La Plata	4681410,16	1818060,7	1447	609	1467
La Plata	4677714,95	1826392,54	1129	566	1605
La Plata	4686043,09	1825460,48	1494	639	1505
La Plata	4673080,45	1817141,68	1171	520	1537
La Plata	4685115,48	1822684,95	1682	720	1488
La Plata	4657345,21	1814377,29	2056	902	1665
La Plata	4663819,45	1808819,47	1757	768	1495
La Plata	4671227,41	1814366,72	1234	550	1502
La Plata	4669387,34	1828250,12	2079	961	1664
La Plata	4683263,9	1821760,98	1519	723	1496
La Plata	4655486,6	1804198,15	1994	851	2188
La Plata	4674934,22	1820842,05	1180	717	1567
La Plata	4672152,87	1814366,01	1222	619	1492
La Plata	4671236,05	1825472,25	2061	1022	1640
La Plata	4673075,52	1810663,48	1839	953	1427
La Plata	4673092,17	1831948,97	1415	600	1695
La Plata	4677715,69	1827317,99	1115	552	1619
La Plata	4672148,68	1808813,26	2000	941	1411
La Plata	4672160,04	1823620,6	1937	898	1621
La Plata	4665676,01	1816221,9	2026	872	1616
La Plata	4658268,6	1811600,1	2100	918	1663
La Plata	4677712,02	1822690,77	1091	615	1558
La Plata	4674935,67	1822692,95	1331	694	1585
La Plata	4673084,77	1822694,41	1712	840	1605
La Plata	4665676,72	1817147,38	1985	862	1625
La Plata	4677706,98	1816212,67	1977	957	1472
La Plata	4662890,55	1804192,74	1940	942	1414
La Plata	4668465,62	1832878,2	1597	579	1724
La Plata	4666593,15	1805115,5	1614	795	1392
La Plata	4673089,92	1829172,6	1996	741	1663
La Plata	4668449,61	1812517,89	1772	728	1505
La Plata	4670312,06	1827323,91	1673	909	1653
La Plata	4661964,39	1803267,93	1956	941	1413
La Plata	4681415,23	1824538,73	1051	508	1546
La Plata	4668445,45	1806965,08	1339	684	1408
La Plata	4685118,41	1826386,64	1396	618	1524
La Plata	4685113,31	1819908,68	1642	670	1457
La Plata	4661967,11	1806969,88	1589	809	1492

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
La Plata	4664749,82	1815297,13	1962	736	1623
La Plata	4677714,21	1825467,1	1386	604	1592
La Plata	4664743,56	1806967,82	1809	727	1441
La Plata	4669380,03	1818995,46	2063	863	1611
La Plata	4670313,55	1829174,84	1991	882	1666
La Plata	4670301,94	1814367,42	1278	685	1513
La Plata	4674008,05	1819917,32	1620	748	1567
La Plata	4663818,76	1807893,99	1804	757	1474
La Plata	4682337,03	1819910,84	1489	631	1482
La Plata	4669372,99	1809740,8	1284	715	1449
La Plata	4673086,96	1825470,78	1818	865	1628
La Plata	4675856,8	1817139,54	1600	816	1504
La Plata	4665666,99	1804190,71	1825	784	1385
La Plata	4675856,09	1816214,09	1755	861	1490
La Plata	4682341,39	1825463,42	1032	536	1547
La Plata	4670302,65	1815292,89	1438	721	1531
La Plata	4673081,16	1818067,13	1174	632	1553
La Plata	4671230,96	1818994,02	1868	888	1590
La Plata	4674016,88	1831022,76	1348	675	1682
La Plata	4671229,53	1817143,1	1460	762	1558
La Plata	4684193,72	1827312,8	1099	520	1544
La Plata	4666591,79	1803264,56	1692	650	1362
La Plata	4672151,46	1812515,09	1529	846	1462
San Agustín	4639724,77	1762560,02	1524	715	1926
San Agustín	4626767,98	1764419,06	2063	1066	2084
San Agustín	4623993,51	1768123,13	1950	846	1867
San Agustín	4627692,99	1763492,91	1849	972	2116
San Agustín	4628618,01	1762566,77	1984	939	2136
San Agustín	4637868,71	1754231,17	2088	944	2275
San Agustín	4628618,57	1763492,35	1830	1006	2099
San Agustín	4632324,3	1769043,5	1947	785	1732
San Agustín	4626771,43	1769972,56	1780	777	1799
San Agustín	4627695,27	1767195,24	1936	771	1919
San Agustín	4639721,44	1757006,73	2098	988	2161
San Agustín	4630475,5	1772746,95	1811	841	1723
San Agustín	4619368,44	1772754,04	2061	1018	1784
San Agustín	4636949,24	1764412,82	1635	709	1850
San Agustín	4619369,03	1773679,64	2085	1044	1787
San Agustín	4624919,1	1768122,55	1922	771	1874
San Agustín	4640649,75	1761633,91	1578	742	1968

