Universidad de La Salle
Ciencia Unisalle

Ingeniería Civil | Facultad de Ingeniería

2017

Identificación de puntos de extracción de agua subterránea en la media Guajira a partir de parámetros geoeléctricos

Juan Sebastián Ramos Nemocon
Universidad de La Salle, Bogotá

Juan Felipe Ramos Quintero
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil

Part of the Civil Engineering Commons

Citación recomendada

Ramos Nemocon, J. S., & Ramos Quintero, J. F. (2017). Identificación de puntos de extracción de agua subterránea en la media Guajira a partir de parámetros geoeléctricos. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/306

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Identificación de Puntos de Extracción de Agua Subterránea en la Media Guajira a partir de Parámetros Geoeléctricos

Juan Sebastián Ramos Nemocon
Juan Felipe Ramos Quintero

Universidad de la Salle
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá 2017

Identificación de Puntos de Extracción de Agua Subterránea en la Media Guajira a partir de Parámetro Geoeléctricos

Juan Sebastián Ramos Nemocon
Juan Felipe Ramos Quintero

Trabajo de Grado Presentado como Requisito Parcial para Optar el Título de Ingeniero Civil.

Directora Temática
Ing. Sandra Elodia Ospina Lozano

Universidad de la Salle
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá 2017

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a:

Nuestra directora Sandra Ospina Lozano por su dedicación, colaboración y seguimiento durante el proceso de elaboración del proyecto de investigación como a la formación recibida durante el proceso académico

Al Ingeniero Gelvis Melo por su apoyo a la investigación y colaboración para el acercamiento a la universidad Uniguajira, así como para el reconocimiento de la zona de desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Wladimir Muñiz Rodriguez por el acompañamiento y asesoramiento en el proceso de la realización de los estudios geofísicos, así como para la recopilación y obtención de información trascendental para el desarrollo del proyecto de investigación.

De la misma manera agradecemos a todos los docentes de la Universidad de La Salle que hicieron parte de nuestro proceso de formación profesional y personal, aportando de manera representativa en la obtención de valores, principios éticos y conceptos académicos que serán relevantes para el ejercer de la vida profesional.

Dedicatoria

A Dios por brindarme la salud, la perseverancia y la sabiduría para poder lograr mis metas en el trayecto de mi formación integral.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por su compañía, sus consejos, su cariño, además por fomentar para mi vida principios de responsabilidad y honestidad que han sido fundamentales para el cumplimiento de mis metas y objetivos.

A mis familiares, amigos y docentes los cuales estuvieron aconsejándome y brindando un apoyo en cada una de las etapas de mi vida personal y profesional, convirtiendo así cada momento en una experiencia relevante para lograr mi proyecto de vida.

Juan Felipe Ramos Quintero

A Dios por acompañarme a lo largo de la carrera, dándome paciencia, sabiduría y apoyo durante el desarrollo de la investigación presente.

A mis padres, dándome todo el apoyo que ellos me pudieron brindar a lo largo de la carrera, también por la fe que tuvieron siempre en mí.

A los docentes de ingeniería civil los cuales hicieron que cada semestre me enamorara más de esta hermosa profesión.

A mis amigos con los cuales desarrolle proyectos y aquellos que me dieron un apoyo y consejo en cada una de las etapas de la carrera cuando más lo necesite, las cuales formaron mi madures y mentalidad a ser un gran profesional.

Juan Sebastian Ramos Nemocón

Introducción

El proyecto de investigación formulado por la Universidad de La Salle titulado: “Estudio preliminar de zonificación en fuentes de aguas subterráneas empleando métodos geoestadísticos en la Media Guajira” ha sido dispuesto para la evaluación de formaciones geológicas que logren proporcionar agua (acuífero) en cantidades suficientes para cubrir necesidades humanas para las comunidades Wayuu. Para tal fin se adoptó un enfoque a una de las fases del proyecto la cual consistió en el uso de métodos geofísicos (geoeléctrica), donde se identifiquen puntos potenciales de extracción de agua subterránea a partir del procesamiento de información primaria y secundaria en términos del análisis de propiedades del suelo como la resistividad, espesor de capas, nivel freático y caracterización litológica.

El proyecto se delimita principalmente en la Media Guajira específicamente en los municipios de Dibulla, Albania, Riohacha, permitiendo así una cobertura suficiente de la zona de estudio. La universidad de la Guajira en conjunto con Corpoguajira fueron las entidades que permitieron y aportaron una gran parte de la recopilación de los datos y además un acompañamiento para el desarrollo del trabajo en campo.

También se planteó un modelo digital en el software Arcgis 10.1 donde a partir de la digitalización de las planchas geológicas y propiedades geoeléctricas se realizó un análisis espacial donde se analizaron 3 aspectos principales como la profundidad de la capa de agua dulce, el espeso del volumen de agua y la distancia respecto al asentamiento de las comunidades

wayuu, donde a partir de esto se elaboro un mapa de localización de los probables puntos de extracción de agua subterránea.

