

**Zonas potenciales de captación de agua subterránea para consumo humano
y riego en el Corregimiento de Puente Bomba, La Guajira.**

**Orlando Riveros Rueda
Natalia Elisa Ruiz Chica**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2020**

**Zonas potenciales de captación de agua subterránea para consumo humano
y riego en el Corregimiento de Puente Bomba, La Guajira.**

Orlando Riveros Rueda
Natalia Elisa Ruiz Chica

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2020**

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La empresa Subsoil Geophysic S.A.S, por la información suministrada que sirvió de base para el desarrollo de este proyecto.

Nuestras familias por el apoyo dado para el inicio, desarrollo y culminación de este proyecto profesional y personal.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	ÁREA PROBLEMÁTICA	15
3.	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVO GENERAL	16
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4.	GENERALIDADES	17
4.1	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.	17
5.	JUSTIFICACIÓN	18
6.	MARCO TEÓRICO	19
6.1	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	19
6.2	TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (TRE)	20
6.3	BASE DE DATOS Y SIG	21
6.4	ESTADÍSTICA ESPACIAL	23
6.5	AGUA SUBTERRÁNEA EN EL MUNDO	23
6.6	MARCO LEGAL	24
7.	METODOLOGÍA	26
7.1	TIPO DE TRABAJO	26
7.2	PROCEDIMIENTO	26
7.2.1	Recopilación y análisis de información existente del área de estudio	26
7.2.2	La recopilación e integración de los datos geofísicos	27
7.2.3	Base de datos para la integración SIG	27
7.2.4	Construcción del SIG a partir de los datos espaciales	27
8.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE ESTUDIO DE ANTECEDENTES	28
8.1	CLIMA	28
8.2	PRECIPITACIÓN	29
8.3	TEMPERATURA	30
8.4	MARCO GEOLÓGICO Y GEOLOGÍA REGIONAL	30
8.5	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.	32
8.1	CLASIFICACIÓN SÍSMICA	33

9	ESTUDIOS DE CAMPO	34
9.1	GEOLOGÍA LOCAL.	34
9.2	GEOMORFOLOGÍA.	35
9.1	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.	36
10	RECOPIACIÓN E INTEGRACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS	40
11	BASE DE DATOS PARA LA INTEGRACIÓN SIG	43
12	CONSTRUCCIÓN DEL SIG A PARTIR DE LOS DATOS ESPACIALES	47
12.1	ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN.	47
12.2	ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.	48
12.2.1	0-15 metros	48
12.2.2	15-30 metros	50
12.2.3	30-45 metros	51
12.2.4	45-60 metros	53
12.2.5	60-75 metros	54
12.2.6	75-90 metros	56
12.2.7	90-105 metros	57
12.2.8	105-150 metros	59
12.2.9	150-195 metros	60
12.2.10	195-240 metros	62
12.2.11	Construcción Kriging capa 0-15 metros	64
13	RESULTADOS	65
14	CONCLUSIONES	76
15	RECOMENDACIONES	78
16	BIBLIOGRAFÍA	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona de estudio	17
Figura 2. Clasificación climática departamento de la Guajira – Zona de Estudio	28
Figura 3. Distribución anual de precipitación media mensual (mm).	29
Figura 4. Distribución anual de las Temperaturas medias últimos 4 años	30
Figura 5. Mapa de Geología de la Plancha 13 Dibulla.	32
Figura 6. Mapa de Geología Estructural zona de estudio	33
Figura 7. Mapa de Geología Local zona de estudio.	35
Figura 8. Ubicación exploración realizada en la zona de estudio.	36
Figura 9. Tomografía TRE 1.	37
Figura 10. Tomografía TRE 2.	37
Figura 11. Tomografía TRE 3.	37
Figura 12. Tomografía TRE 4.	37
Figura 13. Tomografía TRE 5.	38
Figura 14. Recopilación de los datos geofísicos de las TRE	40
Figura 15. Datos obtenidos del IDEAM (Estación Remedios)	43
Figura 16. Procesamiento y base de datos para el SIG.	44
Figura 17. Datos de la TR3.	44
Figura 18. Procesamiento y base de datos para el SIG.	45
Figura 19. Tablas de atributos de los datos de precipitación procesados en el software Arcgis.	45
Figura 20. Tablas de atributos de los datos de las tomografías procesados en el software Arcgis.	46
Figura 21. Imagen de la GDB generada en el Software Arcgis.	46
Figura 22. Kriging datos de precipitación.	47
Figura 23. Mapa de isoclinas de precipitación.	48
Figura 24. Histograma datos resistividad TRE.	49
Figura 25. QQplot datos resistividad TRE.	49
Figura 26. Análisis tendencia de datos resistividad TRE.	50
Figura 27. Histograma datos resistividad TRE.	50
Figura 28. QQplot datos resistividad TRE.	51
Figura 29. Análisis de tendencia de datos resistividad TRE.	51
Figura 30. Histograma datos resistividad TRE.	52
Figura 31. QQplot datos resistividad TRE.	52
Figura 32. Análisis de tendencia de los datos resistividad TRE.	53
Figura 33. Histograma datos resistividad TRE.	53
Figura 34. QQplot datos resistividad TRE.	54
Figura 35. Análisis de tendencia de los datos resistividad TRE.	54
Figura 36. Histograma datos resistividad TRE.	55
Figura 37. QQplot datos resistividad TRE.	55
Figura 38. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE.	56
Figura 39. Histograma datos resistividad TRE.	56

Figura 40. QQplot datos resistividad TRE. _____	57
Figura 41. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE. _____	57
Figura 42. Histograma datos resistividad TRE. _____	58
Figura 43. QQplot datos resistividad TRE. _____	58
Figura 44. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE. _____	59
Figura 45. Histograma datos resistividad TRE. _____	59
Figura 46. QQplot datos resistividad TRE. _____	60
Figura 47. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE. _____	60
Figura 48. Histograma datos resistividad TRE. _____	61
Figura 49. QQplot datos resistividad TRE. _____	61
Figura 50. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE. _____	62
Figura 51. Histograma datos resistividad TRE. _____	62
Figura 52. QQplot datos resistividad TRE. _____	63
Figura 53. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE. _____	63
Figura 54. Ejemplo Kriging datos resistividad TRE. _____	64
Figura 55. Valores idóneas de resistividad de los materiales geológicos. _____	65
Figura 56. Caracterización zonas potenciales capa 0 a 15 metros. _____	66
Figura 57. Caracterización zonas potenciales capa 15 a 30 metros. _____	67
Figura 58. Caracterización zonas potenciales capa 30 a 45 metros. _____	68
Figura 59. Caracterización zonas potenciales capa 45 a 60 metros. _____	69
Figura 60. Caracterización zonas potenciales capa 60 a 75 metros. _____	70
Figura 61. Caracterización zonas potenciales capa 75 a 90 metros. _____	71
Figura 62. Caracterización zonas potenciales capa 90 a 105 metros. _____	72
Figura 63. Caracterización zonas potenciales capa 105 a 150 metros. _____	73
Figura 64. Caracterización zonas potenciales capa 150 a 195 metros. _____	74
Figura 65. Caracterización zonas potenciales capa 195 a 240 metros. _____	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Precipitación media mensual multianual (mm). _____	29
Tabla 2. Temperatura media anual (°C) _____	30
Tabla 3. Principales características de las tomografías realizadas _____	38
Tabla 4. Características principales pozos exploratorios. _____	38
Tabla 5. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #1	40
Tabla 6. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #2	41
Tabla 7. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #3	41
Tabla 8. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #4	42
Tabla 9. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #5	42

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A
ANEXO B

GLOSARIO

Acuífero: Cuerpo de agua dentro de la formación geológica capaz de almacenar y transmitir el fluido a través de los poros.

Agua Subterránea: Agua a gran profundidad que se almacena y transmite a través de materiales geológicos permeables y que pueden ser de contextura dulce o salada dependiendo de las condiciones de ambiente y transporte.

Arcilla: Roca sedimentaria sin granos por lo que almacena agua, pero no permite su transmisividad.

Arena: Material geológico compuesto de partículas de tamaño de grano muy fino a muy grueso con permeabilidad muy buena y porosidad primaria.

Base de datos: Conjunto de datos del mismo contexto almacenado de manera sistemática para así poder ser utilizados posteriormente

Estadística espacial: Analiza datos que se encuentran espacialmente georreferenciados con el fin de dar algunos resultados como la estimación, predicción y variación.

Geofísica: Ciencia que estudia la tierra desde el punto de vista físico con ayuda de distintos métodos evaluando las características de los materiales geológicos.

Hidrogeología: Rama de la geología que estudia la geodinámica de las aguas superficiales y subterráneas, así como su prospección, captación y protección

Isoyetas: Mapa de líneas que une puntos con las mismas características en un plano cartográfico.

Kriging: Método geo estadístico de estimación donde se hacen predicciones o ponderaciones de puntos en el mismo contexto.

Pozo Exploratorio: Perforación vertical realizada en una coordenada específica con el fin de corroborar los datos obtenidos en las tomografías y poder extraer agua subterránea.

Resistividad: Es la resistencia que realiza los materiales para el paso de la corriente eléctrica. Cada material posee un valor determinado pero que puede variar dependiendo de su composición o saturación.

SIG: Sistema de información geografía donde mediante algunas herramientas permiten la manipulación de datos y su posterior interpretación.

Tomografía de Resistividad Eléctrica: Método geofísico utilizado para la exploración del subsuelo en superficie a partir de corriente eléctrica donde se obtienen valores de resistividades [Ohm*m] del material geológico y fluidos.

RESUMEN

El presente proyecto cuyo objetivo es caracterizar zonas potenciales para la captación de agua subterránea en el corregimiento de Puente Bomba, La Guajira, se presentó como un proyecto que pretende dar una solución a la problemática que presenta la región norte del caribe colombiano, algunas de las posibles causas de este problema son las condiciones climáticas, temperatura y precipitación, ya que a lo largo del año solo se presentan dos picos de lluvias (*ambiente bimodal*). A través de la integración de la geología, geomorfología, clima, temperatura y precipitación con las tomografías de resistividad eléctrica se espera contribuir en la disminución de la escasez del agua.

El proyecto contempla tres etapas: la primera de tipo organizacional, se construyó una base de datos (*GDB*) a partir de estaciones pluviométricas cerca al área de estudio y otra con los datos geofísicos.

La segunda etapa con la construcción del SIG en conjunto con todas las herramientas específicamente la de geo estadística (Kriging). La tercera y última etapa es la caracterización de dichas zonas potenciales.

PALABRAS CLAVES: Tomografías de resistividad eléctrica, base de datos, kriging, zonas potenciales acuíferas, precipitación.

ABSTRACT

The goal of this project is to find potential zones to take the underground water out in the small town of Puente Bomba, La Guajira. It is intended to solve the problematic that the region in the north colombian caribbean presents. Some possible causes of this problem are the weather conditions, the temperature and the precipitation since throughout the year there are only two rain periods (bimodal environment). Through the integration of Geology, Geomorphology, weather, temperature and precipitation with the tomography of electrical resistivity, they hope to contribute in the decrease of the scarce of water.

This project contemplates three stages: the first one is a organizational type. A database was built (GDB) from pluviometry stations around the area of study and another one with the geophysical data.

The second stage with the construction of the SIG along with all the tools specifically the Geostatistics (Kriging). The third and last one is the characterization of those potential zones.

KEYWORDS; Tomography of electrical resistivity, database, kriging, potential aquifer zones, precipitation.

1. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua en Colombia es un factor socioeconómico importante para muchas comunidades que no cuentan con el abastecimiento de este preciado líquido. Lo anterior es una de las características comunes que se presentan en el sector norte de la región Caribe, lo que hace que las comunidades se vean obligadas a buscar nuevas maneras de abastecimiento para poder desarrollarse.

Durante varios años se ha buscado estudiar el comportamiento de las aguas subterráneas, para el aprovechamiento y consumo humano; esto como medida urgente ante la escasez que se sufre en diferentes regiones del país.

Es por lo anterior que este trabajo se enfoca en buscar una solución mediante métodos de exploración geofísicos asociados con el estudio de los datos históricos de precipitaciones, que permita ayudar a dichas comunidades en lo que respecta a determinar zonas potenciales para la extracción de agua.

Para realizar una predicción de zonas que sirvan para la captación de agua se realizó la integración de datos de precipitación de las estaciones del departamento de la Guajira, con datos geofísicos, más específicamente tomados mediante Tomografías de Resistividad Eléctrica 2D suministrados por la empresa Subsoil Geophysics S.A.S. Estos datos geofísicos se correlacionaron con los materiales presentes en la zona, relacionándolos con valores de resistividades.

La tomografía de resistividad eléctrica 2D es un método geoeléctrico que investiga el subsuelo en longitud y profundidad caracterizando los materiales geológicos a partir de la resistencia que opone al paso de corriente (Resistividad) en ohm.m, estos rangos de valores están asociados a la geología característica del área de estudio.

Los acuíferos superficiales son cuerpos de agua que se recargan de aguas lluvias y/o escorrentía en los primeros 15 metros, por lo que los datos de precipitación permiten analizar en qué épocas del año se puede hacer uso máximo de estos acuíferos. Por esto para la zona de estudio se realizó la integración de los datos de precipitación con los datos geofísicos para los primeros 15 m de profundidad.

Dentro de la metodología empleada, se procedió a recolectar y analizar la información existente de la zona de estudio, para lo que se tuvo en cuenta las características geológicas y meteorológicas de la zona; así mismo se realizó la recopilación e integración de los datos geofísicos para la creación de la base de datos en conjunto con los datos de precipitación tenidos en cuenta para la construcción del SIG, permitiendo la predicción de las zonas potenciales para captación.

2. ÁREA PROBLEMÁTICA

En contexto general, Colombia es uno de los países dentro del continente que cuenta con más fuentes hídricas desde la parte superficial hasta la subterránea, es de anotar de igual manera que este recurso es uno de los que presenta mayor escasez para el suministro antrópico, principalmente en zonas donde se presenta con más intensidad el fenómeno del niño y zonas donde generalmente el estado poco interviene. Lo anterior genera todo tipo de problemáticas referentes al uso y aprovechamiento del recurso, como es el caso del Departamento de la Guajira donde el recurso como se nombra anteriormente escasea.

De acuerdo con la problemática que viene surgiendo en ciertas comunidades se hace necesario buscar técnicas y métodos que permitan identificar probables acuíferos que puedan ser explotados por la comunidad, para esto se han implementado estudios geofísicos donde se puede obtener información del subsuelo, que implican el conocimiento de los materiales geológicos presentes en la zona.

Con la recolección y análisis de los datos obtenidos mediante diferentes etapas y su correlación que permita estudiar el comportamiento de los acuíferos en el material determinado esto por los datos de tomografías y correlaciones meteorológicas, las comunidades pueden empezar a explotar dicho recurso que beneficiara entre otros, el uso doméstico, cultivos, ganadería y otros importante para el desarrollo de su comunidad. La zona de influencia del proyecto se encuentra ubicada en La Guajira, en el corregimiento de Puente Bomba, donde se crea la necesidad de realizar cultivos que permitan el desarrollo sostenible de la comunidad, para la cual es de gran importancia buscar el recurso hídrico, con el fin de realizar pozos de suministro.

De acuerdo con lo explicado anteriormente y ante la carencia a la que estas zonas se enfrentan en cuanto al recurso, es necesario conocer zonas donde posiblemente se pueda extraer el recurso, que permitan a las comunidades de alguna manera subsanar en mayor proporción esta carencia, de allí es de donde nacen preguntas: ¿Cómo identificar zonas potenciales para la explotación de agua subterránea en el sector? ¿Cómo es el comportamiento del fluido aunado a las condiciones meteorológicas del sector? ¿Qué profundidad y características tiene los fluidos que se analizan en la zona y a que profundidades podría encontrarse? e igualmente ¿para qué uso se puede emplear el recurso que se identifica?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar zonas potenciales de aguas subterráneas para la captación en el Corregimiento de Puente Bomba, La Guajira.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar información de antecedentes de la zona, consistentes en la caracterización geológica regional (1:100.000), estructural y geomorfológica del área de influencia a escala 1:5.000, variables meteorológicas como son clima, temperatura y precipitación.
- Recopilar e interpretar datos geofísicos (Tomografía de resistividad eléctrica) para la integración con los demás antecedentes.
- Generar una base de datos con la información geofísica y meteorológica para poder integrarla en un SIG.
- Construir un SIG a partir de los datos espaciales

4. GENERALIDADES

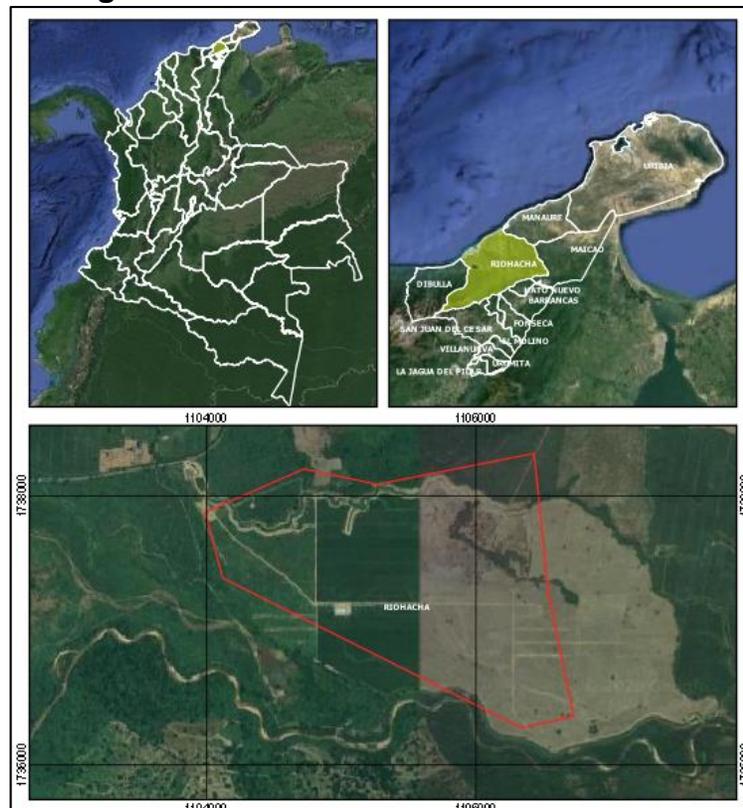
El presente estudio se encuentra localizado en el Corregimiento de Puente Bomba la Guajira, pretende realizar una caracterización aproximada por medio de una correlación de datos geofísicos e información de precipitación de zonas potenciales para capacidad de agua subterránea.

4.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el departamento de la Guajira, municipio de Riohacha en el Corregimiento de Puente Bomba. En este lugar se realizaron 5 tomografías, con el fin de determinar el potencial acuífero del sector.

A continuación, se muestra la ubicación de la zona de estudio:

Figura 1. Localización de la zona de estudio



Fuente: Google Earth - Propia.

5. JUSTIFICACIÓN

El problema que se ha venido generando en diferentes zonas del país respecto a la escasez en el recurso hídrico ha generado que se busquen técnicas y métodos que permitan la identificación del recurso a profundidad y que en base a estos se utilicen técnicas para su extracción, es así como nace esta iniciativa de proyecto mediante el cual se pretende dar solución a algunos problemas que aquejan a el corregimiento de puente bomba donde la comunidad ve necesaria la consecución del recurso para una mejor calidad de vida.

La determinación de zonas potenciales donde se encuentre el recurso es de vital importancia para las comunidades, ya que el suministro de agua escasea notablemente y es importante para el desarrollo de los individuos en las comunidades ya sea para el suministro de agua para uso personal o en sectores como la agricultura y ganadería, entre otros. La generación de este tipo de investigaciones va enfocado a la solución de problemas de comunidades donde a través de diferentes parámetros se evalúen las posibilidades de caracterizar el fluido para uso de las colectividades.

El análisis aquí desarrollado, tiene como finalidad el estudio de los posibles sitios donde se puede realizar extracción del agua para diferentes usos, esto determinado a partir de la correlación con los datos recopilados de tomografías en la zona e información secundaria correspondiente a datos meteorológicos y geológicos del área de influencia del proyecto. Es de anotar que dicho análisis es beneficioso para la comunidad puesto que se de determinarían posibles zonas potenciales para extraer el recurso hídrico, lo que se puede traducir en donde enfocar los estudios exploratorios que puedan adelantarse para la extracción, reduciendo trabajo y costos y a su vez aumentando la eficacia y eficiencia en el desarrollo de la extracción de pozos que permitan el suministro del agua.

El análisis y caracterización que se pretende desarrollar se realizara principalmente a través de técnicas geofísicas como son las Tomografías de resistividad eléctrica las cuales se enfocan en generar un perfil del subsuelo y con las que se pretende determinar las características del mismo y del agua, tales como resistividad, conducción, entre otras; es de destacar que dicha técnica será uno de los insumos principales y más importantes durante el desarrollo de este proyecto donde se pretende determinar posibles zonas potenciales para extraer el recurso en el Corregimiento de Puente Bomba, La Guajira.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio abarca la zona límite entre la Media y la Baja Guajira, la primera región abarca la mayor parte del área de estudio y presenta un relieve plano y ondulado, un poco menos árido que la región de la Alta Guajira; predomina el modelado de dunas y arenales [1]. La segunda región sobre los Montes de Oca y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta; es más húmeda, de tierras cultivables y alcanzando alturas cercanas a los 800 m, que corresponde a una zona montañosa moderadamente quebrada. Son extensas y llamativas las planicies semidesérticas y las dunas cerca al mar. La faja costera de La Guajira alterna con trayectos de costa acantilada y de costa rectilínea [1].

La estratigrafía del área comprende una gran variedad litológica cuyas rocas exhiben periodos que van desde el Neógeno hasta el reciente, cabe anotar que las unidades situadas al sur de la Falla de Oca y norte de la de Cuisa describen una edad Mesozoica, cuyas unidades son predominantemente marinas a marino marginales del Paleógeno – Neógeno en la cuenca propiamente de la Baja Guajira y al occidente de la Falla de Cerrejón. [1]

El rasgo estructural de mayor relevancia en el área corresponde a la Falla de Oca, estructura transcurrente con rechazo dextral cercano a los 100 kilómetros. El movimiento de la falla se ha deducido a partir del inicio de la sedimentación tanto en la cuenca de Falcón en Venezuela como en la Baja Guajira en Colombia hacia mediados del Oligoceno. [1]

Las altas anomalías registradas en la Serranía de Cosinas y la Sierra Nevada de Santa Marta se relacionan con una tectónica de carácter transtensivo, localizada entre las fallas de Cuisa y Oca, cuyo efecto origino una profunda depresión ocupada por varios miles de metros de sedimentos Neógenos. En general, se trata de un rasgo geomorfológico con escasas evidencias de alteración tectónica por lo menos desde el Plio – Pleistoceno. [1]

El Departamento de La Guajira donde se ubica el área de estudio, se encuentra surcado por una extensa red hidrográfica intermitente que fluye principalmente hacia el Mar Caribe. El curso de agua más importante es el Río Ranchería, que nace en la Sierra Nevada de Santa Marta y desemboca en el mar Caribe; recoge el agua de la parte norte de la Sierra Nevada de Santa Marta y parte de los cursos del sector noroccidental de la Serranía del Perijá. Otras corrientes de importancia nacen en esta serranía y corresponden principalmente a los ríos Majayura, Arroyo Montebello, y Carraipía, este último alimenta el acueducto del Municipio de Maicao.