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
San Agustín	4617518,42	1774606,44	2031	1038	1818
San Agustín	4634171,43	1762563,39	1980	919	1991
San Agustín	4633251,62	1771819,61	1695	729	1684
San Agustín	4632329,03	1776448,04	1929	1019	1802
San Agustín	4628619,71	1765343,5	1994	833	2006
San Agustín	4632325,47	1770894,63	1720	744	1699
San Agustín	4636033,09	1779222,31	1819	872	1969
San Agustín	4635098,69	1765339,51	1629	666	1831
San Agustín	4634173,13	1765340,08	1651	701	1851
San Agustín	4637870,88	1757933,38	1848	905	2136
San Agustín	4618441,66	1770903,42	1899	1028	1805
San Agustín	4633254,59	1776447,44	2011	1110	1803
San Agustín	4636943,69	1755157,26	2074	1025	2247
San Agustín	4634173,7	1766265,65	1733	697	1806
San Agustín	4630472	1767193,51	1854	867	1860
San Agustín	4637875,94	1766263,35	1654	753	1762
San Agustín	4631397,58	1767192,94	1823	823	1834
San Agustín	4628620,85	1767194,66	1906	851	1904
San Agustín	4637873,1	1761635,59	1942	1010	1975
San Agustín	4619365,52	1768126,02	1954	972	1856
San Agustín	4626769,12	1766270,23	1992	886	1979
San Agustín	4640648,64	1759782,82	1544	758	2043
San Agustín	4635102,16	1770892,88	1560	721	1663
San Agustín	4642499,17	1758856,17	1773	793	2067
San Agustín	4637869,25	1755156,72	1917	910	2243
San Agustín	4636025,98	1768115,62	1673	637	1703
San Agustín	4630476,09	1773672,52	1865	840	1732
San Agustín	4630477,29	1775523,67	2085	1014	1772
San Agustín	4620291,12	1768125,44	1985	936	1852
San Agustín	4632327,24	1773671,34	1811	810	1717
San Agustín	4641573,08	1757931,18	2034	1034	2110
San Agustín	4636944,78	1757008,37	2041	995	2180
San Agustín	4627693,56	1764418,49	1954	959	2073
San Agustín	4636948,67	1763487,26	1540	701	1894
San Agustín	4631394,73	1762565,08	1913	815	2066
San Agustín	4623994,09	1769048,72	1855	845	1827
San Agustín	4640649,19	1760708,36	1528	718	2005
San Agustín	4642500,28	1760707,25	1677	700	2001