De tal manera el desarrollo de la investigación se convierte en una alternativa y punto de partida frente al desarrollo de un posterior proyecto de extracción de agua subterránea debido a que muestra de manera simplificada y detalla de una manera óptima la información geoeléctrica del subsuelo, lo cual generaría un gran impacto frente a las problemáticas de abastecimiento de agua en la región

Tabla de Contenido

Capítulo 1 Generalidades 1
Antecedentes 1
Planteamiento y Formulacion del Problema 10
Descripcion del Problema 10
Formulacion del Problema 12
Objetivos 126
Objetivo General 12
Objetivos Especificos..... 12
Justificación 13
Delimitacion 15
Marco Referencial 15
Marco Teorico 15
Marco Legal 25
Capítulo 2 Geologia 26
Geologia Regional 26
Geologia Local 27
Litologia 27
Municipio de Albania. 27
Municipio de Dibulla. 28
Municipio de Riohacha 30
Geomorfologia 32
Digitalizacion de Planchas Geologicas 33
Capítulo 3 Geolectrica 35
Generalidades del Metodo Geolectrico 35
Características de la resistividad del suelo 36
Recopilacion de informacion Geolectrica 37
Sondeos Electricos verticales Recopilados 37
Distribución de sondeos eléctricos verticales en la Media Guajira 41
Capítulo 4 Investigacion Geofisica 42
Generalidades del Ensayo 42
Descripción.....42
Localización.....42
Características Geolectricas. 44
Equipo y Obtención de Datos.....45
Interpretación trabajo de campo.....47
Resultados trabajo de campo.....48
Análisis trabajo de campo 50
Capítulo 5 Resultados 52

Conclusiones……..……74
Recomendaciones……76
Referencias……...78
Anexos ……80

Lista de tablas

Tabla 1. Estudios Geoeléctricos Corpoguajira..... 8
Tabla 2. Metodos Geofisicos. 16
Tabla 3. Formaciones geologicas de La Guajira 24
Tabla 4. Normativa aplicada a los ensayos..... 25
Tabla 5. Formaciones litologicas del Municipio de Albania 28
Tabla 6. Formaciones litologicas del Municipio de Dibulla 29
Tabla 7. Formaciones litologicas del Municipio de Riohacha 30
Tabla 8. Listado de SEV 38
Tabla 9. Voltajes para la operación del Equipo 45
Tabla 10. Modelacion Sondeo 48
Tabla 11. Datos de Resistividad a 25, 50, 75, 100, 200, 250 y 300 metro de cada SEV.. 53

Lista de figuras

Figura 1. Metodos Geolectricos de prospeccion 19
Figura 2. Ley de ohm. 20
Figura 3. Esquema Schlumberge. 22
Figura 4. Geologia del departamento de la Guajira 31
Figura 5. Modelo Geológico Media Guajira digitalizado en Arcgis 10.1 34
Figura 6 Distribución de sondeos eléctricos verticales recopilados (información secundaria) 41
Figura 7. Ubicación sondeo eléctrico vertical Finca Chaparral 43
Figura 8. Zona del sondeo Finca Chaparral 44
Figura 9. Earth Resistivity Instruments utilizado en el SEV. 47
Figura 10. Curva de modelacion del sondeo. 49
Figura 11. Correlación Hidrogeológica 49
Figura 12. Ubicación SEV en la Media Guajira (Dibulla, Riohacha, Albania). 52
Figura 13. Rangos de resistividad del suelo con litología aparente. 56
Figura 14. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 25 m de profundidad……....57
Figura 15. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 50 m de profundidad 58
Figura 16. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 75 m de profundidad 59
Figura 17. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 100 m de profundidad 60
Figura 18. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 150 m de profundidad 60
Figura 19. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 200, 250, 300 m de profundidad 61
Figura 20. Mapa análisis espacial espesor de sedimentos con agua dulce de subsuelos .. 62
Figura 21. Rangos de espesor de capa de sedimentos con agua dulce 63
Figura 22. Mapa análisis espacial profundidad de sedimentos con agua dulce de subsuelo 64
Figura 23. Leyenda rangos de profundidad de sedimentos con agua dulce. 64
Figura 24. Mapa relación de Análisis espaciales de espesor y profundidad de sedimentos con agua dulce del subsuelo 66
Figura 25. Mapa ubicación comunidades Wayuu, vías de acceso y puntos probables de extracción de agua subterránea en la Media Guajira 67
Figura 26. Tipos de sedimentos encontrados 68
Figura 27. Perfil estratigráfico corte A-A 69
Figura 28. Perfil estratigráfico corte B-B 70
Figura 29. Perfil estratigráfico corte C-C 72

Capítulo 1

Generalidades

Antecedentes

Las aguas subterráneas en Colombia constituyen un recurso que día a día adquiere mayor importancia, pues son reconocidas tanto por ser fuentes alternas de aprovechamiento en cuencas con acceso limitado de aguas superficiales, como por su influencia en obras civiles, túneles y carreteras y proyectos mineros, entre otros. Ellas, forman generalmente grandes embalses subterráneos, con un mayor grado de protección frente a fuentes potenciales de contaminación y a variaciones climáticas. Sin embargo, el deterioro de su calidad es más peligroso que el de aguas superficiales, ya que es más difícil de detectar y se reconoce tardíamente, cuando ya hay daños y víctimas. (Ministerio del Medio Ambiente, 2016)

Como es evidente notar, las aguas subterráneas han sido de gran interés para los temas de abastecimiento de agua, ya que durante los últimos años las cuencas hidrológicas que abastecen los principales acueductos del país han sufrido grandes variables sobre el caudal conllevando a épocas de sequias, esto se da por eventualidades naturales como lo es “El fenómeno del Niño”, lo cual ha afectado a país durante los últimos años donde La Guajira ha sido centro de noticias con respecto a problemas referentes al suministro y consumo del agua.