En la zona plana, muchas de las corrientes son insuficientes y de curso temporal, las cuales corren en las temporadas de lluvias. Entre ellas están los ríos Ancho y Camarones. [1]

El clima del Departamento de La Guajira, es árido, seco y de temperaturas que varían entre 27 y 30 °C con máximas de hasta 45 °C, y las precipitaciones entre 500 y 1 000 mm, por lo que se clasifica como un clima medio subhúmedo.

En esta región del país el régimen de lluvias es de tipo bimodal, caracterizado por dos períodos de mayor precipitación (abril - junio y septiembre - noviembre) alternados con dos de menores lluvias (diciembre - marzo y julio - agosto). El segundo período de mayores lluvias es el de mayor peso relativo frente al total anual, con promedios hasta del 55% contra un 20% del primer período. Las épocas de menores lluvias aportan un 25% en promedio anual, pero en zonas como Bahía Honda y Uribía la contribución sólo llega al 5% anual. Lo anterior unido a las altas temperaturas y alta evapotranspiración favorece las condiciones de aridez que se presenta el área de estudio. [1]

6.2 TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (TRE)

TRE es una técnica de imágenes geofísicas que se utiliza para generar modelos 2D y 3D, o imágenes, de la distribución de resistividad en el subsuelo. Las metodologías de recolección y procesamiento de datos se describen ampliamente en la literatura, por lo que aquí solo se proporciona una breve descripción. [2]

El uso de TRE como una técnica de imagen de investigación se basa en las relaciones petrofísicas que vinculan la resistividad, los parámetros hidrogeológicos y geológicos. El grado de fracturamiento, la porosidad, la mineralogía, la saturación, la temperatura y la resistividad del agua subterránea afectan la resistividad de los materiales subsuperficiales, lo que proporciona la base para el uso de TRE para investigaciones geológicas e hidrogeológicas. [2]

La resistividad eléctrica es una función de las características texturales y estructurales y es particularmente sensible a su contenido de agua. Los suelos son de un medio poroso, compuesto de partículas sólidas no conductoras, pero contienen una solución de electrolitos que conduce la corriente eléctrica por el movimiento de los iones libres en la solución a granel, así como los iones adsorbidos en la superficie de la matriz. [3]

La TRE 2D es el método geofísico idóneo para investigar el subsuelo en longitud y profundidad a partir de valores de resistividades [ohmm*m] utilizando distintas

configuraciones para posteriormente interpretarlas y determinar las mejores zonas de captación de agua subterránea. Como todo método de exploración en superficie tiene un porcentaje de error, lo cual trata de ser lo menor posible para disminuir el porcentaje de fracaso.

Las mediciones de resistividad se realizan inyectando una corriente eléctrica controlada en el suelo a través de dos electrodos de acero y midiendo la caída potencial en otros dos electrodos. Un valor de resistividad aparente (ρ_a) se calcula teniendo en cuenta la intensidad de la corriente inyectada (I), la caída potencial medida (V) y un coeficiente geométrico (k) relacionado con la configuración del electrodo espacial, $\rho_a = k \cdot V / I$. Se pueden usar diferentes matrices de electrodos, como Wenner, Schlumberger, dipolo-dipolo, etc., para las inspecciones TRE. Para obtener una imagen subsuperficial de la resistividad eléctrica, los datos de resistividad eléctrica aparente medidos deben invertirse, mediante un software de inversión específico, para estimar los parámetros del modelo geológico, es decir, la resistividad eléctrica real y la geometría de la capa. [4].

La recarga de agua subterránea es una parte esencial de la circulación de agua subsuperficial y el inicio de los sistemas de flujo de agua subterránea que pueden variar en la duración de días a milenios. A nivel mundial, cada vez hay más evidencia que sugiere que muchos de los acuíferos de la Tierra contienen agua subterránea 'fósil' que se recargó hace más de 12,000 años, y una porción muy pequeña de agua subterránea que se recargó en el último 50 años. [5]

6.3 BASE DE DATOS Y SIG

Un sistema gestor de bases de datos (SGBD) consiste en una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a dichos datos. La colección de datos, normalmente denominada base de datos, contiene información relevante. El objetivo principal de un SGBD es proporcionar una forma de almacenar y recuperar la información de una base de datos de manera que sea tanto práctica como eficiente.

Los sistemas de bases de datos se diseñan para gestionar grandes cantidades de información. La gestión de los datos implica tanto la definición de estructuras para almacenar la información como la provisión de mecanismos para la manipulación de la información. Además, los sistemas de bases de datos deben garantizar la fiabilidad de la información almacenada, a pesar de las caídas del sistema o de los intentos de acceso no autorizados. [6]

Un sistema de bases de datos es una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas que permiten a los usuarios tener acceso a esos datos y

modificarlos. Una de las principales finalidades de los sistemas de bases de datos es ofrecer a los usuarios una visión *abstracta* de los datos. Es decir, el sistema oculta ciertos detalles del modo en que se almacenan y mantienen los datos. [6]

Los sistemas de bases de datos se diseñan para gestionar grandes cantidades de información. Esas grandes cantidades de información no existen aisladas. Forman parte del funcionamiento de alguna empresa, cuyo producto final puede que sea la información obtenida de la base de datos o algún dispositivo o servicio para el que la base de datos sólo desempeña un papel secundario. [6]

Básicamente, un SIG ha de permitir la realización las siguientes operaciones: Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.

Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) como sobre la componente temática (el valor o el elemento en sí).

Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc. En función de cuál de estos aspectos se valore como más importante, encontramos distintas definiciones formales del concepto de un SIG. Una definición clásica de SIG, es un elemento que permite «analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre». En palabras habituales, un SIG es un conjunto de *software* y *hardware* diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos». [7]

Si bien un SIG tiene una inherente naturaleza integradora y esta puede enfocarse desde muchos puntos de vista tal y como vemos en este apartado, el elemento tal vez más relevante en este sentido es la propia información que un SIG maneja y las características de esta. Conceptualmente, el verdadero pilar de esa naturaleza integradora del SIG reside en la información geográfica con la que se trabaja, que provee la amalgama adecuada para que un SIG sea un sistema sólido y cohesionado, confiriéndole a su vez sus propias características y su interés como herramienta polivalente. [7]

Comprender la información geográfica es vital para poder capturar dicha información e incorporarla a un SIG. En líneas generales, podemos dividir está en dos componentes principales, cada una de los cuales tiene su implicación particular en los procesos posteriores de representación.

La componente espacial hace referencia a la posición dentro de un sistema de referencia establecido. Esta componente es la que hace que la información pueda calificarse como geográfica, ya que sin ella no se tiene una localización, y por tanto

el marco geográfico no existe. La componente espacial responde a la pregunta ¿dónde? Por su parte, la componente temática responde a la pregunta ¿qué? y va invariablemente unida a la anterior. En la localización establecida por la componente espacial, tiene lugar algún proceso o aparece algún fenómeno dado. La naturaleza de dicho fenómeno y sus características particulares, quedan establecidas por la componente temática. [7]

6.4 ESTADÍSTICA ESPACIAL

Estadística espacial es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos puntos del espacio de una región. Se subdivide en tres grandes áreas como la estadística, lattices y patrones espaciales. La pertinencia de cada una de ellas está asociada a las características del conjunto de índices del proceso estocástico de interés (fijo o aleatorio). [8]

La geoestadística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales. Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos. Esta herramienta ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales. Cuando el objetivo es hacer predicción opera básicamente en dos etapas. La primera es el análisis estructural y la segunda la predicción en áreas no muestreadas por medio de la técnica kriging. Kriging es el conjunto de métodos de predicción espacial que fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción. [8]

6.5 AGUA SUBTERRÁNEA EN EL MUNDO

El 70% del globo terráqueo está cubierto por agua de la cual solo el 2.5 % es agua dulce y el 97.5 % restante es agua salada. De este 2.5% casi el 70% está congelada en los glaciares o yace en profundas capas acuíferas subterráneas. Menos del 1% de los recursos hídricos del mundo están disponibles para el consumo, 17% es para cultivos alimentos con distintos sistemas de riegos. [9]

Las zonas áridas y semiáridas del planeta constituyen el 40% de la masa terrestre y disponen solo del 2% de la precipitación mundial, la agricultura por irrigación consume aproximadamente el 70% del agua y casi un 90% en regiones áridas. En África, Asia, América latina y el caribe el acceso al agua aumento de 72 a 78% de la población total. El límite de extraer agua dulce de la superficie se está alcanzando debido a la falta de precipitaciones y la alta evaporación. [9]

Las aguas subterráneas constituyen el 97% del agua dulce terrestre frente al 0.015% del agua superficial embalsable. El 33% de la población mundial, sobretodo la rural depende de ella, pero está amenazada por contaminación de los acuíferos y por la mala utilización de los pozos que provoca descensos en el nivel freático.

En la región de Sudamérica está el acuífero de Guaraní que es el tercer más grande reservorio de agua subterránea del mundo, se estima 37.000 km³ hasta 45.000 km³ de volumen de agua contenida, la capacidad de explotación es enorme casi llegando al unto de poder abastecer 4 veces las necesidades de Argentina. [9]

En Colombia existen diversos acuíferos regionales de gran importancia en cuanto a su reservorio y explotabilidad; pero en la región caribe más específicamente en La Guajira existen acuíferos locales profundos característicos de climas áridos a semiáridos donde la principal fuente de recarga es la Sierra nevada de Santa Marta ya que los bajos índices de precipitación anual y alto índice de evaporación no da buenas fuentes de recarga superficial. En la baja Guajira la explotación de los acuíferos principalmente esta dirigidos al riego de cultivos de palma y banano; por otro lado, en el área socioeconómico los acuíferos no son muy explotables para las comunidades de bajos recursos.

6.6 MARCO LEGAL

En el marco legal de Colombia para la concesión y extracción de agua subterránea se encuentran la normatividad que rige la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales partir de los siguientes decretos:

- **Decreto-Ley 2811 de 1974:** “Por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente”.
- **Decreto 1594 de 1984:** “Por el cual se reglamenta parcialmente el título 1 de la ley novena de 1979, así como el capítulo 2 del título 5-parte –libro 2 y del título 3 de la parte 3-libro 1- del decreto ley 2811 de 1974 en cuanto a uso del agua y recursos líquidos”.
- **Ley 373 de 1997:** “Por el cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua”.
- **Decreto 1575 de 2007:** “Por lo cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano”.

- **Decreto 1640 de 2012:** “Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuífero, y se dictan otras disposiciones. [10].

7. METODOLOGÍA

7.1 TIPO DE TRABAJO

Las actividades que se ejecutaran para realizar el análisis de aguas subterráneas para determinar zonas potenciales de captación para consumo humano y riego teniendo en cuenta variables meteorológicas y datos geofísicos en el Corregimiento de Puente Bomba, La Guajira; se dividen en diferentes etapas, que consisten principalmente en la recopilación de la información existente, el análisis de la misma, la recopilación e integración de los datos geofísicos, la base de datos para integración al SIG y la construcción del SIG a partir de los datos espaciales.

7.2 PROCEDIMIENTO

7.2.1 Recopilación y análisis de información existente del área de estudio

Contempla la identificación, adquisición, evaluación, análisis y procesamiento de la información existente de la zona de influencia del proyecto, con lo cual se pretende generar un marco conceptual de los diferentes datos necesarios para la elaboración del informe, la información a analizar consiste entre otras en:

- Cartografía Geológica y geomorfológica existente en la zona de influencia tomada del Servicio Geológico Colombiano.
- Memoria explicativa de planchas geológicas y geomorfológicas
- Propuestas metodológicas para cartografías del Servicio Geológico Colombiano
- Datos de precipitación, temperatura, humedad del aire, clima en la zona de estudio tomada del IDEAM.
- Información de Entidades locales tales como Alcaldía, sobre el uso del territorio, amenazas geológicas.
- Estudios hidrogeológicos en el área de influencia del proyecto.

Lo anterior con la finalidad de desarrollar el estudio análisis de aguas en el sector.

7.2.2 La recopilación e integración de los datos geofísicos

Contempla la evaluación, análisis, procesamiento de la información obtenida de datos de perfiles del subsuelo mediante métodos geofísicos indirectos, que permiten conocer la estratigrafía general de la zona de estudio, la presencia de fluido y sus características, tomados de estudios de Tomografías realizados por la empresa Subsoil Geophysics, con la finalidad de integrarlos con los datos meteorológicos y estratigráficos del sector.

7.2.3 Base de datos para la integración SIG

A partir de la información recolectada, analizada y procesada, se empieza con la generación de bases de datos que alimenten el SIG, las cuales serán principalmente los datos geofísicos, los cuales permitirán determinar profundidades y características de fluido; y datos meteorológicos con los cuales se relacionaran los datos geofísicos para así realizar el análisis de las zonas con potencial hídrico para captación.

7.2.4 Construcción del SIG a partir de los datos espaciales

Construcción de mapas que permitan evidenciar las diferentes variables que implican un análisis de variables meteorológicas, geológicas y datos geofísicos con la finalidad de determinar posibles áreas de captación.

Dichos mapas y modelos serán soportados con la información correspondiente, y se realizarán en Software como ArcGIS, AutoCAD, Qgis entre otras extensiones.

La recopilación y/o sumatoria de estos mapas permitirán determinar las posibles zonas para captación de agua, las características de los materiales y su relación con el agua, datos meteorológicos, entre otras variables.

Contempla la evaluación, análisis, procesamiento de la información obtenida de datos de perfiles del subsuelo mediante métodos geofísicos indirectos, que permiten conocer la estratigrafía general de la zona de estudio, la presencia de fluido y sus características, tomados de estudios de Tomografías realizados por la empresa Subsoil Geophysics, con la finalidad de integrarlos con los datos meteorológicos y estratigráficos del sector.

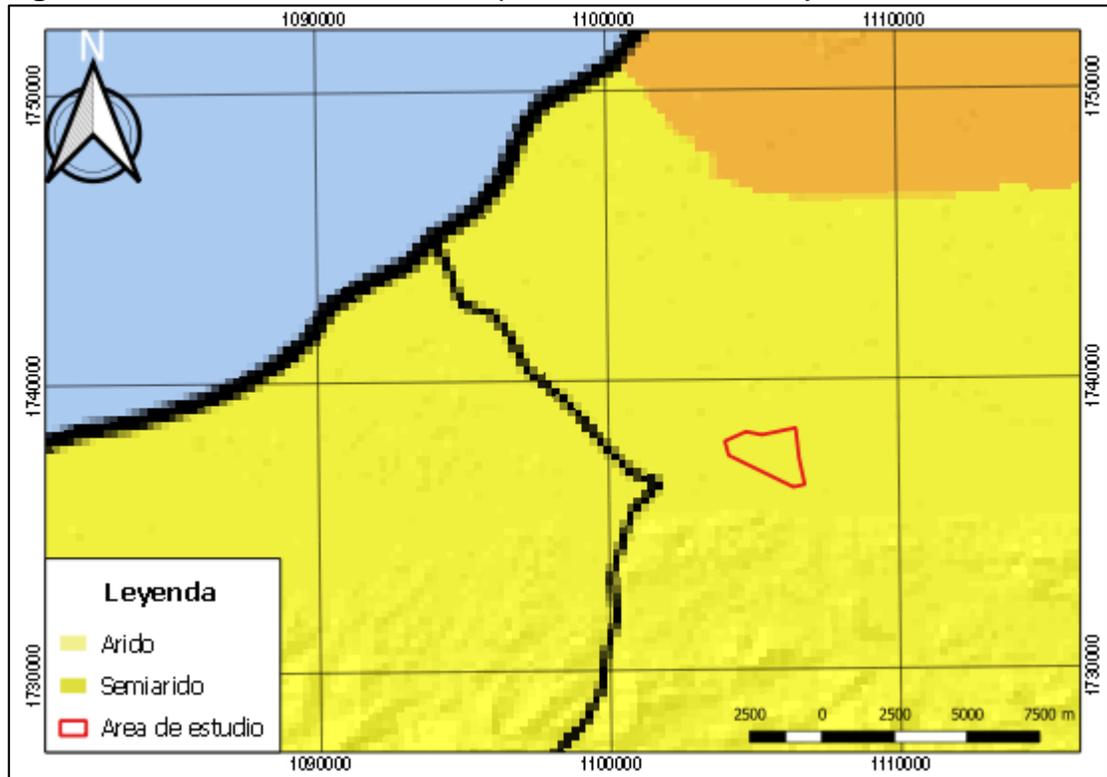
8. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE ESTUDIO DE ANTECEDENTES

A continuación, se hace una relación de los antecedentes más relevantes de la zona objeto de estudio, los cuales son tenidos en cuenta en el análisis de la información:

8.1 CLIMA

La región de la Guajira se caracteriza por presentar un clima árido y desértico, lo anterior debido a su ubicación a nivel del mar; según registros obtenidos por el IDEAM presenta temperaturas anuales promedio desde 26°C. Para el caso puntual del Corregimiento de Puente Bomba se presentan temperaturas anuales promedio de 26 a 28°C. En cuanto a la precipitación es uno de los departamentos del país donde se registra menos precipitaciones, su régimen de lluvias es bimodal. [11]

Figura 2. Clasificación climática departamento de la Guajira – Zona de Estudio



Fuente: IDEAM [11].

8.2 PRECIPITACIÓN

Presenta el menor registro de lluvias en lo que corresponde a todo al país. En el departamento las lluvias varían de 0 a 2500mm anuales. Se presenta un régimen bimodal el cual durante los primeros cuatro meses del año se presenta temporada seca, los siguientes meses se presentan lluvias con volúmenes moderados. [11]

En la zona objeto de estudio se presenta un valor anual de precipitación de los últimos cuatro años entre 0 a 10.6mm promedio mensual.

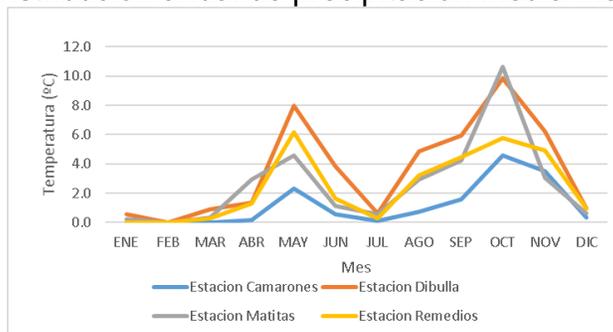
En la **Tabla 1** se presentan las precipitaciones medias acumuladas mensuales de los últimos 4 año para las diferentes estaciones estudiadas. Se muestran los valores medios, máximos y mínimos para cada estación.

Tabla 1. Precipitación media mensual multianual (mm).

Estación	Valores	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Estación Camarones	Máximos	0.0	0.0	0.0	5.0	24.7	10.5	3.7	16.8	25.2	30.2	34.6	12.0
	Mínimos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Promedios	0.0	0.0	0.0	0.2	2.3	0.6	0.1	0.7	1.6	4.6	3.5	0.4
Estación Dibulla	Máximos	9.2	0.5	10.8	25.8	88.0	37.6	6.0	54.0	51.5	68.4	71.6	19.2
	Mínimos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Promedios	0.6	0.0	0.9	1.4	8.0	3.9	0.6	4.9	5.9	9.8	6.2	0.9
Estación Matitas	Máximos	5.3	0.1	6.1	26.5	38.3	19.9	11.2	40.2	33.6	86.0	35.7	9.7
	Mínimos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Promedios	0.2	0.0	0.3	2.9	4.6	1.1	0.6	3.0	4.2	10.6	3.1	0.6
Estación Remedios	Máximos	2.5	0.0	3.3	19.0	47.7	28.0	8.0	46.0	45.8	69.4	64.0	13.0
	Mínimos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Promedios	0.0	0.0	0.3	1.3	6.2	1.6	0.3	3.2	4.5	5.8	4.9	0.9

Fuente: IDEAM [11].

Figura 3. Distribución anual de precipitación media mensual (mm).



Fuente: IDEAM [11].

8.3 TEMPERATURA

En el departamento de la Guajira se presentan temperaturas medias que superan los 28°C, de igual manera se presentan temperaturas bajas menores a 8°C.

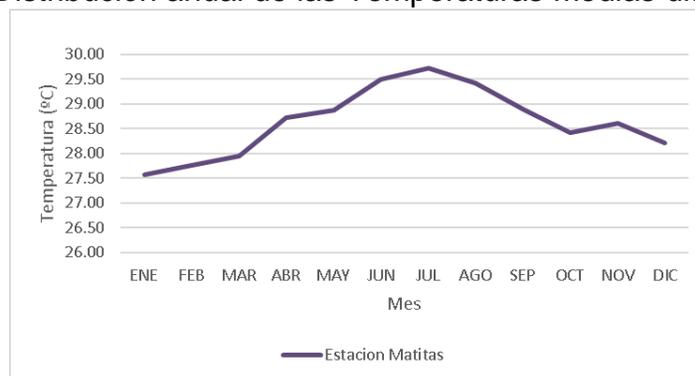
En el área objeto de estudio la temperatura media anual durante los últimos cuatro años se ha presentado entre 27.6 a 29.7°C.

Tabla 2. Temperatura media anual (°C)

Estación	Valores	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VALOR ANUAL (últimos 4 años)
Estación Matitas	Máximos	34.6	34.8	34.6	36.2	34.6	35.2	35.8	35.8	35.2	35.6	34.6	34.8	35.2
	Mínimos	17.8	17.4	17.4	21.2	22.6	23.6	22.6	22.6	22.2	20.8	18.6	18.4	20.4
	Medios	27.6	27.8	28.0	28.7	28.9	29.5	29.7	29.4	28.9	28.4	28.6	28.2	28.6

Fuente: IDEAM [11].

Figura 4. Distribución anual de las Temperaturas medias últimos 4 años



Fuente: IDEAM [11].

8.4 MARCO GEOLÓGICO Y GEOLOGÍA REGIONAL

El área de influencia del proyecto se sitúa geológicamente en la plancha 13 (Dibulla), la que se encuentra ubicada en la región natural de la baja Guajira, esta zona es predominante por encontrar ambientes de deformación diversos.