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
San Agustín	4631393,61	1760713,94	1860	821	2138
San Agustín	4632327,83	1774596,91	1906	960	1739
San Agustín	4629541,91	1759789,48	1984	859	2203
San Agustín	4619366,68	1769977,23	1762	854	1808
San Agustín	4636950,96	1767189,48	1597	748	1729
San Agustín	4628622,01	1769045,82	1756	940	1816
San Agustín	4628626,13	1775524,87	2074	1114	1776
San Agustín	4628623,76	1771822,55	1752	908	1746
San Agustín	4634172,56	1764414,52	1634	821	1898
San Agustín	4637874,79	1764412,25	1635	728	1843
San Agustín	4640648,08	1758857,27	1659	753	2080
San Agustín	4639725,9	1764411,11	1616	605	1846
San Agustín	4632320,3	1762564,52	1863	829	2040
San Agustín	4633249,29	1768117,35	1817	815	1745
San Agustín	4618440,49	1769052,2	1967	949	1837
San Agustín	4631397	1766267,36	1783	869	1881
San Agustín	4621219,64	1772752,86	2068	844	1766
San Agustín	4639722,54	1758857,83	1754	816	2086
San Agustín	4623994,67	1769974,31	1818	1029	1797
San Agustín	4641575,86	1762558,89	1350	606	1934
San Agustín	4640647,53	1757931,73	1920	924	2117
San Agustín	4639723,09	1759783,38	1672	987	2047
San Agustín	4631399,9	1770895,22	1528	797	1715
San Agustín	4624920,26	1769973,73	1695	876	1800
San Agustín	4623992,36	1766271,95	2000	859	1965
San Agustín	4628623,18	1770896,98	1597	783	1759
San Agustín	4633246,43	1763489,52	1942	877	1970
San Agustín	4638800,92	1765337,23	1623	645	1802
San Agustín	4635099,27	1766265,07	1703	617	1787
San Agustín	4634174,28	1767191,21	1781	749	1764
San Agustín	4623066,76	1766272,52	2099	864	1953
San Agustín	4633251,04	1770894,05	1592	782	1684
San Agustín	4633258,25	1782000,83	1917	1052	2064
San Agustín	4631402,86	1775523,07	2076	1075	1770
San Agustín	4622144,07	1770901,07	1895	776	1775
San Agustín	4639723,65	1760708,92	1772	959	2008
San Agustín	4631398,15	1768118,51	1888	730	1791
San Agustín	4638796,99	1758858,38	1808	900	2092
San Agustín	4629549,34	1771821,97	1702	726	1735
San Agustín	4635098,13	1764413,95	1705	811	1877

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
San Agustín	4630469,72	1763491,22	1743	869	2052
San Agustín	4628621,43	1768120,24	1873	884	1857
San Agustín	4630470,29	1764416,79	1753	781	2006
San Agustín	4636946,99	1760710,59	2090	1095	2028
San Agustín	4629549,93	1772747,54	1830	768	1733
San Agustín	4631404,06	1777374,21	2094	1125	1836
San Agustín	4636944,24	1756082,82	2065	980	2215
San Agustín	4621219,05	1771827,26	2082	829	1769
San Agustín	4636021,43	1760711,15	1817	882	2040
San Agustín	4618442,84	1772754,63	1841	981	1796
San Agustín	4620290,54	1767199,84	2096	843	1888
San Agustín	4629542,46	1760715,05	2067	959	2178
San Agustín	4640650,88	1763485	1346	668	1891
San Agustín	4631391,4	1757011,66	1963	987	2243
San Agustín	4638795,89	1757007,28	1902	894	2167
San Agustín	4642501,4	1762558,33	1314	559	1938
San Agustín	4636026,55	1769041,18	1663	746	1679
San Agustín	4627697,01	1769971,98	1876	884	1793
San Agustín	4632318,07	1758862,25	1971	1045	2179
San Agustín	4635097	1762562,83	1876	802	1970
San Agustín	4626766,29	1761642,31	1975	944	2188
San Agustín	4630467,48	1759788,93	2018	882	2187
San Agustín	4627692,43	1762567,33	1905	980	2151
San Agustín	4629543,59	1762566,21	1969	962	2116
San Agustín	4623071,43	1773677,27	2056	976	1759
San Agustín	4630468,04	1760714,5	1980	899	2159
San Agustín	4632317,52	1757936,68	1939	1001	2206
San Agustín	4629551,12	1774598,69	2089	935	1754
San Agustín	4621218,47	1770901,66	2084	888	1778
San Agustín	4629546,43	1767194,09	1908	916	1884
San Agustín	4635099,84	1767190,63	1692	701	1748
San Agustín	4631401,08	1772746,36	1730	875	1713
San Agustín	4615662,51	1767202,72	2095	1056	1913
San Agustín	4619367,85	1771828,44	1943	902	1786
San Agustín	4638797,54	1759783,93	2003	993	2052
San Agustín	4635101,58	1769967,32	1740	739	1670
San Agustín	4625846,43	1770898,73	1841	998	1776
San Agustín	4615663,08	1768128,33	2084	1006	1892