Noticias televisivas de la problemática en la Guajira

- Noticias RCN julio 24 2014: noticia titulada (crisis humanitaria en la guajira por falta de agua)
- Noticias Caracol 29 julio del 2014, noticia titulada (Indígenas en la Guajira están muriendo de sed)

"Los wayuu no aguantaron más la sequía y llegaron a Bogotá a pedir ayuda. Denuncian que, en su comunidad, en la mayoría niños, han muerto por esta causa."

- Noticias Tele Caribe domingo 24 enero de 2016, noticia titulada (La Guajira en el ojo de 'Dossier')
- Noticia Página El Tiempo 1 de febrero de 2016, noticia titulada (Fenómeno del niño: Enero 2016 el más caluroso en 5 años)

Además del problema con respecto a la escases del recurso, también existe problemas con las fuentes hídricas de uso para las comunidades de La Guajira, ya que estas no son aptas para el consumo humano, generando inconvenientes de salud pública, considerando la posibilidad clara de disparar algunos factores asociados al chikunguña o al mismo zika o dengue, así como problemas de deshidratación en niños y adultos mayores. (El Tiempo, 2016)

Con base en los anteriores reportajes periodísticos acerca de La Guajira con respecto a su problema latente, existen razones más que suficientes para tomar medidas, considerando el estudio de extracción de aguas subterráneas una buena alternativa, tomando como referencia el hecho que las principales fuentes hidrológicas superficiales

de La Guajira no dan abasto frente al tema de calidad y distribución. Es por ello que en el país se han estimulado a la investigación de soluciones donde los proyectos de investigación con respecto a soluciones de abastecimientos a agua apta para el consumo humano han sido de gran interés también por el apoyo de entidades como Colciencias.

El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), entidad encargada de promover las políticas públicas para fomentar proyectos encaminados a la ciencia, la tecnología y la innovación en Colombia, tiene entre ellos Ideas para el cambio que lo expone la misma entidad como "Ideas para el cambio, es un proyecto de Colciencias en el marco de la Estrategia Nacional de Apropiación Social de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, que tiene como objetivo apoyar el desarrollo de soluciones innovadoras desde la ciencia y la tecnología con la participación activa de la comunidad científica y comunidades del país para mejorar y transformar la calidad de vida de los colombianos.

Es así, como Ideas para el Cambio BIO a través de retos, convoca a innovadores, grupos de investigación, universidades, centros de desarrollo tecnológico, unidades de I+D del sector empresarial, a presentar propuestas de solución desde la ciencia y la tecnología, en alianza con comunidades que habitan en los territorios, dispuestas a trabajar de forma participativa y colaborativa." (Colciencias, 2016)

A partir de ello se han generado convocatorias para temas como Biodiversidad, Pacífico Pura Energía dirigida a comunidades pobre que tengan una necesidad compartida de acceso a energía y agua.

Este último dirigido a personas naturales y/o jurídicas pertenecientes a comunidades en condición de pobreza o pobreza extrema La Guajira, Risaralda y Putumayo, como es de notar el agua es uno de los recursos que día a día está buscando alternativas para el abastecimiento de ello. Como resultado de estos proyectos "Se desarrollaron 10 soluciones científico-tecnológicas innovadoras de acceso a agua para consumo humano a través de un trabajo colaborativo entre implementador y comunidad generando transformaciones en las condiciones sociales, ambientales y económicas de las 585 familias beneficiadas." (Colciencias, 2012) De esas soluciones, varias fueron dirigidas al departamento de La Guajira.

Sistema híbrido de abastecimiento de agua potable y agua para otros usos en la Comunidad de Perico – Camarones

El sector de Perico en Camarones, corregimiento vecino de Riohacha, es un lugar ubicado en un territorio de los más áridos de La Guajira, su abastecimiento de agua dependía únicamente de un pequeño reservorio y carrotanques de manera esporádica lo cual no lograban satisfacer las principales demandas, también no eran suficientes ni seguras en cuanto a condiciones higiénicas que atraían problemas de salud. La primera fase fue un proceso de acuerdos de trabajo conjunto con la comunidad, a partir de la socialización de los alcances y objetivos de la solución científica – tecnológica. Como solución se propuso la perforación de un pozo de 300 m de profundidad ubicado a las afueras de la comunidad, con un sistema híbrido de suministro: agua sin tratamiento (para aseo personal, riego de cultivos, etc.) a través de la acometida existente y líquido potable

en una tienda de agua administrada por la comunidad, toda ella se almacena en un tanque elevado. Las dos calidades de agua se extraerían del mismo pozo por bombeo solar. El proceso estuvo acompañado por dos expertos en agua de la Universidad de La Guajira y de talleres en los que se formaron 16 personas de la comunidad en logística, potabilización, distribución y sistematización del proyecto.