En la zona de influencia del área de estudio, se encuentran principalmente dos unidades de origen sedimentario, con edad cenozoica. El ambiente de estas unidades es marino poco profundo. [1]

8.4.2 Neógeno

- **Formación Monguí (N1m)**

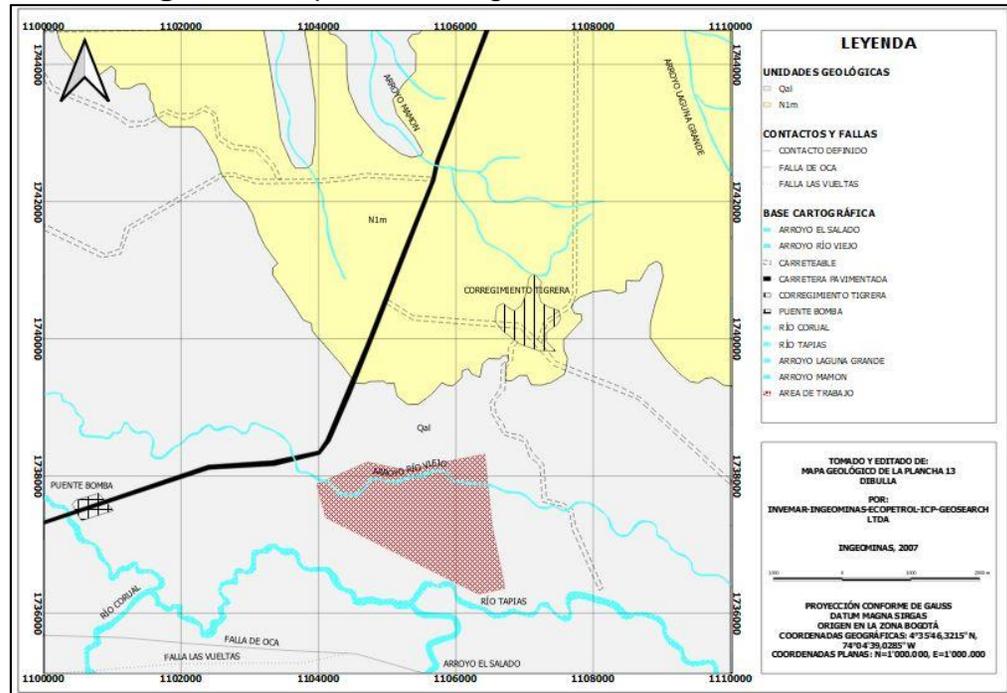
Consta de depósitos conglomeráticos de guijarros y cantos, subredondeados, en su mayoría de rocas volcánicas porfiríticas y con estratificación lenticular, intercalados con lodolitas arenosas, además en algunos sectores se observan conglomerados con fragmentos de guijarros a cantos polimícticos conformados por arenitas cuarzosas, lodolitas, chert, cuarzo lechoso y rocas volcánicas (dacitas), la matriz es de arena gruesa a grava. la Formación Monguí se depositó en un ambiente marino poco profundo donde prevalecieron condiciones de playa durante gran parte del intervalo, teoría concordante con lo propuesto por Tschanz et. al (1969 en INGEOMINAS –ECOPETROL – ICP – INVEMAR, 2007), los cuales reportan que las capas del Mioceno superior y Plioceno encontradas en los pozos Perico y Ranchería corresponden a sedimentos finos de origen marino. [1]

8.4.3 Cuaternario

- **Depósitos Aluviales Recientes (Qal)**

los depósitos aluviales recientes describen una morfología plana, compuestos principalmente por arenas con tamaño de grano arena fina y arcillas de color pardo amarillento, localmente se encuentran suprayacidos por clastos sueltos (no hay presencia de matriz) de rocas silíceas predominantemente, los cuales son transportados por la corriente y dispuestos de manera aleatoria. Esta unidad corresponde a depósitos semiconsolidados a no consolidados de origen marino, aluvial y localmente con aporte eólico, constituido por gravas, arenas y arcillas en proporciones variables de acuerdo con la distancia a la fuente de transporte; cubren áreas extensas en las zonas planas y deprimidas. [1]

Figura 5. Mapa de Geología de la Plancha 13 Dibulla.



Fuente: INGEOMINAS. [12]

8.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

En el área de influencia del proyecto se encuentra un sistema de fallas, las cuales corresponden al sistema de fallas del cinturón de Oca y otras que no se encuentran descritas en la literatura oficial. [1]

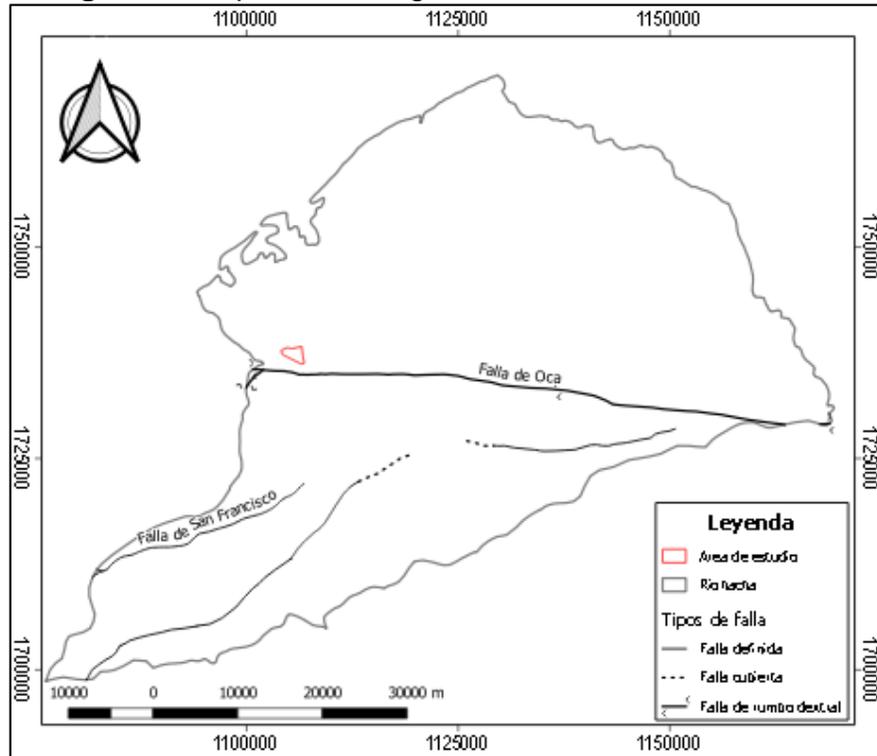
8.5.1 Falla de Oca

Las diferentes estructuras que conforman este sistema de fallas presentan una dirección E-W y una componente vertical esencialmente inversa, generando pliegues oblicuos en el Sistema de Fallas de Oca. [1]

8.5.1 Falla Las Vueltas

Posee un rumbo aproximado de N70E, las evidencias encontradas sugieren un movimiento dextral. [1]

Figura 6. Mapa de Geología Estructural zona de estudio



Fuente: INGEOMINAS. [1]

8.1 CLASIFICACIÓN SÍSMICA

De acuerdo a la clasificación de amenaza descrita en la norma colombiana de sismo resistencia, para el área de influencia del proyecto se tiene una zona de amenaza sísmica intermedia.

9 ESTUDIOS DE CAMPO

Para el desarrollo de este trabajo se realizaron visitas de campo con el fin de determinar características geológicas del sector, así como la realización de las Tomografías base, las cuales fueron realizadas por la empresa Subsoil Geophysics S.A.S.

9.1 GEOLOGÍA LOCAL.

La zona objeto de estudio se encuentra conformada en su mayoría por material sedimentario de edad Cenozoicas de origen marino y fluvial, este material se encuentra presente a lo largo de la zona de interés.

En los sectores donde se realizó la exploración para determinar la litología, se encontró en su mayoría intercalaciones de arcillas y arena cuarzosa de tamaño de grano fino a medio con predominancia de arenas, correspondiente a los depósitos aluviales de edad cuaternaria.

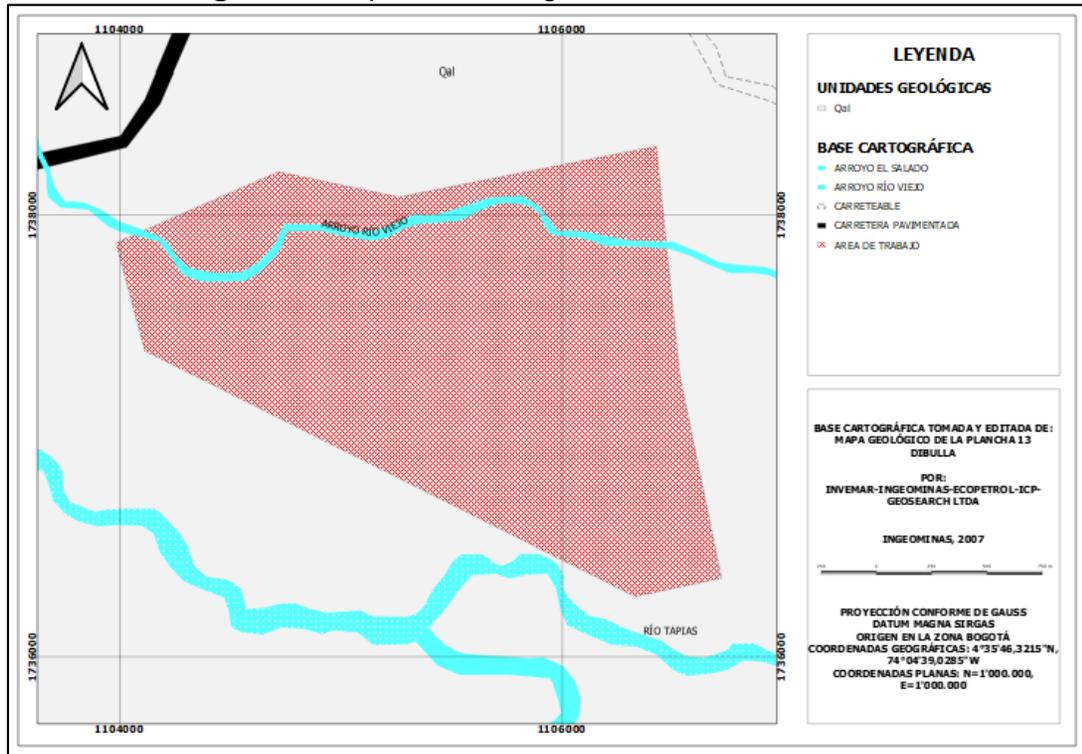
9.1.2 Unidades de suelo.

De acuerdo a lo evidenciado en los recorridos de campo y en la información recolectada de la exploración, se tiene que en el sector predominan las unidades de suelo, dentro de las cuales se encuentran:

- **Depósitos Aluviales Recientes (Qal)**

Corresponde a arena de tamaño de grano grueso, color amarillo a crema, en algunos casos con lentes de arcilla, intercalada con arcilla gris a amarillenta con algunos cantos, en general el material se presenta humedad alta.

Figura 7. Mapa de Geología Local zona de estudio.



Fuente: Propia.

9.2 GEOMORFOLOGÍA.

Durante los recorridos de campo y de acuerdo a la información recolectada de la zona se tiene geformas asociadas a un ambiente morfogenético fluvial asociado a planicies aluviales.

9.2.2 Ambiente Fluvial.

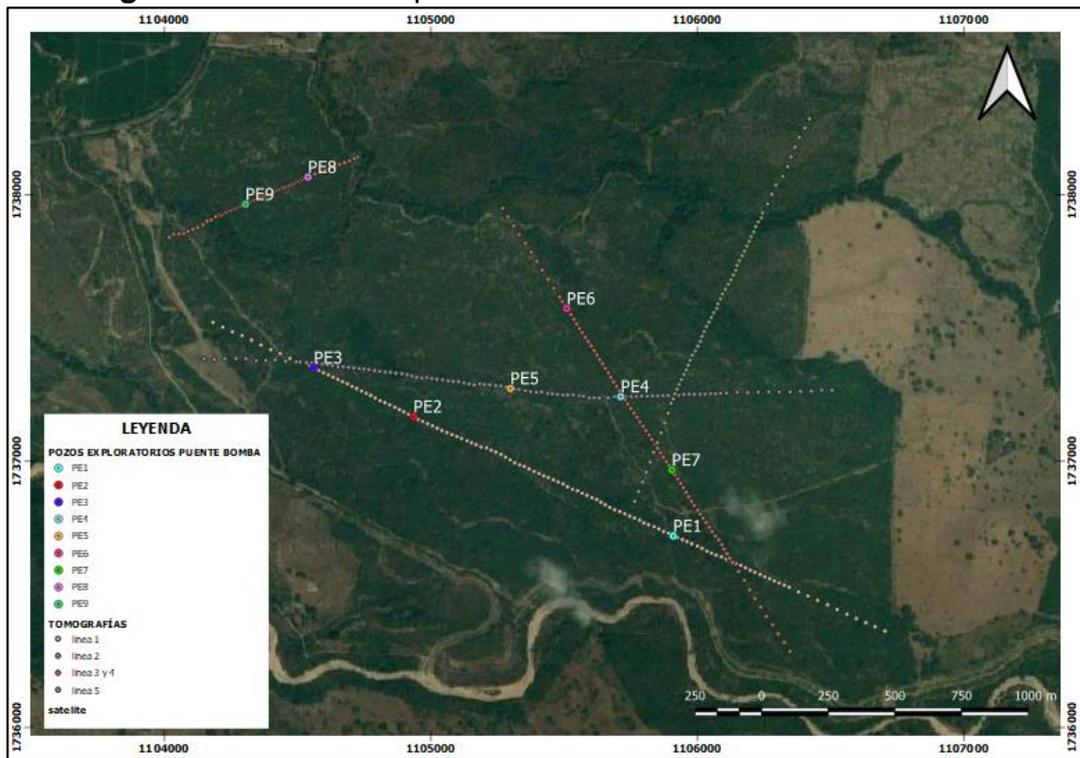
- **Planicies aluviales (Fpa)**

Se caracterizan por ser superficies planas o poco inclinadas, su origen está relacionado a la depositación fluvial continua o torrencial [1]. Se encuentra asociada en la zona de estudios a depósitos aluviales recientes, correspondientes a intercalaciones de arena y arcilla.

9.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.

La exploración del suelo realizada en la zona de interés consistió en la realización de tomografías de resistividad eléctrica 2D y perforaciones. En la **Figura 8** se presenta ubicación de la exploración realizada en la zona.

Figura 8. Ubicación exploración realizada en la zona de estudio.

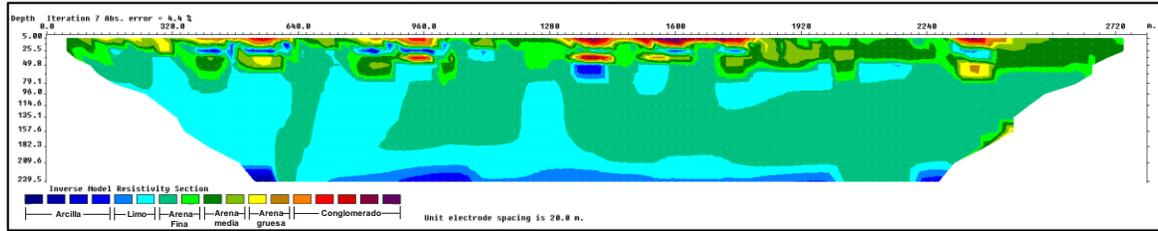


Fuente: Propia.

9.1.1 TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D

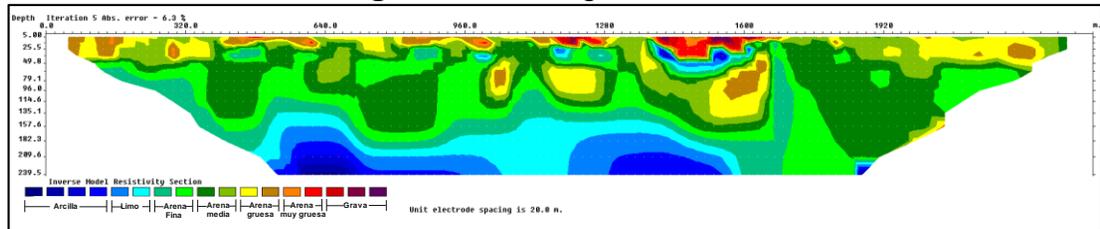
En el área de estudio se realizaron 5 TRE 2D en total donde se observó el material geológico del subsuelo. En las siguientes figuras se presenta los perfiles arrojados por las tomografías en los diferentes sectores en que fueron realizadas.

Figura 9. Tomografía TRE 1.



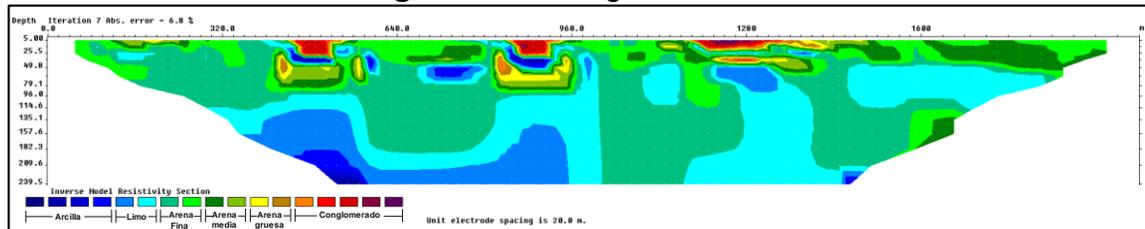
Fuente: Propia.

Figura 10. Tomografía TRE 2.



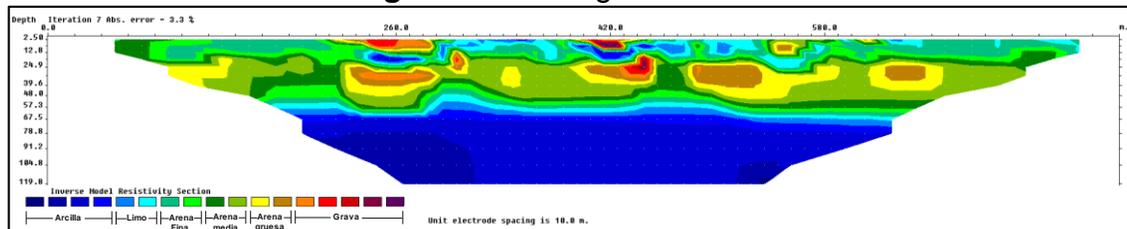
Fuente: Propia.

Figura 11. Tomografía TRE 3.



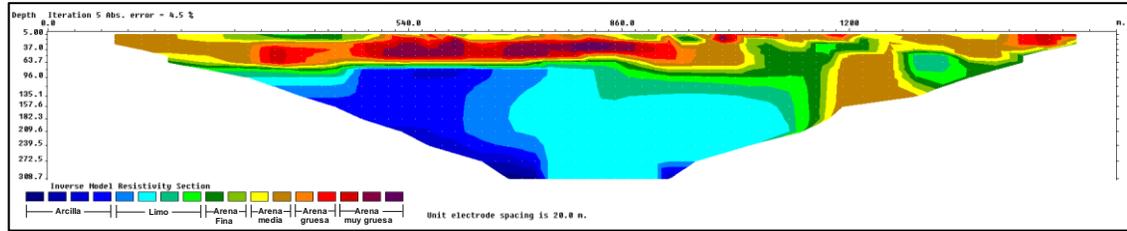
Fuente: Propia.

Figura 12. Tomografía TRE 4.



Fuente: Propia.

Figura 13. Tomografía TRE 5.



Fuente: Propia.

En la **Tabla 3** se muestra el resumen de las tomografías, tales como, coordenadas, longitud y profundidad de investigación.

Tabla 3. Principales características de las tomografías realizadas

TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D				
Línea	Profundidad de investigación [m]	X	Y	Longitud [m]
TRE 1	239.5	1104180.04	1737521.34	2800
TRE 2	239.5	1104145.97	1737384.71	2400
TRE 3	239.5	1106345.74	1736285.61	2000
TRE 4	119.8	1104722.72	1738142.1	800
TRE 5	308.7	1105762.89	1736848.91	1600

Fuente: Propia.

9.1.2 PERFORACIONES

En el área de estudio se realizaron 9 perforaciones exploratorias a partir de los datos obtenidos con la tomografía de resistividad eléctrica 2D que corrobora los resultados geofísicos. En la **Tabla 4** se presenta las características principales relacionada con el material geológico principal obtenido en cada pozo.

Tabla 4. Características principales pozos exploratorios.

POZOS EXPLORATORIOS PUENTE BOMBA			
Nombre	X	Y	Descripción
PE 1	1105907.13	1736719.07	Para todos los pozos se encontró material geológico tipo arcilla intercalada con arena cuarzosa de tamaño de grano fino a media con
PE 2	1104932.2	1737167.3	
PE 3	1104558.48	1737350.78	
PE 4	1105710.05	1737242.39	
PE 5	1105295.87	1737272.98	
PE 6	1105507.53	1737573.31	
PE 7	1105902.07	1736967.05	

POZOS EXPLORATORIOS PUENTE BOMBA			
Nombre	X	Y	Descripción
PE 8	1104536.43	1738066.74	predominancia de la arena.
PE 9	1104301.97	1737964.87	

Fuente: Propia.

10 RECOPIACIÓN E INTEGRACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS

A partir de las cinco (5) tomografías de resistividad eléctrica 2D y sus valores de resistividad se recopilaron e integraron para correlacionarlos con su respectivo material geológico, color y profundidad como se muestra a continuación:

Con la información recolectada de las tomografías, se realizó un procesamiento de datos para la consecución final de la base de datos que se presenta en el capítulo 11.

En la **Figura 14** se realizó la recopilación de los diferentes resultados arrojados por las TRE, los cuales fueron organizados más adelante para la base de datos que será correlacionada con los datos de precipitaciones obtenidos del IDEAM. En la **Tabla 5**, **Tabla 6**, **Tabla 7**, **Tabla 8** y **Tabla 9** integra y relaciona los datos geofísicos con la litología presente en la zona, lo anterior permite a través del tipo de materiales definir como es el comportamiento de los acuíferos.

Figura 14. Recopilación de los datos geofísicos de las TRE

Corregimiento Puente Bomba, La Guajira profundidad de 0 a 15 metros TRE 1				Corregimiento Puente Bomba, La Guajira profundidad de 15 a 30 metros				Corregimiento Puente Bomba, La Guajira profundidad de 30 a 45 metros			
id	Coord_X	Coord_Y	Valor resistividad [ohm*m]	id	Coord_X	Coord_Y	Valor resistividad [ohm*m]	id	Coord_X	Coord_Y	Valor resistividad [ohm*m]
1	1104180.04	1737521.34	35.7	1	1104180.04	1737521.34	18.9	1	1104180.04	1737521.34	18.9
2	1104216.35	1737503.32	35.7	2	1104216.35	1737503.32	18.9	2	1104216.35	1737503.32	18.9
3	1104252.23	1737486.29	35.7	3	1104252.23	1737486.29	18.9	3	1104252.23	1737486.29	18.9
4	1104288.97	1737471.58	35.7	4	1104288.97	1737471.58	18.9	4	1104288.97	1737471.58	18.9
5	1104324.52	1737454.33	35.7	5	1104324.52	1737454.33	18.9	5	1104324.52	1737454.33	18.9
6	1104360.07	1737436.41	35.7	6	1104360.07	1737436.41	18.9	6	1104360.07	1737436.41	18.9
7	1104396.38	1737418.72	35.7	7	1104396.38	1737418.72	18.9	7	1104396.38	1737418.72	18.9
8	1104432.36	1737404.12	67.5	8	1104432.36	1737404.12	18.9	8	1104432.36	1737404.12	10.0
9	1104468.78	1737386.21	35.7	9	1104468.78	1737386.21	18.9	9	1104468.78	1737386.21	10.0
10	1104503.88	1737372.71	35.7	10	1104503.88	1737372.71	18.9	10	1104503.88	1737372.71	5.29
11	1104540.72	1737360.22	67.5	11	1104540.72	1737360.22	5.29	11	1104540.72	1737360.22	5.29
12	1104558.34	1737350.65	67.5	12	1104558.34	1737350.65	5.29	12	1104558.34	1737350.65	5.29
13	1104576.49	1737340.98	67.5	13	1104576.49	1737340.98	5.29	13	1104576.49	1737340.98	5.29
14	1104594.32	1737332.30	67.5	14	1104594.32	1737332.30	5.29	14	1104594.32	1737332.30	5.29
15	1104612.81	1737323.95	67.5	15	1104612.81	1737323.95	5.29	15	1104612.81	1737323.95	5.29
16	1104630.53	1737315.60	67.5	16	1104630.53	1737315.60	5.29	16	1104630.53	1737315.60	5.29
17	1104648.46	1737307.14	67.5	17	1104648.46	1737307.14	5.29	17	1104648.46	1737307.14	5.29
18	1104665.96	1737298.79	127	18	1104665.96	1737298.79	5.29	18	1104665.96	1737298.79	5.29
19	1104684.01	1737290.88	127	19	1104684.01	1737290.88	5.29	19	1104684.01	1737290.88	5.29
20	1104701.08	1737280.87	127	20	1104701.08	1737280.87	5.29	20	1104701.08	1737280.87	5.29

Fuente: Propia.