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
San Agustín	4624919,68	1769048,14	1712	821	1833
San Agustín	4627698,18	1771823,14	1820	924	1753
San Agustín	4623066,19	1765346,93	2056	923	2004
San Agustín	4633243,09	1757936,13	2037	921	2192
San Agustín	4639725,33	1763485,57	1663	724	1886
San Agustín	4625847,02	1771824,32	1929	980	1761
San Agustín	4635106,32	1777371,8	1783	934	1854
San Agustín	4633257,02	1780149,7	2037	942	1978
San Agustín	4626770,27	1768121,4	1916	829	1877
San Agustín	4636947,55	1761636,15	1734	851	1985
San Agustín	4629550,52	1773673,12	1830	903	1740
San Agustín	4619366,1	1769051,62	1799	906	1829
San Agustín	4628625,54	1774599,29	1981	972	1758
San Agustín	4621217,3	1769050,46	1760	839	1819
San Agustín	4634180,76	1777372,4	1815	925	1849
San Agustín	4636948,11	1762561,71	1632	689	1940
San Agustín	4634174,86	1768116,77	1779	774	1727
San Agustín	4632328,43	1775522,47	1854	930	1768
San Agustín	4620291,7	1769051,04	1835	859	1823
San Agustín	4636950,38	1766263,93	1731	741	1765
San Agustín	4630476,69	1774598,1	1942	949	1749
San Agustín	4637869,79	1756082,27	1850	944	2209
San Agustín	4631395,3	1763490,65	1842	819	2024
San Agustín	4624920,84	1770899,32	2010	1075	1776
San Agustín	4632322,57	1766266,79	1782	766	1853
San Agustín	4639724,2	1761634,47	1882	959	1968
San Agustín	4635101	1769041,75	1775	824	1687
San Agustín	4632333,3	1782927,02	2018	1143	2083
San Agustín	4623067,91	1768123,71	1956	792	1858
San Agustín	4629548,17	1769970,81	1814	810	1768
San Agustín	4630474,91	1771821,38	1786	755	1723
San Agustín	4638796,43	1757932,83	1826	897	2130
San Agustín	4634182,58	1780149,09	1980	947	1993
San Agustín	4622144,65	1771826,67	1891	893	1764
San Agustín	4635096,43	1761637,27	1867	879	2014
San Agustín	4634172	1763488,96	1889	818	1945
San Agustín	4623998,21	1775527,86	2093	941	1776
San Agustín	4635095,32	1759786,15	1894	922	2094
San Agustín	4636023,68	1764413,39	1689	646	1861
San Agustín	4623070,25	1771826,08	2000	890	1762

Evaluación de la relación entre la variación altitudinal, la precipitación y el contenido de carbono orgánico para los municipios de San Agustín, La Plata, Garzón y Colombia, en el departamento del Huila.

Nom_Municipio	Cent_X	Cent_Y	Altitud (msnm)	Carbono Organico Suelo (COS)	Precipitación (msnm)
San Agustín	4623997,62	1774602,27	2078	1048	1763
San Agustín	4634177,19	1771819,02	1667	750	1674
San Agustín	4630469,16	1762565,64	1970	946	2092
San Agustín	4633247	1764415,09	1714	713	1923
San Agustín	4637871,43	1758858,93	1994	928	2098
San Agustín	4632326,05	1771820,2	1669	738	1696
San Agustín	4627696,43	1769046,4	1824	854	1828
San Agustín	4634183,2	1781074,66	1885	940	2040
San Agustín	4631393,06	1759788,37	1939	935	2168
San Agustín	4638798,1	1760709,48	2083	1067	2012
San Agustín	4642501,96	1763483,87	1337	627	1908
San Agustín	4632322	1765341,22	1716	745	1901
San Agustín	4617517,82	1773680,83	2055	1016	1812
San Agustín	4631400,49	1771820,79	1776	748	1709
San Agustín	4622142,9	1769049,88	1744	850	1818
San Agustín	4639721,99	1757932,28	2016	857	2124
San Agustín	4633250,45	1769968,48	1986	895	1694
San Agustín	4618442,25	1771829,02	1932	889	1798
San Agustín	4635107,54	1779222,92	2079	977	1957
San Agustín	4626769,69	1767195,81	1932	861	1926
San Agustín	4632320,87	1763490,09	1815	803	1996
San Agustín	4635095,88	1760711,71	1652	871	2056
San Agustín	4633247,57	1765340,65	1582	696	1875
San Agustín	4628620,28	1766269,08	1940	906	1955
San Agustín	4636022,55	1762562,27	1760	680	1953
San Agustín	4629545,29	1765342,94	1968	941	1984
San Agustín	4632319,18	1760713,38	2024	928	2116