Abastecimiento de agua a través de bombeo solar

Las comunidades indígenas de Etkojo>ole, Karraisira y Paranachimana, en La Guajira, tuvieron un sistema de abastecimiento de agua bastante precario, un sistema de bombeo por molino de viento para extraer aguas subterráneas con una infraestructura deteriorada y dependían del régimen de vientos para el bombeo. En partes del año el viento no es suficiente para generar energía sobre el molino que logre abastecer el agua, lo que llevo a los indígenas a recurrir al río Ranchería y a otras fuentes no apta para el consumo humano. Como primera fase, se debió hacer una socialización con los líderes tradicionales para explicar las ventajas y desventajas de la propuesta, la cual consistía en la reparación del molino de viento, donde también se instalaría una bomba impulsada por energía fotovoltaica, con el fin de que, en épocas de pocos vientos, asegurar la extracción de agua por medio de energía solar. Luego se instalaron los paneles solares para que, junto con las reparaciones del molino, como se explica “se asegurara un sistema híbrido de energía tanto eólica como fotovoltaica”. Con las reparaciones al molino, los tanques, la escalera y el lavamanos, y la instalación de la hidrobomba, se aseguró la distribución

del agua en 23 puntos instalados. Al final la calidad del agua se monitoreó dos meses y se encontró apta para el consumo humano. (Universidad de La Guajira, 2013)

Pretratamiento y abastecimiento de agua a la comunidad Wayuú del Reservorio de la Gran Vía

La comunidad Wayuú de la Gran Vía, ubicada en La Alta Guajira, sufría dificultades para acceder al agua, en años anteriores se construyó un reservorio de gran tamaño para satisfacer la demanda por medio de recolección de aguas lluvias; lamentablemente las sequías, la exposición al aire libre que daba la posibilidad al ingreso de fauna, deterioraban la calidad de agua, generando sobre ella una fuente de enfermedades, perjudicial para la comunidad wayuu. La propuesta consistió en la potabilización del agua del reservorio, mediante un sistema compuesto por un filtro lento de arena impulsado por una hidrobomba que funciona a partir de energía solar, después el agua seria dirigida a una torre de tratamiento para mejorar las características microbiológicas del agua y una alberca de almacenaje de agua en caso de otros usos. Por último, el abastecimiento de agua potable estaría ubicado en la torre de tratamiento a pocos metros de la escuela con una llave de agua segura. La solución técnica se acompañaría de un trabajo con la comunidad para generar capacidades en el manejo del sistema de bombeo y de seis encuentros bimestrales que asegurarían el sostenimiento en el tiempo de la solución. (Fundación Bioguajira, 2014)

A partir de lo anterior es evidente notar que la mayoría de proyectos involucraron como fuente de abastecimiento la extracción de aguas subterráneas, al existir pocas

fuentes hídricas superficiales que logren asegurar el sustento de las comunidades que dependen de ello, también se encontró que las fuentes de abastecimiento no eran aptas para el consumo humano generando serios problemas de salubridad, donde se debido proceder a un tratamiento del agua para las diferentes tareas. Con ello es posible ver que es necesario identificar zonas claves de extracción donde también se evalué la calidad del agua para un futuro consumo, ya que los problemas de deshidratación en La Guajira se dan por el hecho de las enfermedades generadas por el agua sin tratar.

Para el reconocimiento de zonas acuíferas se realizan estudios hidrogeológicos donde ello involucra métodos geofísicos, para este caso se involucran estudios geoeléctricos que ha sido herramienta confiable para este tipo de estudios, donde existen antecedentes de la aplicación de estos métodos tanto a nivel nacional como internacional, donde se destacan los sondeos eléctricos verticales.

En La Guajira, los estudios de acuíferos donde se involucran sondeos eléctricos verticales han sido realizados con el apoyo de Corpoguajira, donde estos estudios junto con los de la Universidad de La Guajira, serán la información base de la investigación como información secundaria, y tomando como primaria los sondeos que se realicen en el proyecto para relacionarla con los estudios previos para analizar las posibles zonas acuíferas de extracción, para ello es importante entender el aporte de aquella información.

Corpoguajira

Es la máxima autoridad ambiental en el departamento de La Guajira, encargada de administrar los recursos naturales renovables y el ambiente, generando desarrollo

sostenible en el área de su jurisdicción. Propende por la satisfacción de sus clientes, sin distinción de etnia, ubicación geográfica o condición social, a través de servicios de calidad que involucran la mejora continua.

Corpoguajira también se ha hecho cargo de solicitaciones hechas al Grupo de Administración y Aprovechamiento de Aguas, para la exploración geoeléctrica, con el fin de evaluar la posibilidad de captar agua subterránea, todo ello para identificar las unidades o zonas acuíferas de interés, calidad química del agua contenida, a partir de método de prospección eléctrica de resistividades, dando como resultado la localización y establecer la profundidad para la perforación de un pozo exploratorio para la exploración de aguas subterráneas y con base en la información obtenida, generar un diseño de pozos previos para su extracción.