Tabla 5. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #1

ANÁLISIS GEOLOGICO PROMEDIO TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D #1	
Profundidad	Material Geológico
0-15	Arena fina a media amarilla intercalada con arcilla amarilla
15-30	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
30-45	Arena fina a media amarilla intercalada con arcilla gris zonificada en ciertos puntos.
45-60	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla

60-75	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
75-90	Arena fina blanca intercalada con arcilla gris
90-105	Arena fina amarilla intercalada con arcilla gris
105-150	Arcilla gris intercalada con arena amarilla
150-195	Arcilla gris intercalada con arena amarilla
195-240	Arcilla gris

Fuente: Propia.

Tabla 6. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #2

ANÁLISIS GEOLÓGICO PROMEDIO TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D #2	
Profundidad	Material Geológico
0-15	Arena fina a media amarilla intercalada con arcilla amarilla
15-30	Arena fina blanca intercalada con arcilla gris
30-45	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
45-60	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
60-75	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina a media amarilla
75-90	Arena fina blanca intercalada con arcilla gris
90-105	Arena fina amarilla intercalada con arcilla gris
105-150	Arcilla gris intercalada con arena amarilla
150-195	Arcilla gris
195-240	Arcilla gris

Fuente: Propia.

Tabla 7. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #3

ANÁLISIS GEOLÓGICO PROMEDIO TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D #3	
Profundidad	Material Geológico
0-15	Arena fina amarilla intercalada con arcilla amarilla
15-30	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
30-45	Arena fina amarilla intercalada con arcilla amarilla
45-60	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
60-75	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
75-90	Arena fina blanca intercalada con arcilla gris
90-105	Arena fina amarilla intercalada con arcilla gris
105-150	Arcilla gris intercalada con arena amarilla
150-195	Arcilla gris
195-240	Arcilla gris

Fuente: Propia.

Tabla 8. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #4

ANÁLISIS GEOLÓGICO PROMEDIO TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D #4	
Profundidad	Material Geológico
0-15	Arena fina a media amarilla intercalada con arcilla amarilla
15-30	Arena media amarilla intercalada con arcilla amarilla
30-45	Arena fina a media amarilla intercalada con arcilla amarilla
45-60	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
60-75	Arcilla gris intercalada con arena amarilla
75-90	Arcilla gris intercalada con arena amarilla
90-105	Arcilla gris
105-150	Arcilla gris
150-195	Arcilla gris
195-240	Arcilla gris

Fuente: Propia.

Tabla 9. Análisis geológico promedio tomografía de resistividad eléctrica 2D #5

ANÁLISIS GEOLÓGICO PROMEDIO TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA 2D #5	
Profundidad	Material Geológico
0-15	Arena fina amarilla intercalada con arcilla amarilla
15-30	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
30-45	Arena fina amarilla intercalada con arcilla amarilla
45-60	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
60-75	Arcilla amarilla intercalada con Arena fina amarilla
75-90	Arena fina blanca intercalada con arcilla gris
90-105	Arena fina amarilla intercalada con arcilla gris
105-150	Arcilla gris intercalada con arena amarilla
150-195	Arcilla gris
195-240	Arcilla gris

Fuente: Propia.

Las descripciones en las tablas anteriores están asociados a los valores promedios de resistividades [ohm*m] en las distintas profundidades, en el siguiente capítulo se observarán los datos completos punto a punto de cada TRE.

11 BASE DE DATOS PARA LA INTEGRACIÓN SIG

Se realizó el procesamiento de los datos para la integración del SIG, tal y como se describe a continuación:

- 1) Después de recopilados los datos de precipitación obtenidos del IDEAM, se procedió a organizar la información según lo que es necesario para la integración; esto es, se procesa la información partiendo de los promedios mensuales de precipitación mensual de los últimos 4 años (2014-2019) y un promedio de 30 años para estaciones que se encuentran en la Guajira, esto debido a que se tenía información deficiente respecto de las estaciones de los últimos 4 años, es decir las estaciones no permitían realizar una interpolación de las precipitaciones en la zona objeto de estudio; por lo antes expuesto se tomó como complemento la información de precipitaciones de las estaciones del Departamento de la Guajira.. En la **Figura 15** se muestra los datos obtenidos del IDEAM.

- 2) Se creó una base de datos que contiene las estaciones, coordenadas, precipitación promedio mensual y precipitación promedio de los últimos cuatro años, de igual manera se realizó para los datos tomados de todas las estaciones pluviométricas de la Guajira referente a 30 años, este último fue la base para realizar el procesamiento de la información, es decir es el valor principal para la salida digital que contiene el análisis de la precipitación en la zona de estudio. En la **Figura 16** se muestra la tabla de resultados obtenida después de realizado el procesamiento de los datos del IDEAM.

Figura 15. Datos obtenidos del IDEAM (Estación Remedios)

CodigoEstaci	NombreEsta	Latitud	Longitud	Altitud	IdParametro	Etiqueta	Descripcion	Frecuencia	Fecha	Valor	Grado	Calificador	NivelAprobacion
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	1/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	2/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	3/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	4/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	5/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	6/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	7/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	8/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	9/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	10/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	11/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	12/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	13/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	14/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	15/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	16/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	17/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	18/01/2014 0:00	0			900
15060010	REMEDIOS LC	11.3817778	-72.9135	10	PRECIPITACION	PTPM_CON	Día pluviométrica	Diaria	19/01/2014 0:00	0			900

Fuente: IDEAM.

Figura 16. Procesamiento y base de datos para el SIG.

codigo	nombre	categoria	departamento	municipio	corriente	Lat	Long	altitud	eteprec30a	febprec30a	marprec30a	abrprec30a	mayprec30a	junprec30a	julprec30a	agoprec30a	sepprec30a	octprec30a	novprec30a	diprec30a	totalprec30a	
15085000	Nazareth	CP	La Guajira	Uribia	Ay Sharimuhana	12.17888889	-71.28388889	85	20,7	11,3	10,5	23,7	44,3	14,2	6,5	17,8	46	154,5	153,5	70,6	47,8	573,6
15065000	Agpto A.Padilla	SP	La Guajira	Riohacha	Ay Zongo	11.52961111	-72.81766667	4	3,7	1,6	5,5	31,3	75,9	51,2	36,8	50	142,6	148,8	75,6	31	52,8	634,1
15045000	Maita	CO	La Guajira	Riohacha	Tapias	11.30388889	-73.00277778	20	14,5	5,8	16,7	92,8	155,4	81,3	48,7	127,3	202,2	232,1	174,5	41,9	98,9	1186,2
15085030	Esc Agr Carrapia	CO	La Guajira	Miticao	Carrapia	11.21675	-72.95944444	118	19,3	14,9	20,8	72,3	161,1	69,5	42,6	92,8	160,7	214,3	215,4	92,7	98,0	1176,4
15075030	Manauere	CP	La Guajira	Manauere	Mar Caribe	11.78105556	-72.4635	1	3,7	2,9	6,1	19,1	39,9	14,1	11,4	33,6	58,4	114,1	68,1	22,2	32,8	382,2
15065040	Paulina La	CO	La Guajira	Fonseca	Rancheria	10.89818889	-72.82847222	170	7,4	1,7	11	68,5	93,9	96,4	70,2	99,9	138,2	111	87,1	27	67,7	812,2
15085040	Rancho Grande	CO	La Guajira	Uribia	Ay Panjimbaru	11.69065556	-71.83305556	50	6,9	4,3	1,2	9,3	34,7	10,4	7,2	28,9	72,4	96	56,6	19,8	29,0	347,4
15065050	Camp Interor	CP	La Guajira	Albania	Rancheria	11.14286111	-72.51466667	122	14,7	15,7	3,2	95,7	135,4	75,5	53,2	93	158,3	177,7	165,5	54	86,5	1004,9
15065130	Mina La	CP	La Guajira	Hatonuevo	AY TABACO	11.133333	-72.600000	80	10,7	5,4	12,2	70	115,6	51,5	60,4	88,6	148,9	146,4	164,1	64,1	78,2	937,9
15035000	Terrigigajira	CP	La Guajira	Dibulla	CANAS	11.2525	-71.411889	5	28,9	17	30,3	87,7	135	100,2	59,6	149,2	227,6	300,2	256,7	90,1	123,9	1437,3
15075060	Pto Bolivar	CP	La Guajira	Uribia	MMR CARIBE	12.13	-71.500000	30	4,8	1,5	2,6	6,9	23,1	8,2	11	29,3	69,2	95,2	53,5	30,3	27,6	326,3
28015070	Urumita	CO	La Guajira	Urumita	Nacho	10.56638889	-73.01638889	255	4,4	13,1	35	111,3	172,6	123,5	90,2	112,8	147,5	187,3	119,6	47,7	97,1	1165

Fuente: Propia.

3) A partir de los datos extraídos del tomógrafo, se creó una base de datos que contiene la coordenada X, Y el valor de resistividad de cada punto sobre las tomografías enlazadas con la profundidad de investigación del subsuelo. Es de anotar que se dividió cada tomografía por profundidades, esto debido a que las características litológicas presentan cambios notorios en cada intervalo escogido, lo que hace que las características hidrogeológicas presenten variación con respecto a la profundidad.

Por lo anterior se tomó diferentes profundidades las cuales corresponden de: 0-15m ,15-30m ,30-45m ,45-60m ,60-75m ,75-90m ,90-105m ,105-150m ,150-195m y 195-240m.

En la **Figura 17** se muestra un ejemplo de los datos obtenidos para cada tomografía en relación a la profundidad de la investigación y en la **Figura 18** se muestra el procesamiento de los datos para incluirlos al SIG, esto con la finalidad de relacionarlos con los datos de precipitación.

Figura 17. Datos de la TR3.

Corregimiento Puente Bomba, La Guajira				Corregimiento Puente Bomba, La Guajira				Corregimiento Puente Bomba, La Guajira			
profundidad de 0 a 15 metros TRE 3				profundidad de 15 a 30 metros				profundidad de 30 a 45 metros			
Id	Coord_X	Coord_Y	Valor resistividad [ohm*m]	Id	Coord_X	Coord_Y	Valor resistividad [ohm*m]	Id	Coord_X	Coord_Y	Valor resistiv
226	1105267.40	1737950.72	22.3	226	1105267.40	1737950.72	22.3	226	1105267.40	1737950.72	2
227	1105286.40	1737917.48	22.3	227	1105286.40	1737917.48	22.3	227	1105286.40	1737917.48	2
228	1105308.24	1737883.70	22.3	228	1105308.24	1737883.70	22.3	228	1105308.24	1737883.70	2
229	1105328.77	1737851.02	22.3	229	1105328.77	1737851.02	22.3	229	1105328.77	1737851.02	2
230	1105351.81	1737818.35	22.3	230	1105351.81	1737818.35	22.3	230	1105351.81	1737818.35	2
231	1105373.98	1737785.01	22.3	231	1105373.98	1737785.01	22.3	231	1105373.98	1737785.01	2
232	1105395.28	1737750.46	22.3	232	1105395.28	1737750.46	22.3	232	1105395.28	1737750.46	2
233	1105414.94	1737717.77	22.3	233	1105414.94	1737717.77	22.3	233	1105414.94	1737717.77	2
234	1105437.11	1737682.89	22.3	234	1105437.11	1737682.89	22.3	234	1105437.11	1737682.89	2
235	1105458.84	1737649.33	22.3	235	1105458.84	1737649.33	22.3	235	1105458.84	1737649.33	2
236	1105480.68	1737616.87	22.3	236	1105480.68	1737616.87	22.3	236	1105480.68	1737616.87	2
237	1105480.57	1737616.54	22.3	237	1105480.57	1737616.54	22.3	237	1105480.57	1737616.54	4
238	1105491.00	1737599.76	22.3	238	1105491.00	1737599.76	4.67	238	1105491.00	1737599.76	4
239	1105501.32	1737583.42	232	239	1105501.32	1737583.42	4.67	239	1105501.32	1737583.42	4
240	1105512.95	1737567.08	232	240	1105512.95	1737567.08	4.67	240	1105512.95	1737567.08	4
241	1105522.73	1737549.75	232	241	1105522.73	1737549.75	4.67	241	1105522.73	1737549.75	4
242	1105534.14	1737532.97	232	242	1105534.14	1737532.97	4.67	242	1105534.14	1737532.97	4
243	1105544.46	1737515.63	232	243	1105544.46	1737515.63	4.67	243	1105544.46	1737515.63	4
244	1105554.68	1737498.52	22.3	244	1105554.68	1737498.52	22.3	244	1105554.68	1737498.52	2
245	1105565.65	1737482.51	22.3	245	1105565.65	1737482.51	22.3	245	1105565.65	1737482.51	2

Fuente: Propia.

Figura 18. Procesamiento y base de datos para el SIG.

Id	Coord_X	Coord_Y	Resistividad
1	1104180.04	1737521.34	35.7
2	1104216.35	1737503.32	35.7
3	1104252.23	1737486.29	35.7
4	1104288.97	1737471.58	35.7
5	1104324.52	1737454.33	35.7
6	1104360.07	1737436.41	35.7
7	1104396.38	1737418.72	35.7
8	1104432.36	1737404.12	67.5
9	1104468.78	1737386.21	35.7
10	1104503.88	1737372.71	35.7
11	1104540.72	1737360.22	67.5
12	1104558.34	1737350.65	67.5
13	1104576.49	1737340.98	67.5
14	1104594.32	1737332.3	67.5
15	1104612.81	1737323.95	67.5
16	1104630.53	1737315.6	67.5
17	1104648.46	1737307.14	67.5
18	1104665.96	1737298.79	127
19	1104684.01	1737290.88	127
20	1104701.08	1737280.87	127
21	1104718.79	1737273.07	67.5
22	1104737.17	1737263.4	67.5

Fuente: Propia.

- 4) Después de organizar la información correspondiente a precipitación y tomografías, se procedió a incluirlo en el Software SIG (Arcgis) con la finalidad de realizar el procesamiento de los datos. Ver **Figura 19** y **Figura 20**.

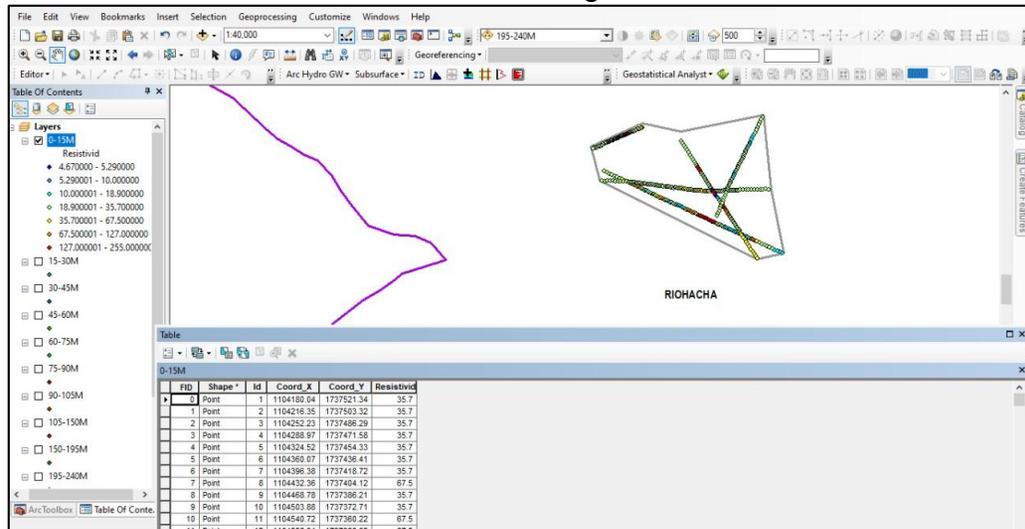
Figura 19. Tablas de atributos de los datos de precipitación procesados en el software Arcgis.

The screenshot shows the ArcGIS interface with a map of a region and a table of attributes for precipitation data. The table has 16 columns: FID, Shape, codigo, nombre, categoria, departamen, municipio, corriente, Latit, Long, altitud, eneprec130, febprec130, marprec130, abrprec130, mayprec130, junprec130. The data is as follows:

FID	Shape	codigo	nombre	categoria	departamen	municipio	corriente	Latit	Long	altitud	eneprec130	febprec130	marprec130	abrprec130	mayprec130	junprec130
0	Point	1508502	Nazareth	CP	La Guajira	Urbia	Ay Shorimahana	12.178899	-71.263889	85	20.7	11.3	10.5	23.7	44.3	14.2
1	Point	1508501	Agto A Padilla	SP	La Guajira	Riochacha	Ay Zongo	11.53	-72.918	4	3.7	1.8	5.5	31.3	75.9	51.2
2	Point	1504501	Mallas	CO	La Guajira	Riochacha	Taglas	11.263889	-73.030278	20	14.5	5.8	16.7	92.8	155.4	81.3
3	Point	1508503	Esc Agr Carrapia	CO	La Guajira	Maicao	Carrapia	11.21675	-72.359944	118	19.3	14.9	20.8	72.3	161.1	89.5
4	Point	1507503	Manauare	CP	La Guajira	Manauare	Mar Caribe	11.781056	-72.4635	1	3.7	2.9	6.1	19.1	39.9	14.1
5	Point	1506504	Paulina La	CO	La Guajira	Fonseca	Rancheria	10.898139	-72.828472	170	7.4	1.7	11	68.5	93.9	96.4

Fuente: Propia.

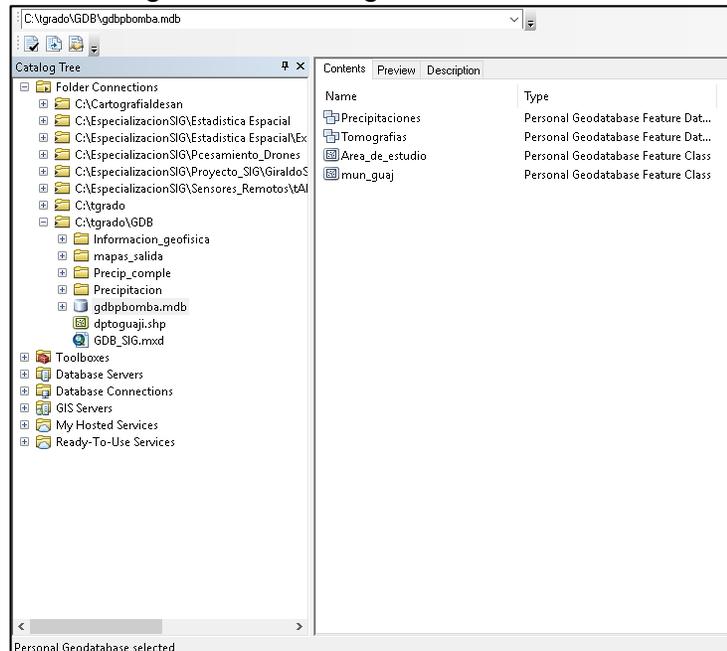
Figura 20. Tablas de atributos de los datos de las tomografías procesados en el software Arcgis.



Fuente: Propia.

- Se realizó el compendio de la información y se agrupó en una base de datos que incluyera ambos parámetros estudiados para obtener una GDB de los datos trabajados. En la **Figura 21** se muestra el resultado del compendio que finalmente arroja la GDB.

Figura 21. Imagen de la GDB generada en el Software Arcgis.



Fuente: Propia.

12 CONSTRUCCIÓN DEL SIG A PARTIR DE LOS DATOS ESPACIALES

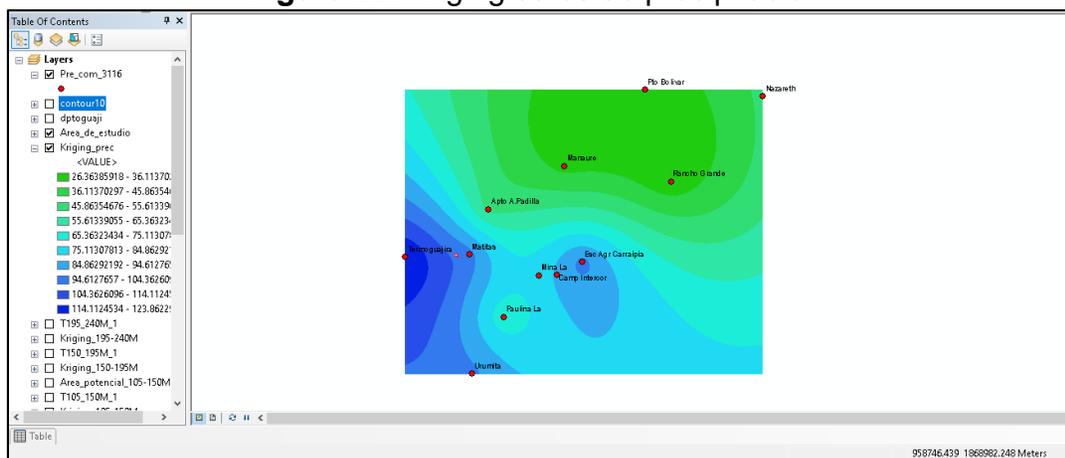
12.1 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN.

Después de organizada la base de datos de precipitación, se procedió a realizar mapas de isolíneas que genero líneas representativas de lugares donde se presenta una misma precipitación.

Es así como se realizó el procesamiento de los datos organizados en el software Arcgis; lo primero que se hizo fue cargar la información representativa de los promedios de precipitación que fueron organizados en la base de datos.

Paso seguido se realizó la interpolación en el Software Arcgis, para lo que usamos el método de interpolación Kriging ya que presenta la menor variación en los datos, por lo cual el error es más bajo.

Figura 22. Kriging datos de precipitación.