Es por ello que Corpoguajira como también la Universidad de La Guajira, han aportado información útil para dicho fin, realizando estudios de exploración Geoeléctrica para la búsqueda de agua, donde se tiene registro de los siguientes lugares de la Media Guajira:

Tabla 1. *Estudios Geoeléctricos Corpoguajira*

Estudios Corpoguajira	**Sondeos**	**Profundidad Zona Acuífero (m)**
Sector macoya - municipio de Riohacha	2	A partir de 55,1
Finca joncalito - municipio de Riohacha	1	17,2 - 60,5
San luis II - municipio de distracion - corregimiento los hornitos	1	A partir de 35,92

Estudios Corpoguajira	Sondeos	Profundidad Zona Acuífero (m)
Sector divi divi - municipio de Riohacha	1	A partir de 49,9
Finca pibijay - municipio de Riohacha	1	A partir de 16,3
Comunidad de pozo hondo - municipio de Barrancas	1	A partir de 28,4
Comunidad indigena ishamana - municipio de Maicao	3	A partir de 30
Comunidad indigena kattolumana - municipio de Manaure	3	A partir de 21
Comunidad indigena jiritjipana - municipio de Uribia	3	17,8 – 160
Comunidad indigena jatkusirra - municipio de Maicao	3	A partir de 3

Como se mencionó con anterioridad, también existen antecedentes nacionales e internacionales, donde se utilizaron métodos geoeléctricos en dichos estudios, como herramienta para el análisis y determinación de acuíferos, donde todo ello va con destino al estudio de la viabilidad de una futura extracción de aguas subterráneas.

Estudio Geoeléctrico en el Valle alto del rio Patía

A partir del convenio de cooperación entre la Corporación para la Reconstrucción y Desarrollo del Departamento del Cauca e Ingeominas, dio comienzo al proyecto, con el objetivo de abastecer agua de buena calidad y en cantidad suficiente para solucionar las necesidades tanto de consumo humano como de riego para la ganadería y agricultura de la región. Para el proyecto se levantaron 60 sondeos eléctricos verticales, distribuidos en toda el área de estudio, con mayor énfasis alrededor de los caseríos y poblaciones. Como

hipótesis inicial se esperaba que se obtuvieran valores muy altos para las rocas diabásicas del Cretáceo, valores medios a altos para sedimentos y rocas arenáceas de la secuencia terciaria-cuaternaria y valores medios a bajos para sedimentos y rocas limo-arcillosas del cuaternario y terciario, los cuales convenientemente interpretados permitirán definir las diferentes unidades y encontrar las que ofrezcan las mejores posibilidades como acuíferos. Los datos de resistividad aparente, ρ Vs AB/2, fueron procesados mediante el programa VES-4.2-S de la TNO (The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research). En el valle alto del Rio Patía, se pudieron distinguir tres grupos de resistividades: a) Altas, de 100 a 400 Ohm-m, se asocian especial mente a los sedimentos del abanico de Galindez y depósitos de terrazas compuestos por arenas y gravas semisaturadas; Medias, entre 20 y 100 Ohm-m, se asocian con arenas y/o areniscas de grana medio a fino y limolitas semisaturadas; Bajas, menores de 20 Ohm-m, asociados con sedimentos y rocas arcillosas.

Planteamiento y Formulación del Problema

Descripción del Problema.

El manejo y disponibilidad de agua potable se ha convertido en uno de los grandes retos para la salud pública en el departamento de la Guajira, el deficiente acceso al recurso se ha determinado a partir de una oferta escasa, fuentes estacionales, demanda actual, uso en actividades agrícolas y de explotación minera. Adicional a esto no existen organizaciones institucionales o empresariales que permitan una administración y distribución pertinente del recurso hídrico lo cual se traduce a insuficiencia en el sistema

Las fuentes de abastecimiento del agua potable

Para las comunidades wayuu y afrodescendientes han sufrido los procesos de contaminación del recurso hídrico producto de la explotación carbonífera, y también han sido testigos de los procesos de apropiación de las aguas para el uso minero. Así, durante los años de explotación de carbón, en La Guajira se constata un modelo que "no tiene que ver solamente con la manera mediante la cual alguien se apropia del bien natural transformado en recurso en las actividades humanas de producción, despojándola a la vez de los otros valores y usos que este bien posee. También cómo esa apropiación es además selectiva y se dirige a las aguas de mejor calidad (no contaminadas), lo que inevitablemente conduce a que sean muchos más los que se quedan sin cantidad y calidad suficiente del líquido para las actividades cotidianas" (Isch; 2011).

De acuerdo con el tercer diagnóstico sobre la calidad del agua para consumo humano realizado por la defensoría del pueblo algunos municipios del departamento de la Guajira, no se suministra agua para el consumo humano; La situación se agudiza aún más en el sector rural donde actualmente no se ha efectuado ni se tienen registros de haber realizado un control de calidad de agua en estas poblaciones. (Universidad de la Guajira, 2010)

Las determinaciones de los sitios de estudios directos permitirán la caracterización física y mecánica del suelo y del agua, este proceso de exploración puede optimizarse con un trabajo previo de geofísica, y en el caso de este estudio se realizarán estudios de geoeléctrica, permitiendo determinar los perfiles de resistividad del suelo, de

manera que el conocimiento de esto condicione la ubicación de los sondeos y futuros pozos de extracción del agua.

Formulación del Problema.

¿Cuáles son los puntos estratégicos de extracción de aguas subterráneas en las localidades de Riohacha, Albania y Dibulla de la Media Guajira?

Objetivos

Objetivo General.

Identificar puntos potenciales de extracción de agua subterránea, mediante un reconocimiento de las características geoeléctricas del subsuelo de tres localidades de la Media Guajira a partir del procesamiento de información primaria y secundaria de sondeos eléctricos verticales y/o tomografías eléctricas

Objetivos Específicos.

Analizar información relacionada con sondeos eléctricos verticales y/o tomografías eléctricas realizadas en las localidades de estudio (información secundaria), para determinar los puntos de desarrollo de los ensayos geoeléctricos.

Interpretar parámetro del suelo mediante sondeos eléctricos verticales realizados en los puntos establecidos anteriormente (información primaria).

Procesar y unificar la información primaria y secundaria, para determinar relacionar características y Parámetro geoeléctricos.

Elaborar un mapa de localización de los probables puntos de extracción de agua subterránea mediante el análisis de los Parámetro geoeléctricos obtenidos.

Justificación

La conservación de los recursos naturales es un proceso fundamental y de gran importancia para para garantizar la sostenibilidad de los procesos esenciales de la vida, la disponibilidad de agua consumible no contaminada disminuye de una manera alarmante, debido a factores que afectan directamente el medio ambiente como la contaminación de los afluentes de agua, calentamiento global, o inclusive una alta demanda de dicho recurso, generando así una serie de problemáticas sociales, ambientales, económicas en una región en particular.

El departamento de La Guajira es una zona la cual esta impactada fuertemente por problemáticas de toda índole y en todos los ámbitos, siendo el desabastecimiento de agua uno de los más relevantes y desencadenantes de efectos negativos para las comunidades habitantes de esta región. El agua que se surte en el departamento no es potable, no llega continuamente y los habitantes se quejan de que hay que pagar el servicio completo. Ocasionalmente se presentan fugas incontrolables se han puesto en conocimiento de la empresa y no se hace nada, no hay plan de contingencia en el verano, falta de mantenimiento en puntos de captación, no amplían redes, ni optimizan el servicio, así mismo no hay mantenimiento a redes y manjoles.

Respecto de la falta de continuidad, señala que es debido a los problemas que presenta el sistema de acueducto por escasez de la fuente de abastecimiento “Del total de población vigilada en 2010, la escalera de consumo, fue que prácticamente el 25.5% consumió agua potable (223.305 habitantes), considerando la suma de los porcentajes de

muestras obtenidas sin riesgo a nivel urbano y rural. El 17.4 % de la población (152.058 habitantes) consumieron agua segura, totalizando los porcentajes obtenidos de las muestras urbanas y rurales en riesgo bajo y medio. Para el 37% de la población (323.384), el agua consumida fue de bajo tratamiento e involucró muestras en riesgo alto en las dos zonas y finalmente para el 20.1% de la población (175.772 habitantes), posiblemente consumieron agua directa de la fuente o no cuentan con el suministro".

La falta de afluentes para la captación de agua superficial conlleva a buscar otras alternativas que buscan mitigar los impactos presentes allí, de ahí que se plantea la captación de agua subterránea como una posible solución para el problema de abastecimiento de agua. Para esto es muy importante realizar los estudios detallados y pertinentes que permitan recopilar la mayor cantidad de información, por ende la relevancia de nuestro proyecto la cual buscara mediante el desarrollo de unos estudios geoeléctricos en la zona de la Media Guajira, alimentar la matriz de información respecto al tema, conocer las variables relevantes de tipo geoeléctrico para la zona en estudio, analizar y generar puntos de enfoque, con la finalidad de que se tengan criterios adecuados y detallados acercar de los posibles puntos de captación de agua subterránea en la media guajira para que posterior a esto se puedan desarrollar proyectos de este tipo, los cuales generarían un impacto positivo para las problemáticas de sostenibilidad y de saneamiento básicos de la región.

Delimitación

El proyecto está enfocado en el reconocimiento de puntos probables de extracción de agua subterránea del subsuelo de la Media Guajira a partir del reconocimiento de las propiedades geoeléctricas, para esto se eligieron las localidades de Riohacha, Albania y Dibulla ya que están distribuidas en zonas geográficamente estratégicas permitiendo un análisis global de la zona. Para el desarrollo del trabajo de campo, los sondeos se financiaron con recursos propios, los cuales fueron distribuidos en puntos que se seleccionados con anterioridad respecto al análisis y retroalimentación de la información recolectada (Información Secundaria). Cabe resaltar que se contratara una entidad externa encargada de suministrar los equipos necesarios para la realización de los sondeos eléctricos verticales siendo estos desarrollados y procesados de manera conjunta donde se caracterizarán propiedades como nivel freático, salinidad del agua, resistividad que permitan determinar los puntos más apropiados para una futura extracción del recurso. La Universidad de La Guajira es el puente tanto para la recopilación de información como para la ejecución de los sondeos ya que suministro gran parte de la información secundaria, así como personal, así como personal de acompañamiento en el proceso del desarrollo de los estudios en campo.

Marco Referencial

Marco Teórico

Para la exploración de acuíferos existentes, se requiere de una serie de estudios hidrogeológicos que involucran varios tipos de exploración, donde ellos se refieren a la

ubicación de reservorios de agua subterránea que resulten apropiadas para una posterior explotación o aprovechamiento del recurso. Para ello existen métodos de exploración directa e indirecta.

En los métodos de exploración indirecta se encuentran los métodos de prospección geofísica, la cual es una rama que ha introducido un buen número de maneras de medir en la superficie de la tierra ciertos campos físicos de fuerza, cuyas anomalías se interpretan en términos de anomalías del subsuelo.

Como lo explica Auge Miguel (2008) "La Geofísica es una ciencia natural que utiliza los postulados fundamentales de la física para investigar el comportamiento de algunos componentes de nuestro planeta como el campo magnético, la densidad de las rocas, su capacidad para conducir la corriente eléctrica y las ondas sísmicas, el movimiento de los continentes y los fondos marinos". Se distinguen en gravimétrico, sísmico, magnético, eléctrico, geotérmico, radiactivo, etc.