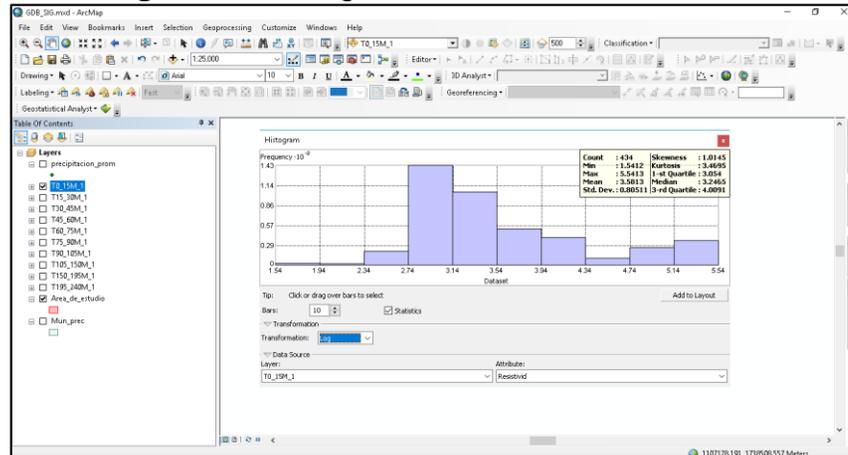


Fuente: Propia.

Después de lo anterior se procedió a realizar el mapa de isolíneas que mostro las líneas que agrupan un mismo valor de dato, en esta herramienta se seleccionó el valor de intervalo de las isolíneas, que para este caso se tomó un valor de 10, debido a la variación en el valor de precipitación para la zona

En la **Figura 23** se muestra el mapa de isolíneas generadas con las herramientas de análisis del Software Arcgis.

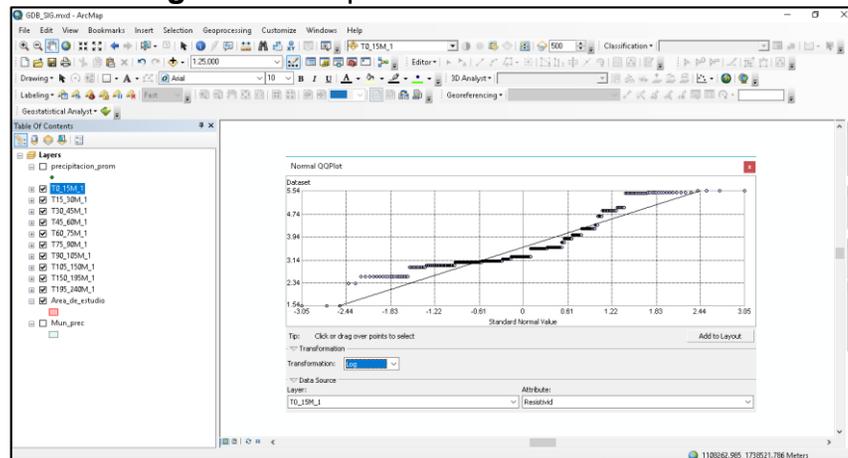
Figura 24. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera de los datos ajustándose en la transformación logarítmica.

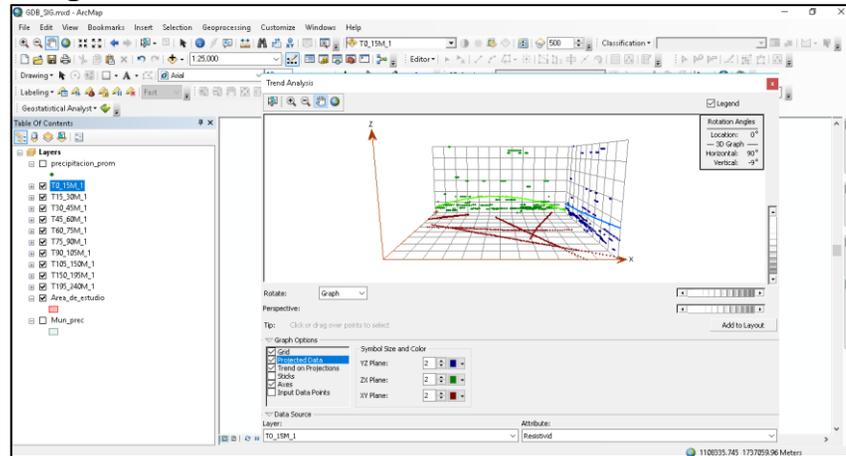
Figura 25. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una tendencia de los datos Oeste-Este en el plano ZX, en el plano YZ no se observó una tendencia clara, pero si una dispersión de los datos con respecto a la línea de tendencia en general.

Figura 26. Análisis tendencia de datos resistividad TRE.

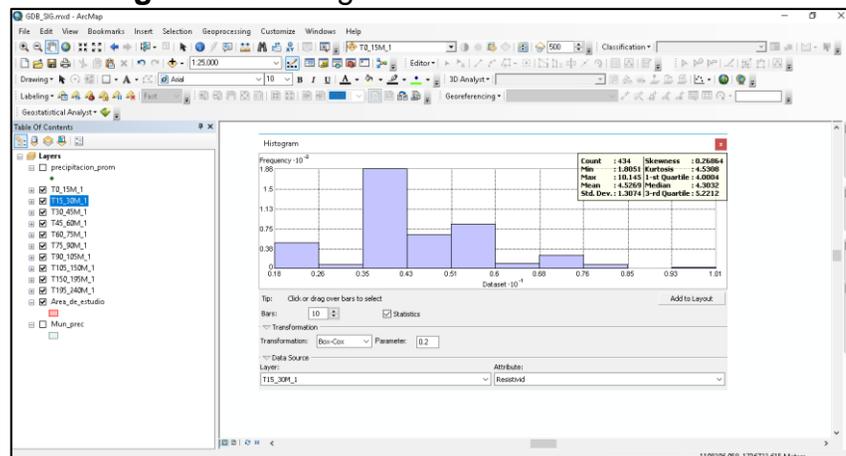


Fuente: ArcGIS

12.2.2 15-30 metros

El histograma mostro el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma asimétrica apuntada de cola derecha (+) con la transformación Box-Cox con un parámetro de 0.2 para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtosis.

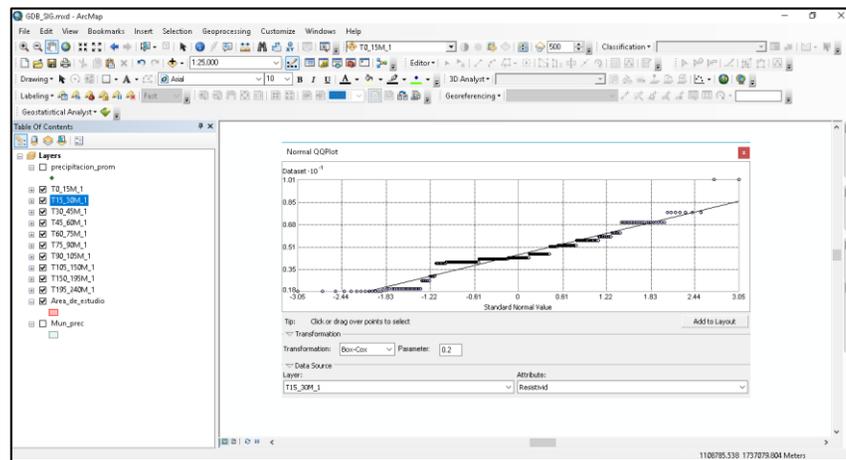
Figura 27. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose en la transformación Box-Cox con el parámetro 0.2.

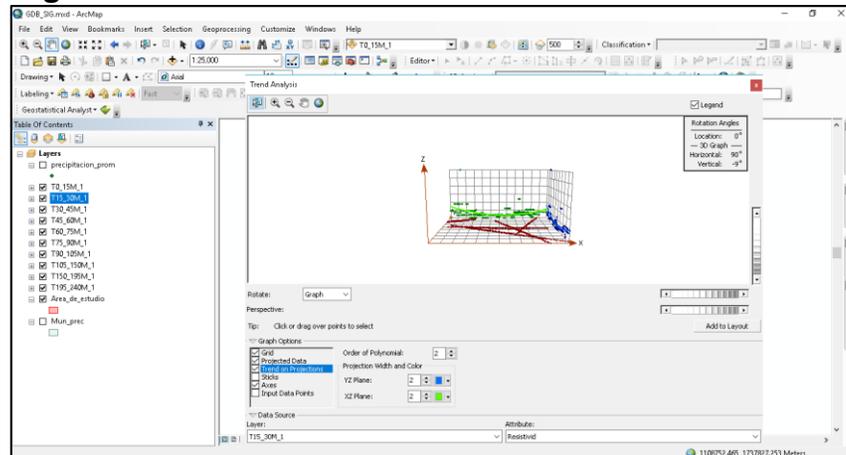
Figura 28. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una tendencia de los datos Oeste-Este en el plano ZX y Norte-Sur en el plano YZ.

Figura 29. Análisis de tendencia de datos resistividad TRE.

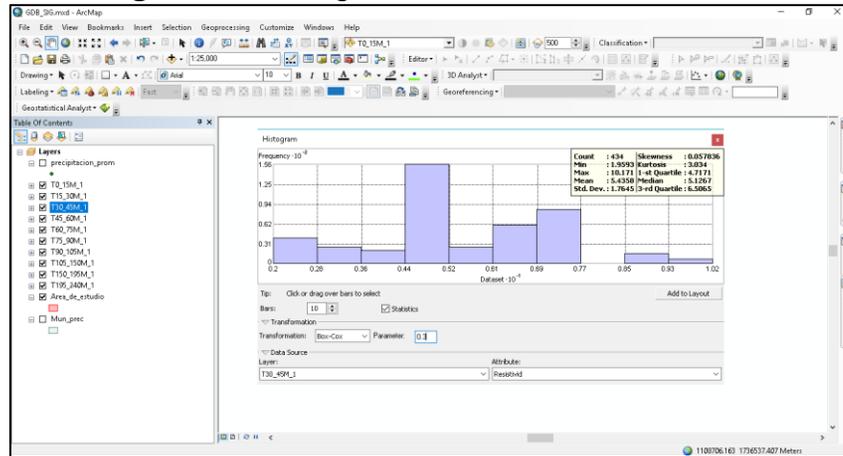


Fuente: ArcGIS

12.2.3 30-45 metros

El histograma muestra el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma simétrica normal con la transformación Box-Cox con parámetro 0.3 para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtosis.

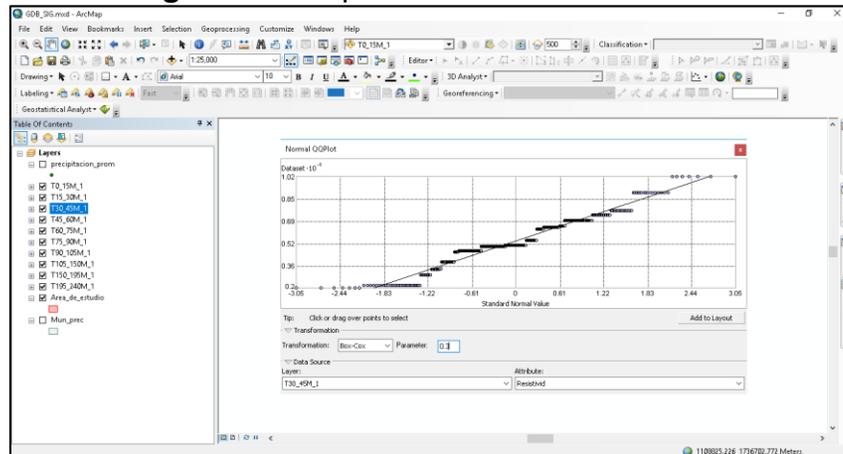
Figura 30. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose en la transformación Box-Cox con un parámetro de 0.3

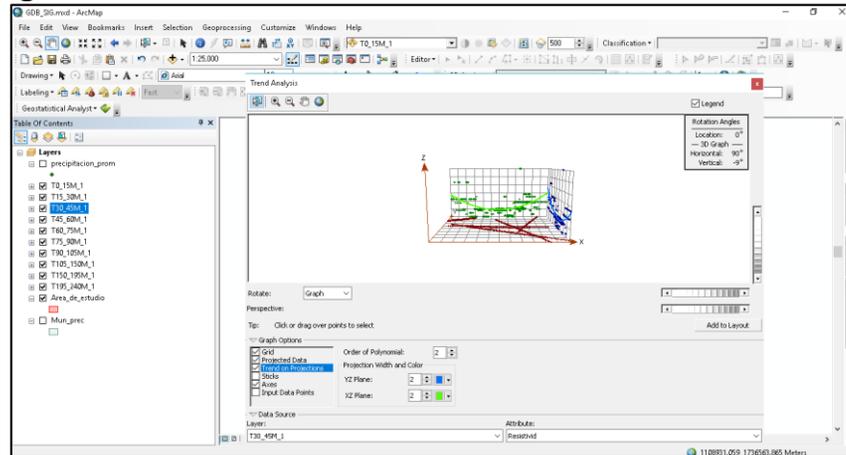
Figura 31. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una tendencia de los datos Oeste-Este en el plano ZX, y Norte-Sur en el plano YZ.

Figura 32. Análisis de tendencia de los datos resistividad TRE.

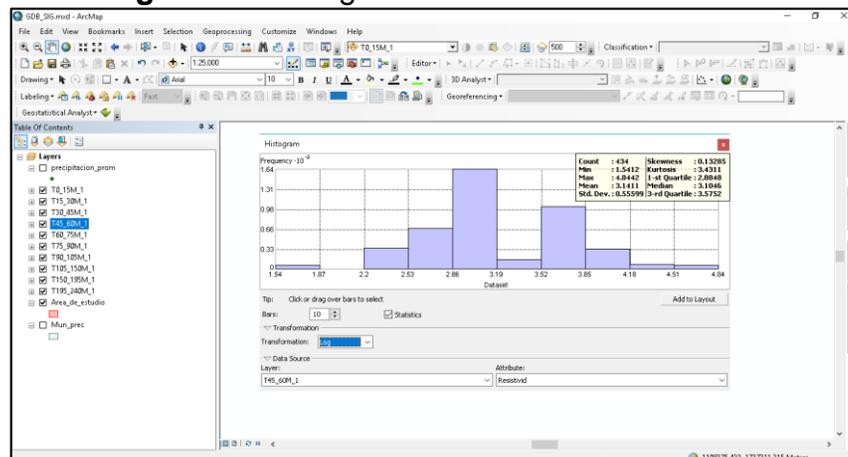


Fuente: ArcGIS

12.2.4 45-60 metros

El histograma muestra el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma asimétrica apuntada de cola derecha (+) con la transformación logarítmica para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtosis.

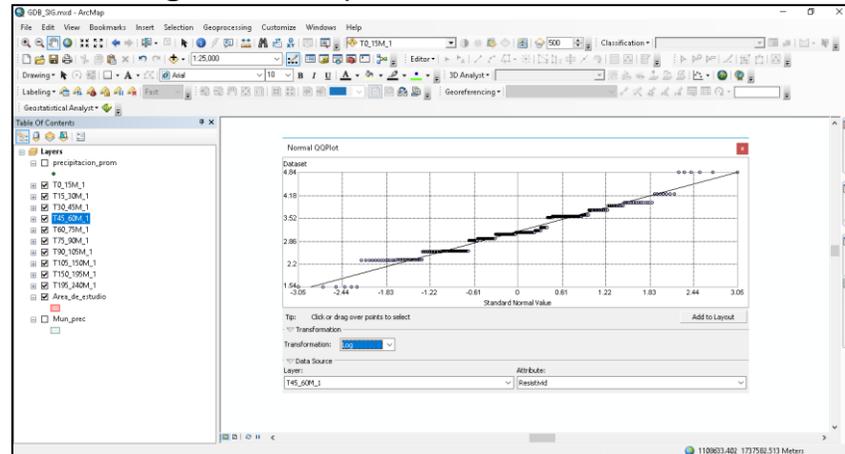
Figura 33. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose en la transformación logarítmica.

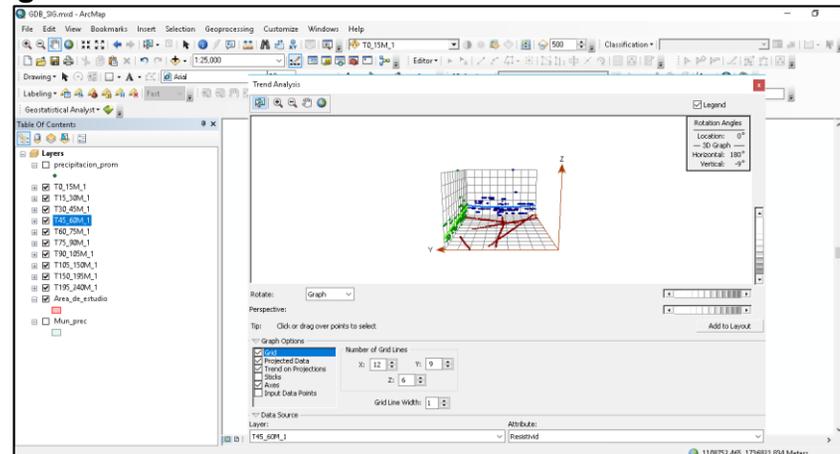
Figura 34. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una tendencia de los datos Norte-Sur en el plano YZ, en el plano XZ no se observó una tendencia clara, pero si una dispersión de los datos con respecto a la línea de tendencia en general.

Figura 35. Análisis de tendencia de los datos resistividad TRE.

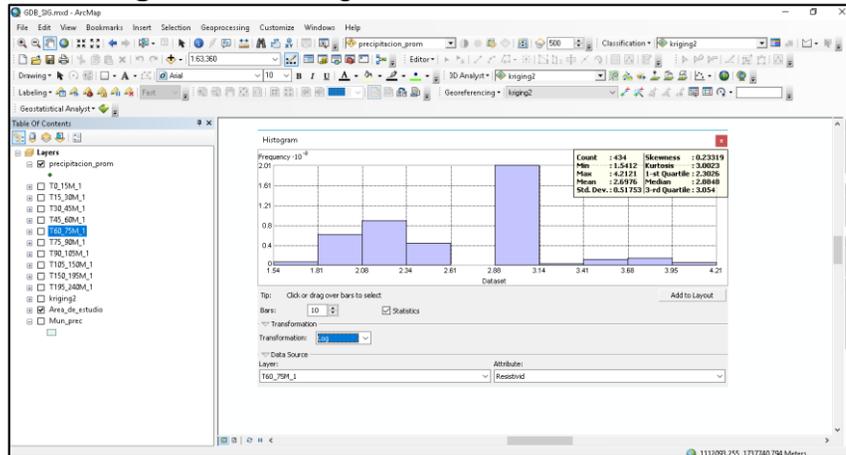


Fuente: ArcGIS

12.2.5 60-75 metros

El histograma mostro el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma asimétrica apuntada de cola derecha (+) con la transformación logarítmica para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtosis.

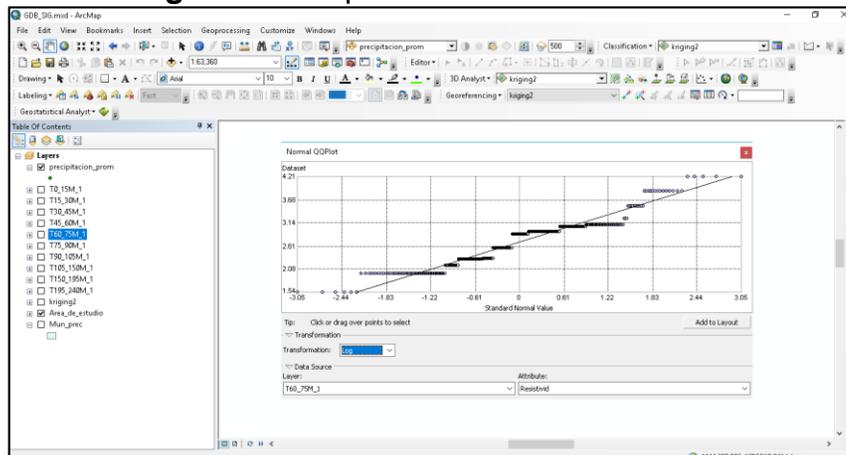
Figura 36. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose en la transformación logarítmica.

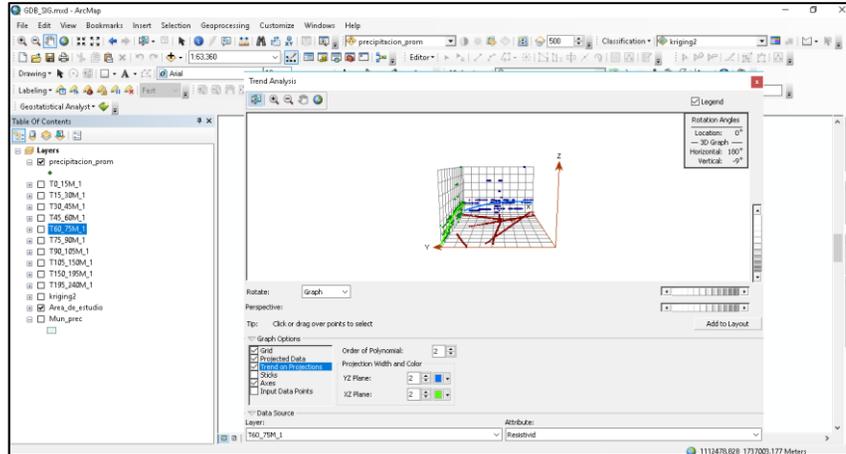
Figura 37. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una tendencia de los datos Norte-Sur en el plano YZ y en el plano XZ no se observó una tendencia clara, pero si una dispersión de los datos con respecto a la línea de tendencia en general.

Figura 38. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE.

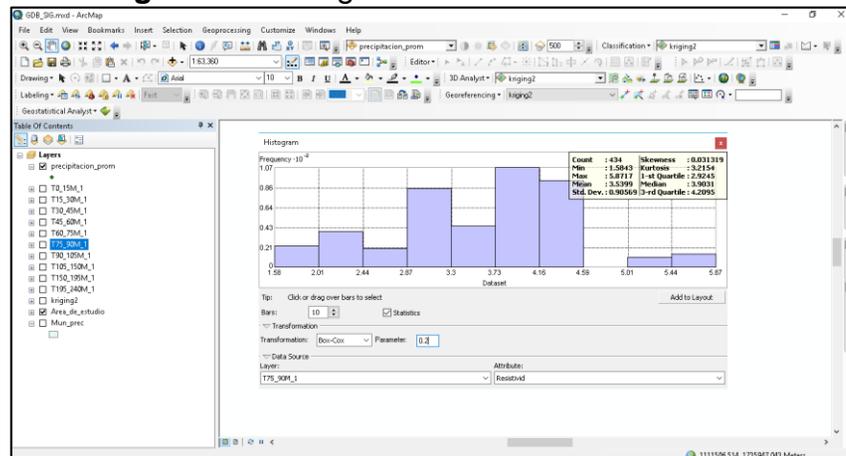


Fuente: ArcGIS

12.2.6 75-90 metros

El histograma muestra el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma simétrica apuntada con la transformación Box-Cox y el parámetro 0.2 para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtosis.

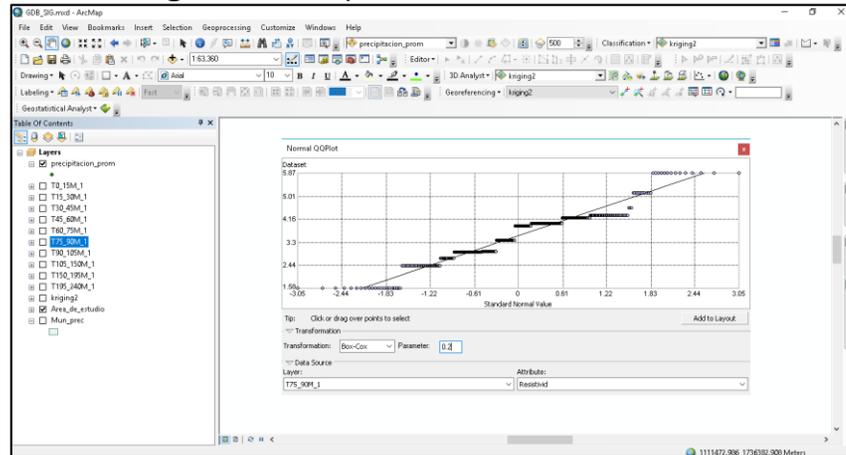
Figura 39. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose en la transformación Box-Cox con el parámetro 0.2.

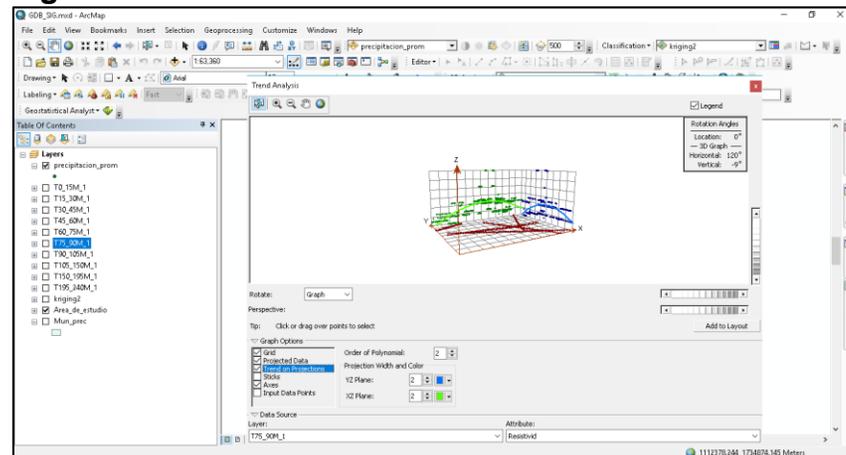
Figura 40. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una tendencia de los datos Oeste-Este en el plano ZX, y Norte-Sur en el plano YZ.

Figura 41. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE.

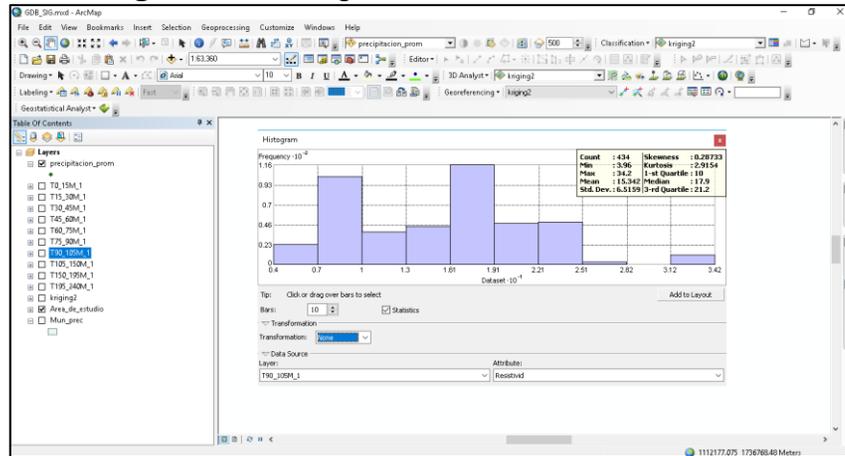


Fuente: ArcGIS

12.2.7 90-105 metros

El histograma mostro el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma asimétrica achatada de cola derecha (+) con ninguna transformación para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtosis.

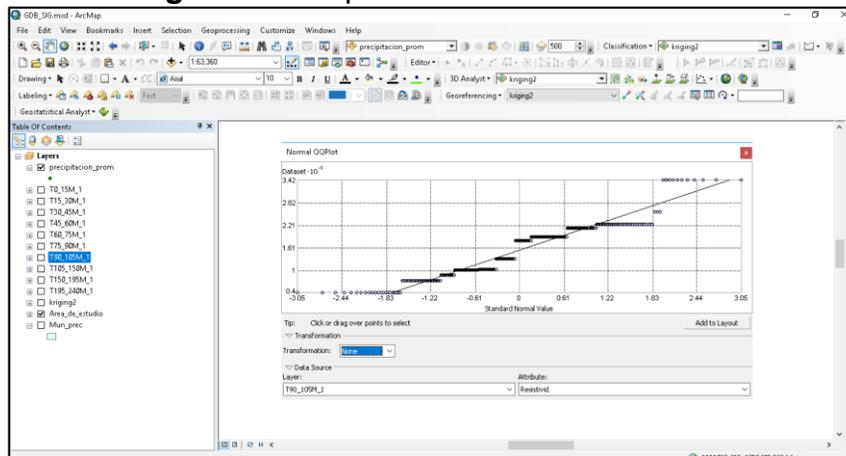
Figura 42. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose a ninguna transformación.

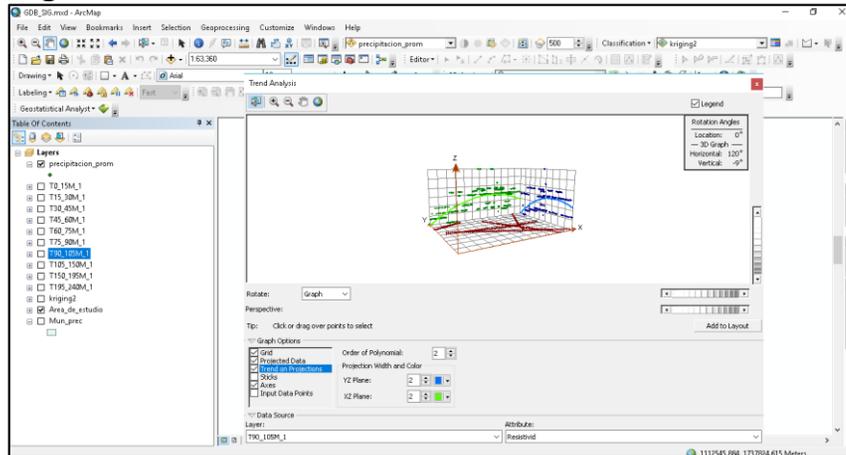
Figura 43. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una tendencia de los datos Oeste-Este en el plano ZX, y Norte-Sur en el plano YZ.

Figura 44. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE.

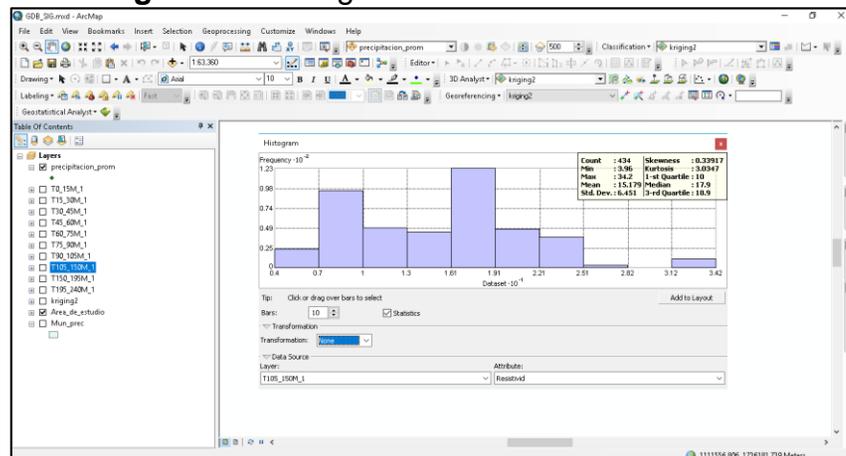


Fuente: ArcGIS

12.2.8 105-150 metros

El histograma se mostró el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma asimétrica normal de cola derecha (+) con ninguna transformación para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtosis.

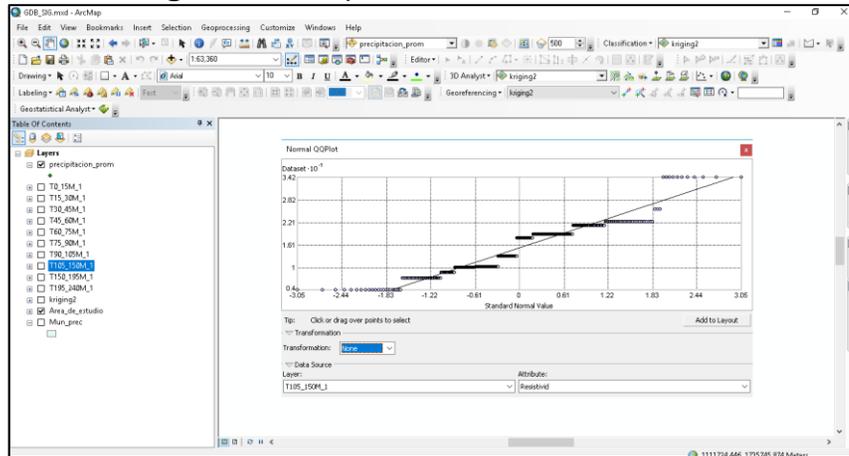
Figura 45. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose en la transformación logarítmica.

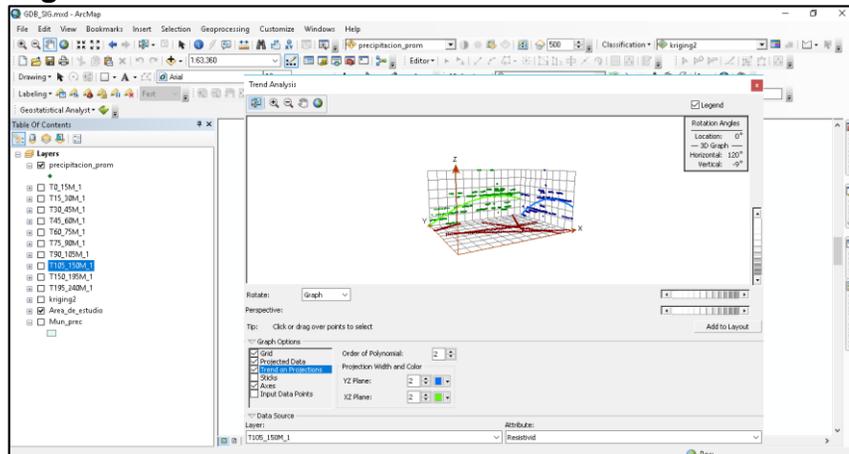
Figura 46. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una tendencia de los datos Oeste-Este en el plano ZX, y Norte-Sur en el plano YZ está siendo más marcada en el costado Sur.

Figura 47. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE.

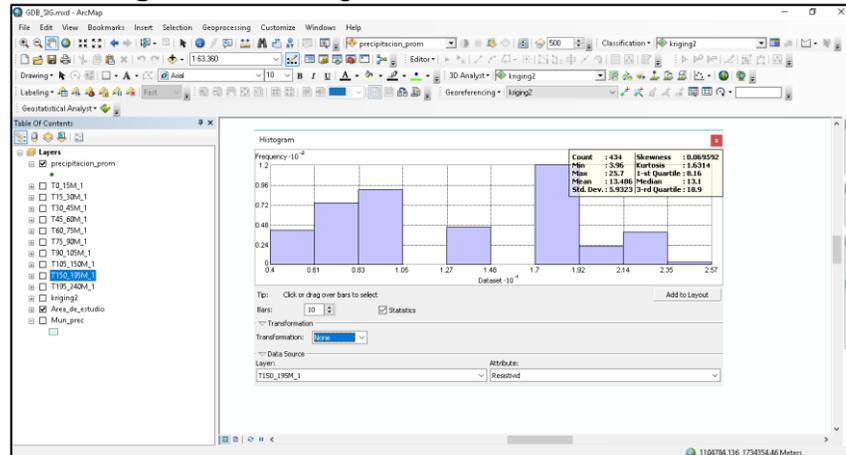


Fuente: ArcGIS

12.2.9 150-195 metros

El histograma se mostró el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma simétrica achatada con ninguna transformación para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtois.

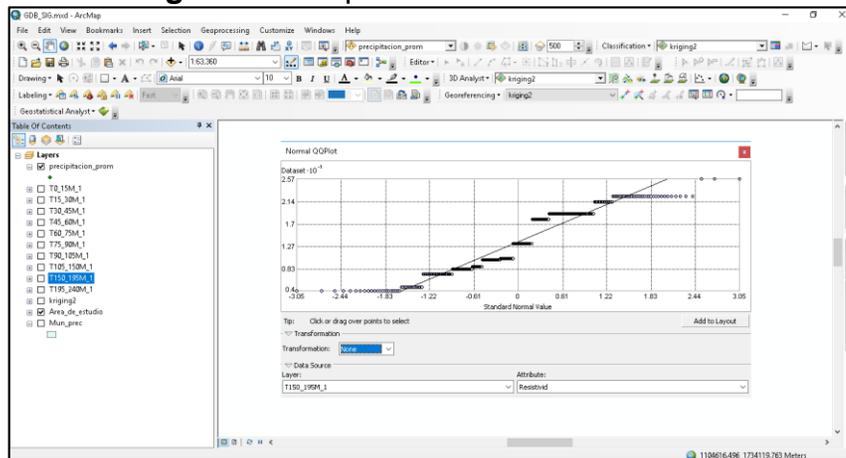
Figura 48. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose con ninguna transformación.

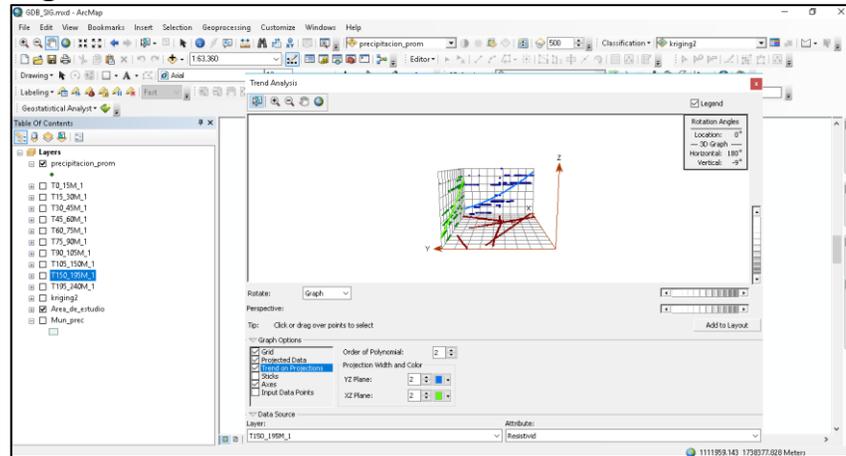
Figura 49. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una leve tendencia de los datos Norte-Sur en el plano YZ, y en el plano YZ no se observó una tendencia clara, pero si una dispersión de los datos con respecto a la línea de tendencia en general.

Figura 50. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE.

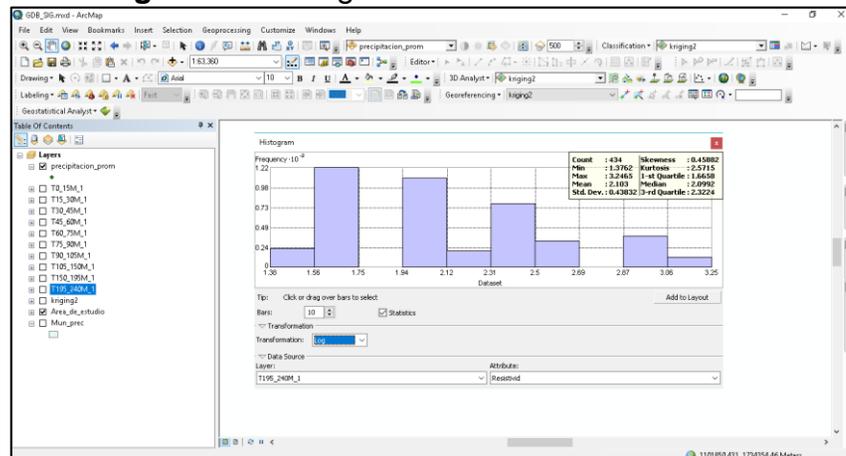


Fuente: ArcGIS

12.2.10 195-240 metros

El histograma se mostró el comportamiento de los conjuntos de datos con una forma asimétrica achatada de cola derecha (+) con la transformación logarítmica para estar dentro de los parámetros de Skewness y Kurtosis.

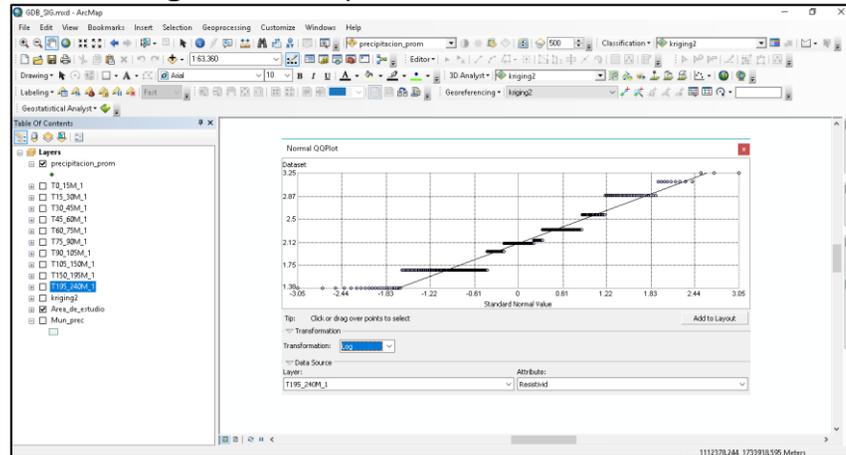
Figura 51. Histograma datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

En el análisis de QQplot se observó una línea base donde se distribuyen de mejor manera los datos ajustándose en la transformación logarítmica.

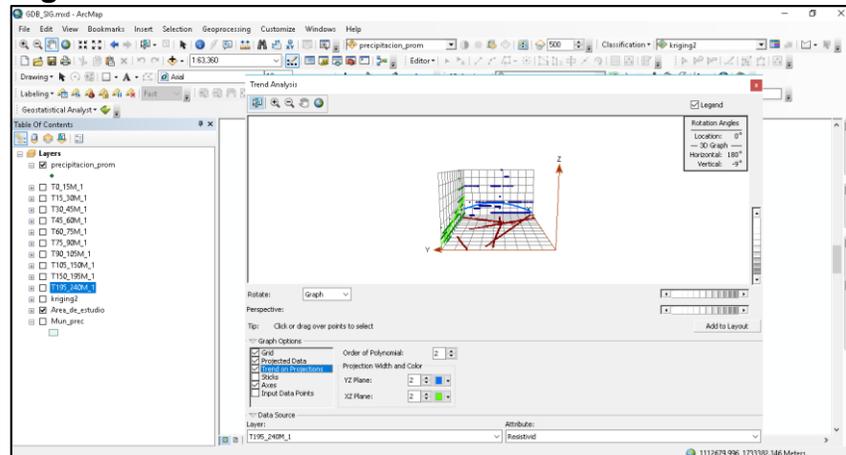
Figura 52. QQplot datos resistividad TRE.



Fuente: ArcGIS

De acuerdo al análisis de tendencia se observó una leve tendencia de los datos Norte-Sur en el plano YZ, y en el plano XZ no se observó una tendencia clara, pero si una dispersión de los datos con respecto a la línea de tendencia en general.

Figura 53. Análisis tendencia de los datos resistividad TRE.



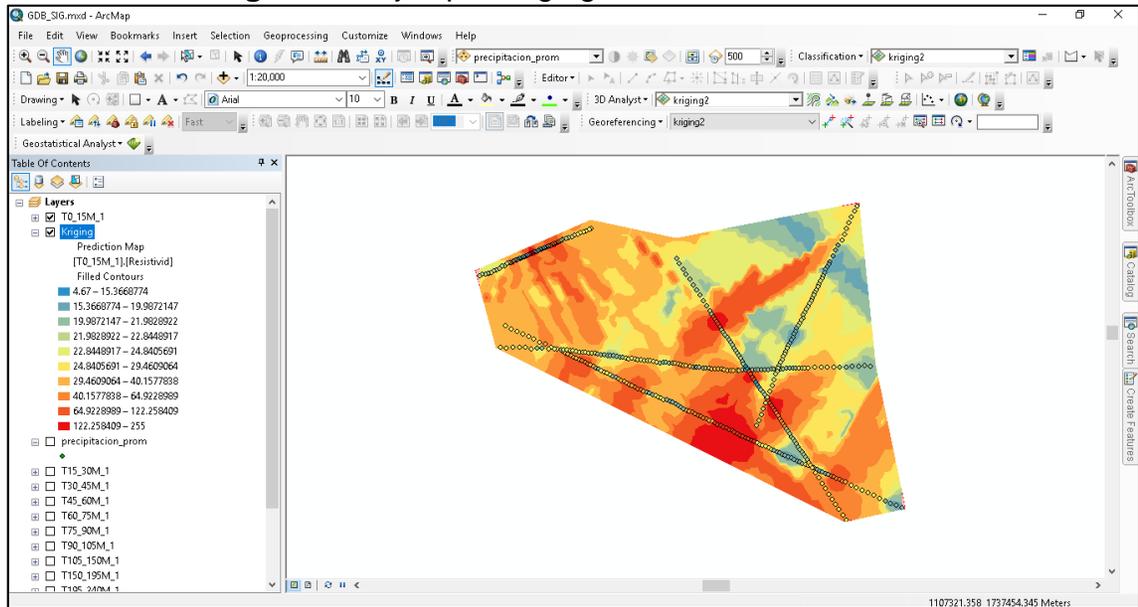
Fuente: ArcGIS

Ya con los anteriores análisis estadísticos para cada capa de profundidad se construyeron los mapas con el método Kriging para ser interpretados y caracterizados en el capítulo 13.

12.2.11 Construcción Kriging capa 0-15 metros

La creación del Kriging se realizó para cada una de las distintas capas del subsuelo investigadas por lo cual se mostró un solo ejemplo del procedimiento de creación de la capa 0-15 metros. Ver **Figura 54**

Figura 54 Ejemplo Kriging datos resistividad TRE.