Tabla 2. *Métodos Geofísicos (Adoptado de Ramirez, J. & Duran L. (1957)*

Método	Definición	Aparatos	Efecto Medido	Aplicaciones
Gravimétrico	Mide anomalías en la atracción de la gravedad producidas por diferencias en densidades de formaciones y estructuras.	Péndulo Gravimétrico. Balanza de torsión.	Valor de Gravedad. Valor relativo de Gravedad. Curvatura del campo.	Masas grandes de densidad diferente a sus circunvecinas: cúpula de sal, colinas sepultadas.

Método	Definición	Aparatos	Efecto Medido	Aplicaciones
Magnético	Mide anomalías del campo magnético de la tierra debidas a cuerpos geológicos de diferente grado de para o dia-magnetismo.	Brújula de inclinación y declinación. Magnetómetro. Inductores terrestres. Magnetómetro apereo.	Angulo de inclinación. Intensidad horizontal y declinación. Intensidad horizontal , vertical y total.	Ganga magnética. Cuerpos magnéticos. Rocas que contienen magnetita. Aluviones auríferos.
Sísmico	En el que se aplica energía por medio de explosiones de dinamita y se miden el tiempo y distancia en la propagación de las ondas de refracción y reflexión.	Sismógrafos o Geófonos.	Tiempo y distancia en la propagación de las ondas elásticas.	Estructuras geológicas que presentan gran contraste en elasticidad y densidad. Cúpulas de sal, anticlinales, fallas, problemas de cimientos y caminos.
Eléctrico	Mide la distribución de la energía eléctrica de las corrientes naturales del terreno..	Electrodos. Potencióm. Generador C.A. y C.D. Galvanómetro. Audífonos. Puente de Wheatstone.	Diferencias de potencial. Líneas equipotenciales. Dirección e intensidad de corriente. Dirferencias de fase. Resistencia.	Muchos tipos de gangas, especialmente sulfuros. Diferencias notables en conductibidad. Capas Acuiferas.

Método	Definición	Aparatos	Efecto Medido	Aplicaciones
Radioactivo	Mide la descomposición de minerales de uranio, radio, torio, etc.	Contacto de Geiger. Cintilómetro. Electroscopio. Geigerscopio.	Descomposición espontánea de minerales radioactivos.	Minerales, elementos y aguas radioactivas.

Método Geoeléctrico

Este método se aplica a las rocas o formaciones que exhiben diferencias en sus conductividades eléctricas comparadas con las de los estratos circundantes. El método eléctrico puede usar la espontánea polarización de las rocas o puede introducir corrientes alternas o continuas para averiguar la resistividad de los estratos.

En el primer caso depende del hecho de que las sales, ácidos y gases disueltos en la humedad que contienen las rocas reaccionan eléctricamente con los sulfuros metálicos conductores, creando espontáneamente una polaridad eléctrica en el cuerpo sulfuroso. En otras palabras, la masa sulfurosa es una bacteria eléctrica natural y subterránea, en la que una corriente fluye continuamente de un polo profundo a otro que está cercano a la superficie.

El segundo caso consiste en pasar una corriente eléctrica conocida entre dos puntos de la Tierra, más o menos separados entre sí y luego observar la distribución e intensidad del campo eléctrico resultante. Hay rocas, como las sulfurosas, que son excelentes conductores; otras, como el cuarzo y las zonas silicificadas, que ofrecen gran

resistencia (miles de ohmios por metro cuadrado sobre metro lineal)". (Ramirez, J. & Duran L,1957)

Para generar una prospección geoeléctrica del punto de análisis, los métodos más empleados son los sondeos eléctricos verticales (SEV), las tomografías eléctricas y calicatas eclécticas (CE).

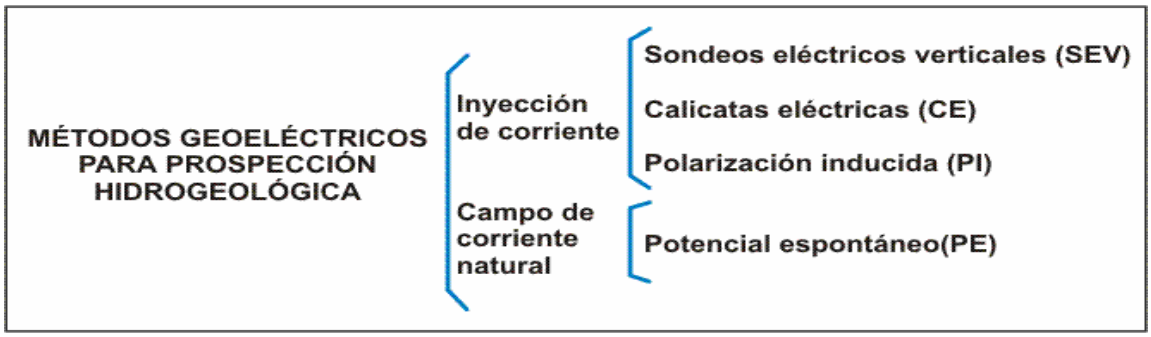

Figura 1. Métodos geoeléctricos de prospección (Auge, 2008)

Ya que este método actúa a partir el flujo de una corriente eléctrica sobre las rocas o los sedimentos, es posible hacer explicación de ello a partir de la Ley de Ohm que establece que la caída de potencial ΔV entre 2 puntos por los que circula una corriente eléctrica de intensidad I, es proporcional a ésta y a la resistencia R que ofrece el medio al pasaje de la corriente.