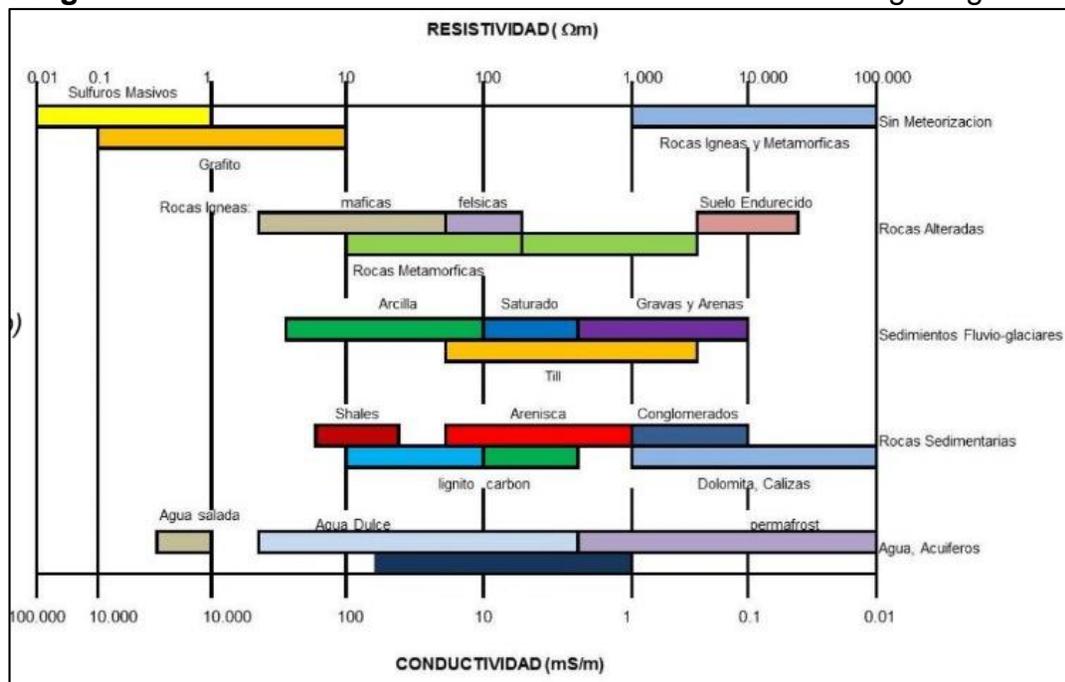
Fuente: ArcGIS

A partir de todos los mapas Kriging se interpretó y se realizó una caracterización en el Capítulo 13 donde se pudo evidenciar las áreas potenciales para la captación de agua subterránea.

13 RESULTADOS

Según Palacky todos los materiales tienen una propiedad de resistirse al paso de la corriente eléctrica, esta propiedad es llamada resistividad y su unidad es el [Ohm.m]; el cual es el inverso de la conductividad. [13] En el caso de la geología e hidrogeología los materiales geológicos también tienen unos valores de resistividad característicos **Figura 55** pero en esta ciencia en particular estos valores no están condicionados a un rango de valores sino que pueden variar drásticamente dependiendo del ambiente de formación de la roca (marino o continental), la temperatura de la formación y los distintos componentes mineralógicos de la roca. Por ende, para este caso estudio se realizó la debida interpretación de los valores de resistividad por el profesional enmarcando los anteriores factores que afectan.

Figura 55 Valores idóneas de resistividad de los materiales geológicos.



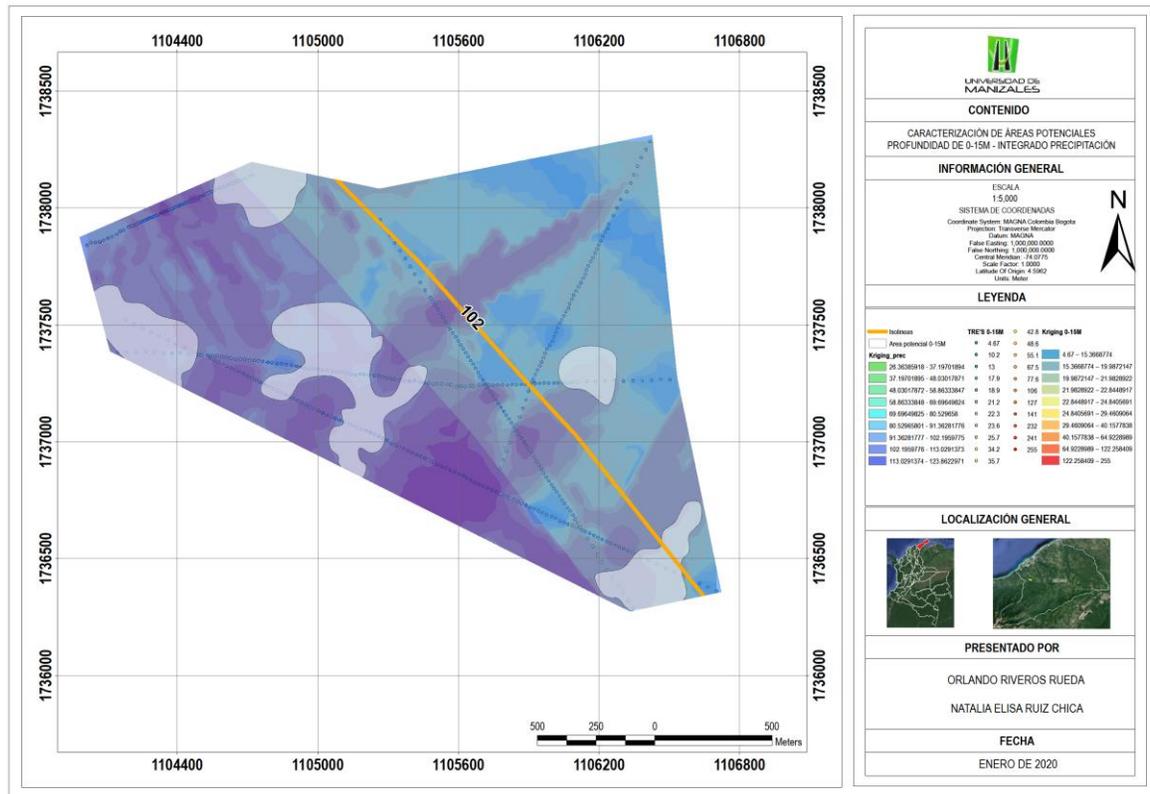
Fuente: Palacky (1987) [13]

Ya con lo anterior mencionado se prosiguió con la caracterización de las zonas potenciales para la captación de agua subterránea para cada una de las distintas profundidades investigadas con la tomografía de resistividad eléctrica:

Para la capa de 0 a 15 metros de profundidad se lograron clasificar 5 zonas potenciales con valores de resistividad entre los rangos de 20 a 40 ohm.m equivalente a materiales tipo Arcilla intercalada con arenas con predominancia de arena, para esta capa se captan acuíferos superficiales por lo cual integraremos la

base de datos de precipitación para ver el comportamiento de lluvias anuales con relacion a la recarga del acuífero; cabe resaltar que al tener un clima bimodal solo hay dos epocas en el año que cae lluvia, por lo cual hay que tener mayor aprovechamiento del agua subterranea en los meses de Mayo y Octubre.

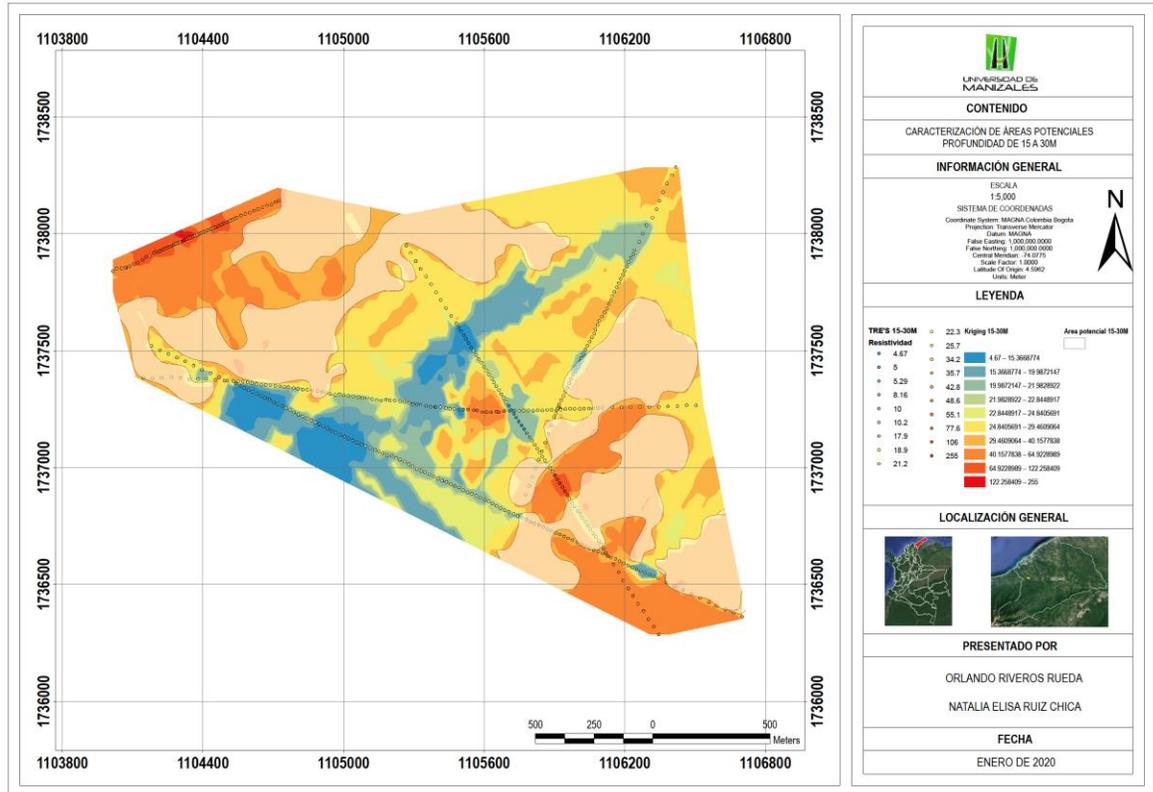
Figura 56 Caracterización zonas potenciales capa 0 a 15 metros.



Fuente: ArcGis

Para la capa de 15 a 30 metros de profundidad se caracterizaron 5 zonas potenciales de gran envergadura con unos valores de resistividad entre 20 a 40 Ohm.m equivalente a materiales tipo Arcilla intercalada con arenas con predominancia de arena, para esta capa ya los acuíferos son profundos por lo que su recarga es de causas subterráneas y no tiene mayor influencia de las aguas lluvias o de escorrentía, como se observa en la **Figura 57** ya en el centro del área de estudio hay una tendencia con colores azules equivalentes a valores de 4 a 12 Ohm.m sin ningún interés hidrogeológico a comparación de la capa anterior.

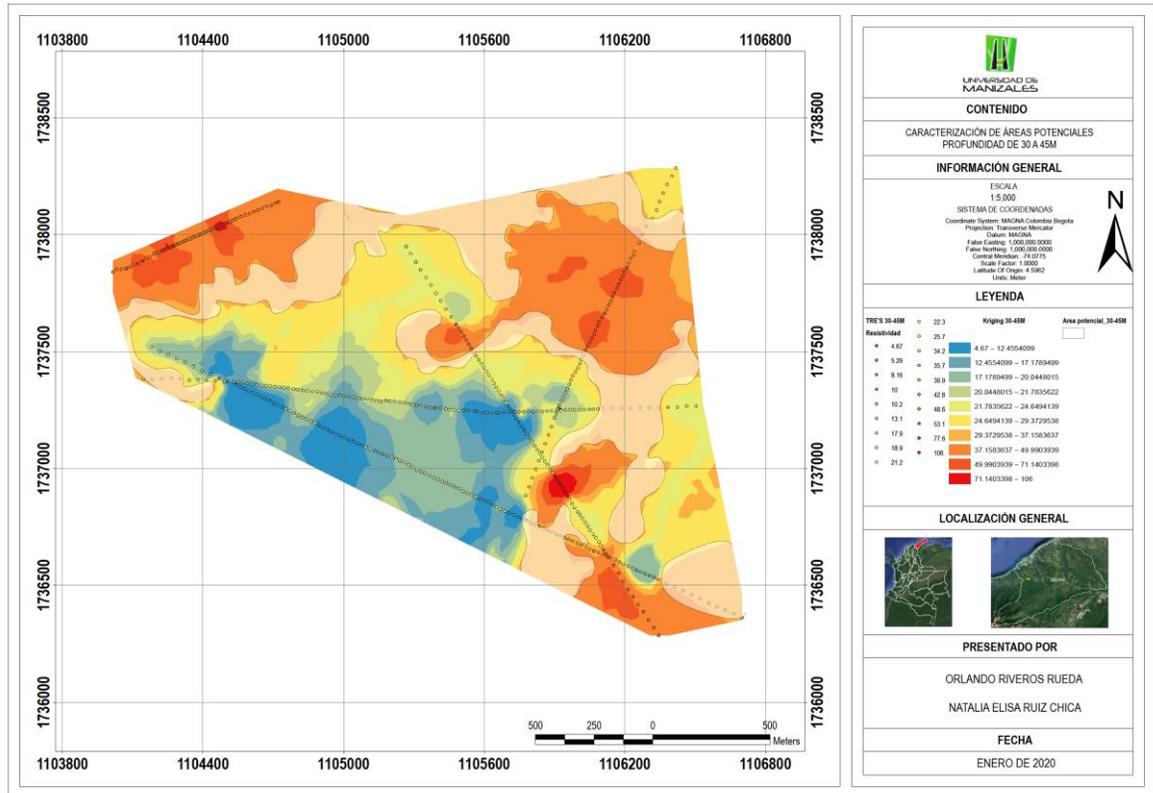
Figura 57 Caracterización zonas potenciales capa 15 a 30 metros.



Fuente: ArcGis

Para la capa de 30 a 45 metros de profundidad se caracterizaron 4 zonas potenciales de gran envergadura con unos valores de resistividad entre 20 a 40 Ohm.m equivalente a materiales tipo Arcilla intercalada con arenas con predominancia de arena, estas zonas estan mas hacia el Noreste del area de estudio y hacia el centro como se observa en la **Figura 58** se sigio encontrando una tendencia con colores azules equivalentes a valores de 4 a 12.45 Ohm.m sin ningun interes hidrogeologico a comparacion de la capa influenciada con las aguas superficiales.

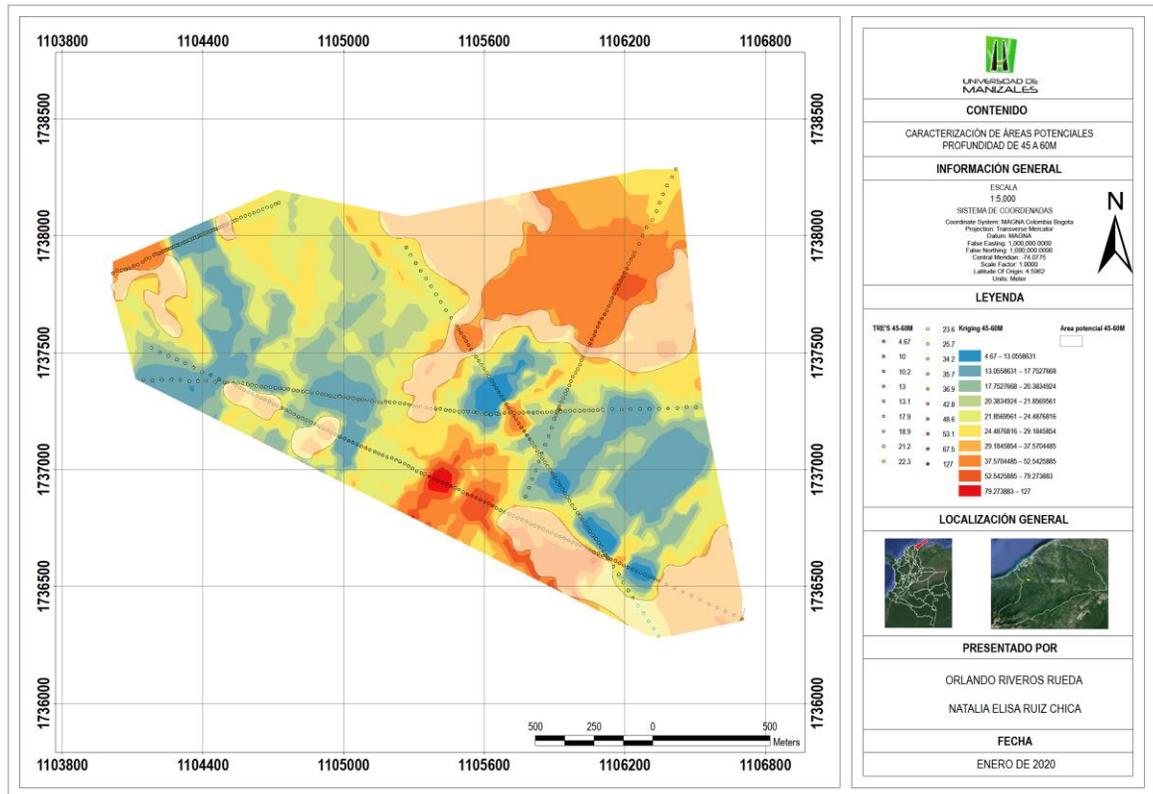
Figura 58 Caracterización zonas potenciales capa 30 a 45 metros.



Fuente: ArcGis

En la capa de 45 a 60 metros de profundidad se caracterizaron 6 zonas potenciales de gran envergadura con unos valores de resistividad entre 20 a 40 Ohm.m equivalente a materiales tipo Arcilla intercalada con arenas con predominancia de arena, en la **Figura 59** se observaron dos grandes zonas al Este del area de estudio pero hacia el Oeste hay 4 zonas muy puntuales que marcan la diferencia en cuanto al éxito y fracaso en la captacion de agua subterránea.

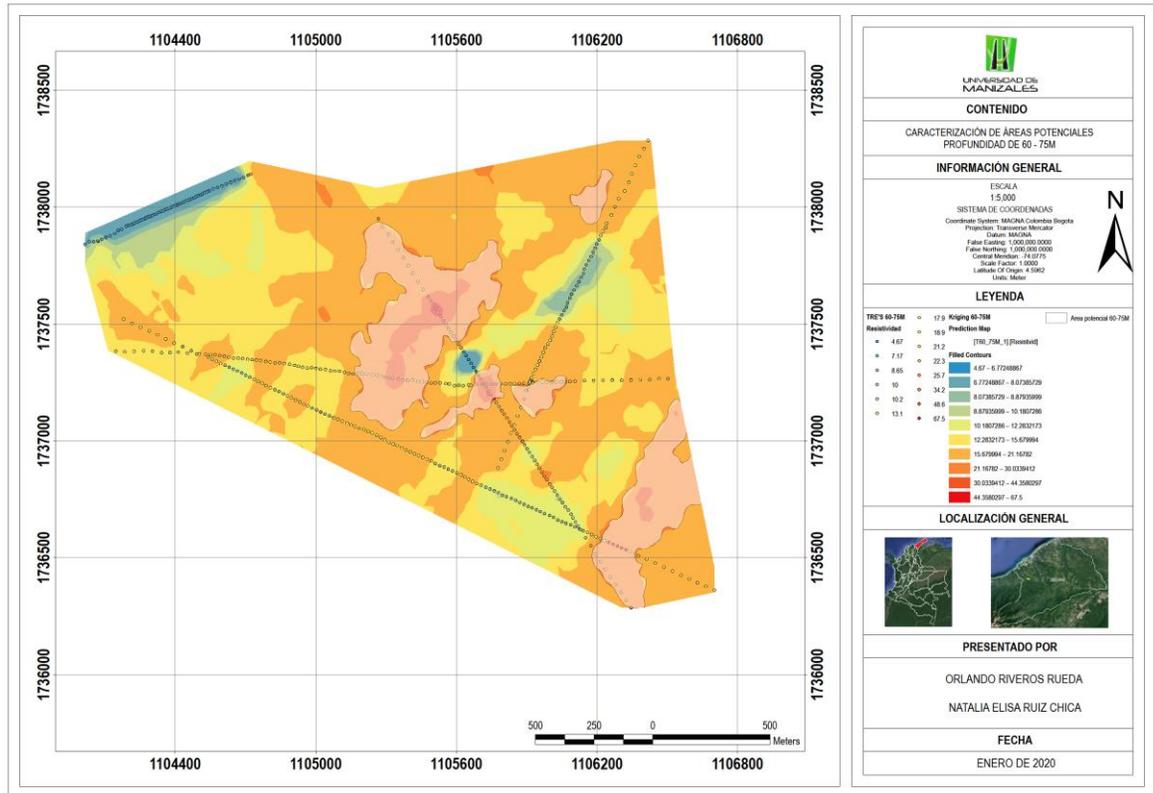
Figura 59 Caracterización zonas potenciales capa 45 a 60 metros.



Fuente: ArcGis

En la capa de 60 a 75 metros de profundidad se caracterizaron 5 zonas potenciales de gran envergadura con unos valores de resistividad entre 20 a 40 Ohm.m equivalente a materiales tipo Arcilla intercalada con arenas con predominancia de arena, en la **Figura 60** ya se observó un gran protagonismo de la region central del area de estudio con un area muy extensa con grandes posibilidades de agua subterranea a gran profundidad y con excelentes características.

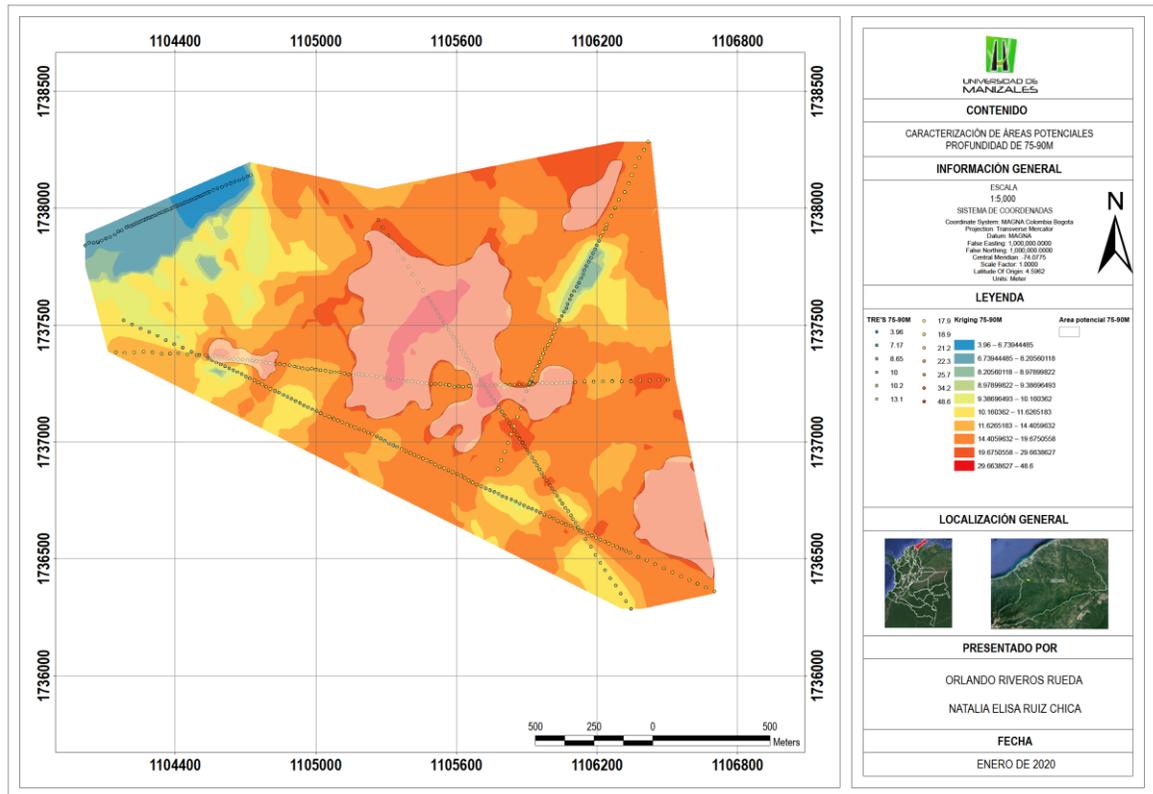
Figura 60 Caracterización zonas potenciales capa 60 a 75 metros.



Fuente: ArcGis

En la capa de 75 a 90 metros de profundidad se caracterizaron 4 zonas potenciales de gran envergadura con unos valores de resistividad entre 20 a 40 Ohm.m equivalente a materiales tipo Arcilla intercalada con arenas con predominancia de arena, en la **Figura 61** se observó el incremento de la zona potencial constituyendo la de mayor interes explotacional. De igual manera se empezó a observar un aumento de las tonalidades azules indicando unos valores de resistividad bajo siendo descartable para la captacion de agua.

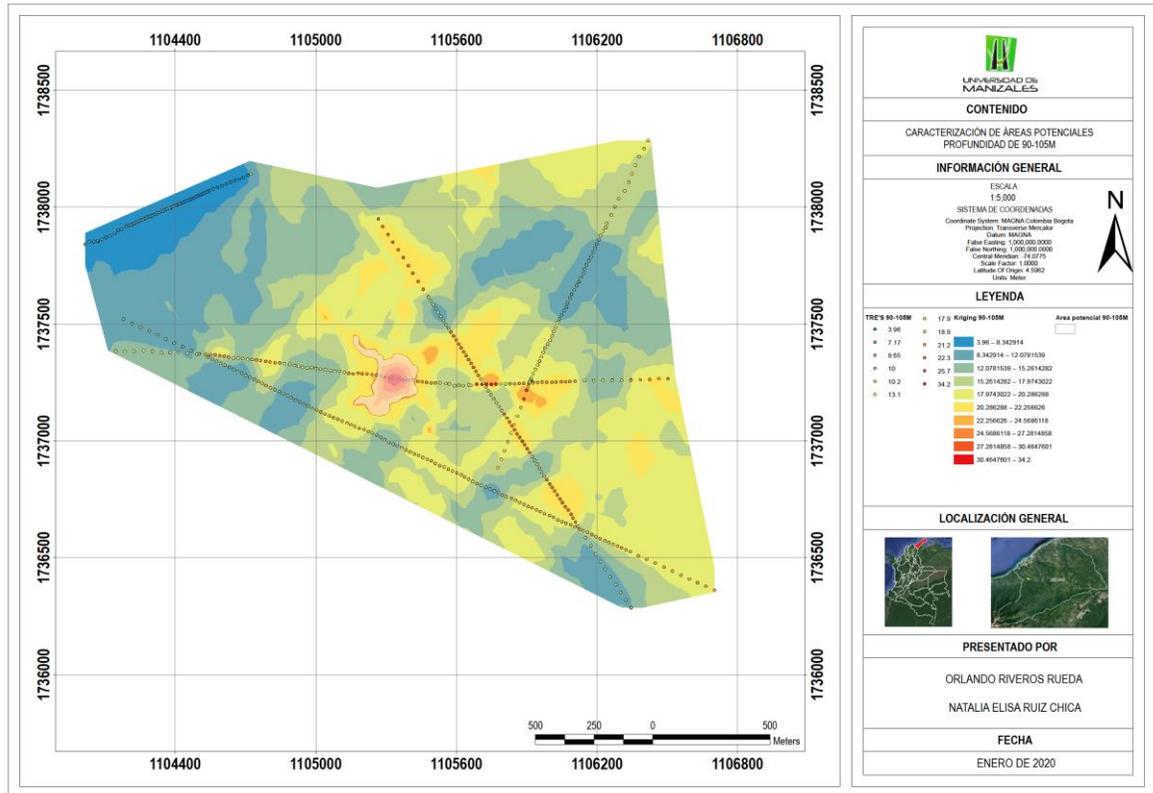
Figura 61 Caracterización zonas potenciales capa 75 a 90 metros.



Fuente: ArcGis

En la capa de 90 a 105 metros de profundidad se caracterizó 1 zona potencial muy puntual en el centro del área de estudio con unos valores de resistividad entre 20 y 34 Ohm.m equivalente a materiales tipo Arcilla intercalada con arenas con predominancia de arena, en la **Figura 62** se noto el incremento total de las tonalidades azules y amarillo claro con unos valores de resistividad entre 3.96 y 15.26 Ohm.m correspondientes a materiales tipo Arcilla, limo intercalado con algunas capas de arena pero con predominancia de la arcilla. Por lo que no son materiales con las características de permeabilidad y porosidad idoneas para la captacion de agua.

Figura 62 Caracterización zonas potenciales capa 90 a 105 metros.

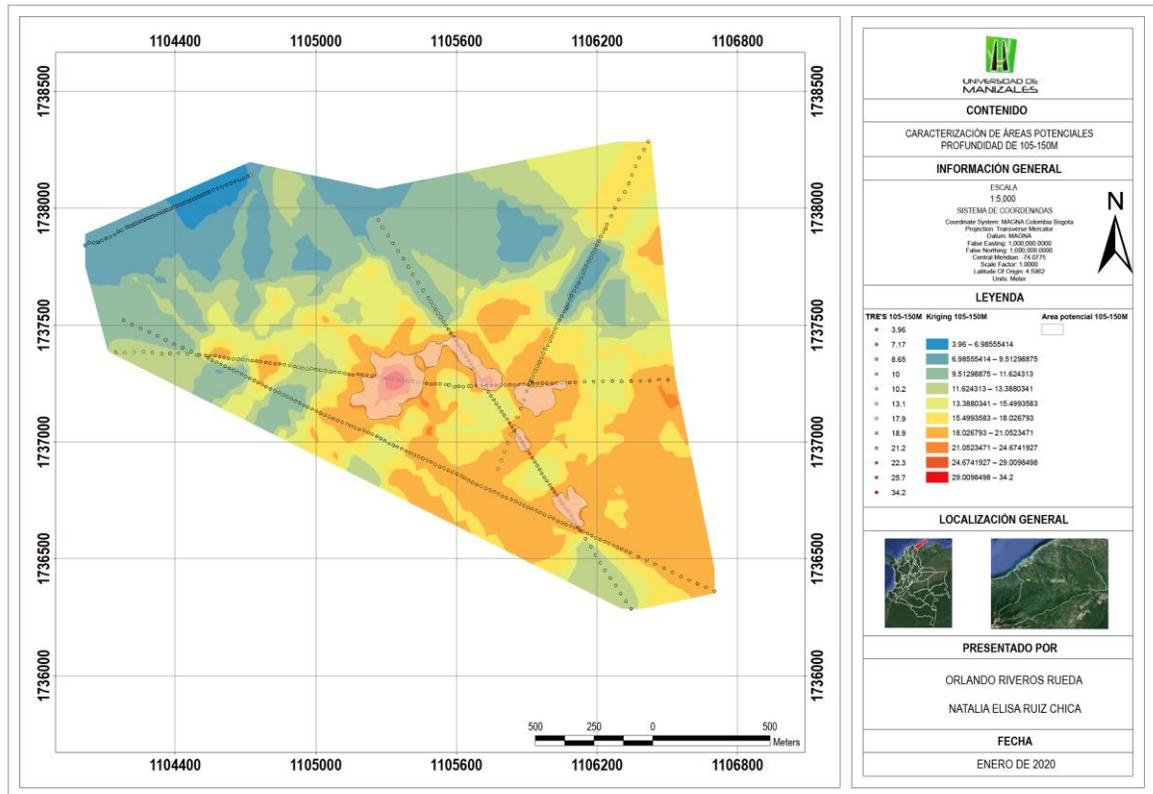


Fuente: ArcGis

Para las siguientes capas se hizo un incremento del espesor en profundidad de dichas capas ya que los datos obtenidos son muy homogéneos.

En la capa de 105 a 150 metros de profundidad se caracterizaron 4 zonas potenciales muy puntuales en el centro del área de estudio con unos valores de resistividad entre 20 y 34 Ohm.m equivalente a materiales tipo Arcilla intercalada con arenas con predominancia de arena y no alcanzando los 150 metros para esos valores. En la **Figura 63** ya se empezó a ver una disminución de los valores de resistividad estando en el rango de 3.96 a 13.38 por lo cual a profundidad no van haber muchas posibilidades de captación de agua.

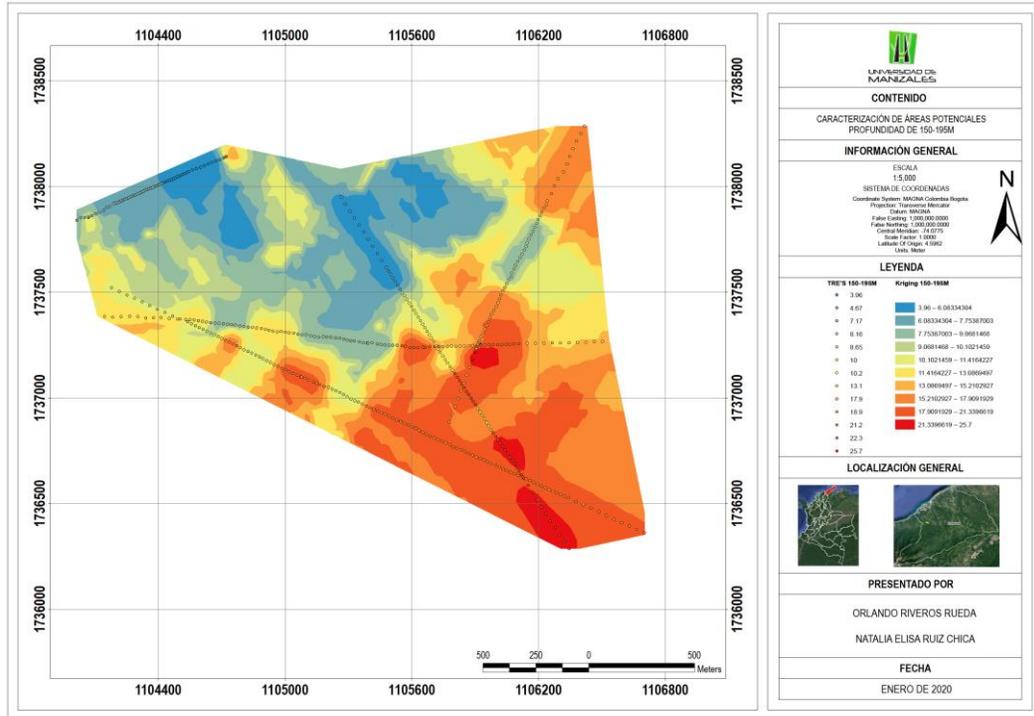
Figura 63 Caracterización zonas potenciales capa 105 a 150 metros.



Fuente: ArcGis

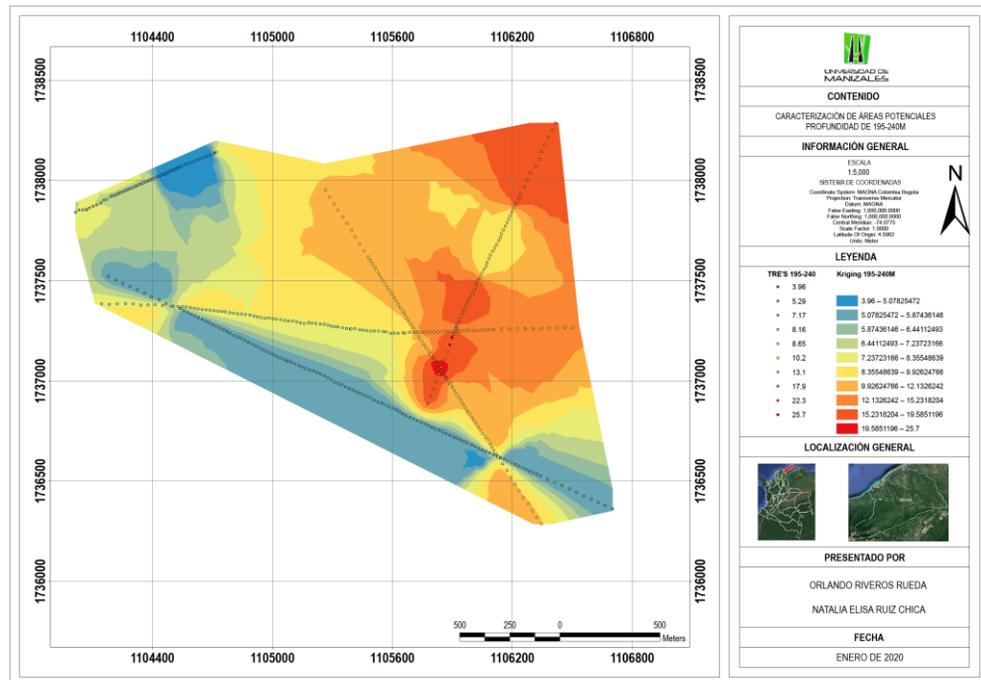
Para las capas de 150 a 195 metros y 195 a 240 metros de profundidad no se caracterizaron zonas potenciales ya que los valores de resistividad estaban entre 3.96 y 17.90 lo cual indico que el material geológico a profundidad es arcilla, por lo cual cualquier explotación a más de 150 metros de profundidad no es exitosa. Ver **Figura 64** y **Figura 65**.

Figura 64 Caracterización zonas potenciales capa 150 a 195 metros.



Fuente: ArcGis

Figura 65 Caracterización zonas potenciales capa 195 a 240 metros.



Fuente: ArcGis

Como conclusión en todas las zonas del área de estudio no se puede captar agua subterránea ya que hay ciertas condiciones geológicas y meteorológicas que afectan en la efectividad, de igual manera en las zonas caracterizadas en profundidad tendrán variaciones litológicas del subsuelo donde se encuentran los acuíferos por lo cual la extracción de agua subterránea no presentase las mismas características hidráulicas y propiedades del agua.

14 CONCLUSIONES

- De acuerdo a los análisis realizados se caracterizaron zonas potenciales de captación a partir de la interpretación de los datos geofísicos y precipitación para diferentes profundidades de investigación, con lo que se obtuvo que en las capas con profundidades entre 0 -15, 15-30, 60-75 se encontraron 5 zonas potenciales para captación con resistividad entre 20 -40 Ohm.m; las capas entre 30-45, 75-90, 105-150 se encontraron 4 zonas potenciales para la captación de agua subterránea con resistividades las dos primeras de 20-40 Ohm.m y la última con una resistividad entre 20-34 Ohm.m; en la capa entre 45-60 se encontraron 6 zonas con potencial para captación y con resistividades entre 20-40 Ohm.m.
- La precipitación afecta principalmente a los acuíferos superficiales, ya que sus recargas son de agua lluvia o escorrentía, por ende, la integración de los datos se presentó en la capa de 0 -15m.
- La zona de estudio se encuentra ubicada geológicamente sobre un material de origen fluvial, constituido principalmente por arenas y arcillas con predominancia de arenas, la cual posee permeabilidad y porosidad primaria como característica de material trasmisor y capaz de almacenar el agua subterránea.
- Estructuralmente el área de estudio se encuentra influenciada por la falla rumbo dextral de Oca, lo que hace que se presenten rasgos morfológicos característicos por estrechos valles o depresiones topográficas, es de anotar que la evidencia del levantamiento del bloque sur respecto del bloque norte es la presencia de unidades sedimentarias jóvenes.
- Geomorfológicamente la zona de estudio se encuentra en un ambiente morfogenético fluvial asociado a planicies aluviales, lo anterior se concluye después de realizadas la visita a campo y determinado el material presente en el área de influencia, el cual corresponde a depósitos aluviales recientes caracterizados por arenas intercaladas con algunos estratos o lentes de arcilla, de igual manera se caracterizó la zona como una superficie plana, relacionado su origen a depositación fluvial continua o torrencial.
- La región de la Guajira se caracteriza por presentar un clima árido y desértico, lo anterior debido a su ubicación a nivel del mar, presenta una temperatura media anual durante los últimos cuatro años entre 27.6 a 29.7°C.

- En cuanto a la precipitación se presenta un régimen bimodal, para la zona de estudio se presenta un valor anual de precipitación de los últimos cuatro años entre 0 a 10.6mm promedio mensual. En los meses de mayo y octubre se presentan los mayores picos de precipitación., con promedios anuales de los últimos 4 años de 21.1mm y 30.8mm respectivamente.
- Durante los meses de mayo y octubre, se presenta recarga de los acuíferos superficiales, de 0-15m; por lo cual es ideal el aprovechamiento para captación de agua.
- Se realizó la recopilación e interpretación de los datos geofísicos, obteniendo los perfiles de suelos característicos de la zona, asociados a valores de resistividad, dentro de lo que se observó que la zona está constituida principalmente por intercalaciones de arena y arcillas con predominancia de arenas.
- De acuerdo a los datos obtenidos en campo se logró realizar la estructura de datos en el software Arcgis que almacena información de geofísica y precipitación, esto con la finalidad de realizar los correspondientes análisis después de organizada la información, que permitieron determinar las zonas con potenciales para captación de agua subterránea.
- Se realizó mapa de isocías a partir de la base de datos de precipitación, interpolando mediante el método Kriging los datos para las estaciones del departamento de la Guajira, esto con la finalidad de estimar a partir de los datos recolectados de la precipitación una superficie de datos aproximada que permita evidenciar las precipitaciones promedio que se presentan en la zona, al igual que las líneas de tendencia que se encargan de unir los valores iguales de precipitación, con la finalidad de por medio de la interpolación conocer los diferentes valores de precipitación media de la zona de estudio.
- Se construyeron mapas de predicción a diferentes profundidades utilizando el método Kriging Ordinario con sus distintas condiciones obtenidas del análisis espacial, esto se realizó con el fin de obtener mediante el método de interpolación los rangos de valores de resistividad obtenidos mediante las tomografías y que en conjunto con información bibliográfica sirven para determinar las zonas potenciales para la captación de agua, que para la zona de estudio se encuentran en su mayoría entre 20 – 40 Ohm.m y para las diferentes capas de profundidad se encuentran entre 4 y 6 zonas óptimas para la captación de agua subterránea.
- Se realizó la manipulación y procesamiento de los datos, dentro de los cuales se obtuvieron mapas de predicción que permitieron la caracterización de las zonas potenciales para captación de agua subterránea.

15 RECOMENDACIONES

- Realizar estudios adicionales concernientes a análisis hidrogeológicos de la zona, que permitan determinar redes de flujo de agua subterránea, estos estudios permiten mejorar el análisis realizado, determinar ciertas características del fluido que son importantes para determinar origen, comportamiento a través de materiales, propiedades físicas, químicas y biológicas; todo lo anterior con el fin de conocer las propiedades del fluido al cual se le va a realizar el proceso de captación y distribución para lo que sea más convenientes, es decir, consumo humano, riego de cultivo, entre otras.
- Actualización de los datos IDEAM de precipitación, esto debido a que los análisis se realizaron para un periodo de 4 años en algunas de las estaciones cerca al área de influencia, se necesita una serie de datos más amplio que sirva para determinar las condiciones de recarga del acuífero, de igual manera a través de esta información se identifique los cambios climáticos que ha venido sufriendo la región.
- Estaciones piezometricas para realizar modelos dinámicos del agua subterránea según el material presente que permita determinar comportamiento del fluido. Dichas estaciones piezometricas se deben realizar con la finalidad de verificar el nivel freático en el subsuelo, de tal manera que en correlación con la lluvia permita identificar qué tipo de estratos son los que se recargan cuando hay mayores precipitaciones, lo que serviría para determinar con mayor afinidad en que parte del terreno a ciencia cierta se identifica la recarga para la captación.

16 BIBLIOGRAFÍA

- [1] INVEMAR, INGEOMINAS, ICP, ECOPEPETROL, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, ALMA MATER, «CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LAS PLANCHAS 7-RANCHERIA, 8-RIOHACHA, 9-URIBIA, 13-DIBULLA, 14-ALBANIA, 15-15BIS-MAICAO,» BOGOTÁ, 2009.
- [2] J. E. Chambers, P. B. Wilkinson, G. P. Wealthall, M. H. Loke, R. Dearden, R. Wilson, D. Allen y R. D. Ogilvy, «Hydrogeophysical imaging of deposit heterogeneity and groundwater chemistry changes during DNAPL source zone bioremediation,» *Journal of Contaminant Hydrology*, vol. 118, nº 1 a 2, p. 61, 2010.
- [3] T. Arora y S. Ahmed, «Characterization of recharge through complex vadose zone of a granitic aquifer by time-lapse electrical resistivity tomography,» *Journal of Applied Geophysics*, vol. 73, nº 1, p. 44, 2010.
- [4] J. Bellanova, G. Calamita, A. Giocoli, R. Luongo, M. Macchiato, A. Perrone, S. Uhlemann y S. Piscitelli, «Electrical resistivity imaging for the characterization of the Montaguto landslide (southern Italy),» *Engineering Geology*, vol. 240, nº -, p. 22, 2018.
- [5] B. D. Smerdon y J. E. Drewes, «Groundwater recharge: The intersection between humanity and hydrogeology,» *Journal of Hydrology*, vol. 555, nº -, p. 10, 2017.
- [6] Abraham Silberschatz, Henry F. Korth, S. Sudarshan, Fundamentos de bases de datos, España: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2006.
- [7] V. Olaya, Sistemas de Información geográfica, 2014.
- [8] R. G. Henao, Introducción a la geoestadística, Bogotá, 2002.
- [9] M. S. G. Rey, La escasez de Agua en el mundo y la importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación abundancia-escasez, Argentina: CAEI, 2010.
- [10] ANLA, «Concesión de aguas subterráneas,» ANLA, [En línea]. Available: <http://portal.anla.gov.co/concesion-aguas-subterранеas>. [Último acceso: 20 Enero 2020].

- [11] IDEAM, «<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>,» IDEAM. [En línea]. [Último acceso: Enero 2020].
- [12] INVEVAR-INGEOMINAS-ECOPETROL-ICP-GEOSEARCH LTDA, «Geología de la Plancha 13 Dibulla,» 2007.
- [13] P. G.J., Resistivity characteristics of Geologic Targets., 1987.