Según Estrada Luis (2012): "La Resistividad es la propiedad más importante. Se define como la resistencia medida en Ohmios entre dos caras opuestas de un cubo de material con dimensiones unitarias. Si llamamos R a la resistencia, L a la longitud y S al área de las caras, la Resistividad ρ viene dada como:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L}$$

La unidad para ρ es en Ohmios-metro (Ω.m)

La ley fundamental en que se basa toda la geoeléctrica es la Ley de Ohm, mediante la cual se relaciona el Potencial Eléctrico V (Tensión o Voltaje) con la Intensidad de Corriente I y la Resistencia R del medio por el cual circula la corriente.

$$V = I \cdot R$$

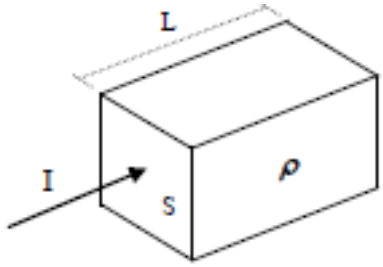

Figura 2. Ley de Ohm (Estrada, 2012)

Como lo menciona Auge Miguel (2008), en lo que consiste rocas y sedimentos secos la resistividad es elevada, por lo que actúan como semiconductores, o conductores de baja capacidad, pero los resultados cambian de sobremanera cuando las fisuras o poros presentes están ocupados por agua, donde se nota una disminución sobre la resistividad, o lo que es lo mismo en aumento en la capacidad de conducción de la corriente eléctrica. Además del grado de saturación también incide en la resistividad del medio, el contenido salino del agua; a mayor salinidad, menor resistividad y viceversa.

Los contrastes en las resistividades son los que permiten aplicar exitosamente los métodos de prospección geoeléctrica mediante la inyección de corrientes continuas.

Sondeos eléctricos verticales (SEV)

"La finalidad del SEV es averiguar la distribución vertical en profundidad de las resistividades aparentes bajo el punto sondeado a partir de medidas de la diferencia de potencial en la superficie. Se utiliza sobre todo para detectar y establecer los límites de capas horizontales de suelo estratificado." (Arias D.,2011)

"La profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos inyectores AB. Si la distancia entre los electrodos AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad, pero su densidad disminuye. Para un medio isótropo y homogéneo, el 50% de la corriente circula por encima de la profundidad AB/2 y el 70.6% por encima de una profundidad AB". (Orellana, 1982)

El objetivo de un SEV es la obtención de un modelo de variación de la resistividad aparente en función de la profundidad, a partir de mediciones realizadas en superficie. La profundidad alcanzada por la corriente aumenta a medida que crece la distancia AB, aunque generalmente no existe una relación de proporcionalidad entre ambas.

Medición de campo

Para la realización de un SEV normal se requiere de un operador y 3 a 4 ayudantes para mover los electrodos. Luego de establecer la ubicación del sondeo, la dirección de sus alas e instalar el instrumental de medición en el centro, se colocan los 4

electrodos (A M N B) de acuerdo al dispositivo a utilizar. Se compensa el potencial natural del terreno y se lo energiza con una corriente continua de intensidad I en mA (electrodos AB) y se lee la diferencia de potencial V en mV (electrodos MN). Los valores se vuelcan en una tabla y se calcula la resistividad aparente.

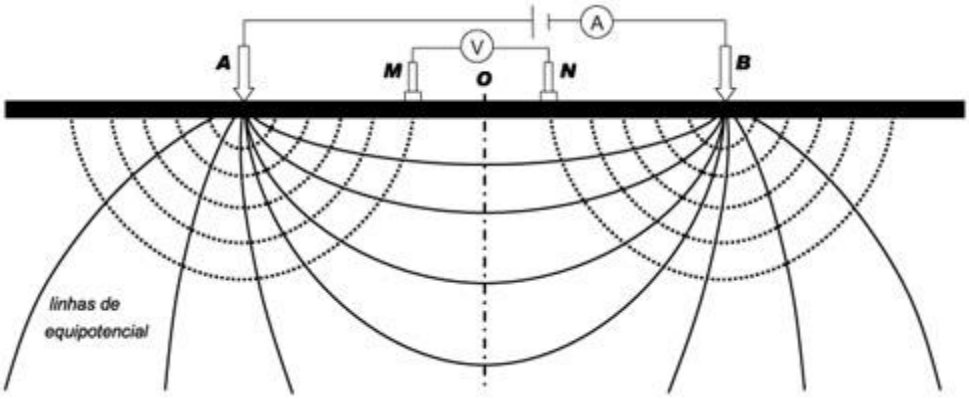

Figura 3. Esquema Schlumberge. (Braga, 2009)

específica o real e por debajo del sondeo, tomando como base la curva de resistividad aparente (CRA).

Aguas Subterráneas

"Las aguas subterráneas son las que se encuentra por debajo de la superficie, confinada a una presión igual o mayor que la atmosférica, satura el medio rocoso a través del cual se mueve y se almacena.

El líquido puede presentarse en espacios abiertos de las unidades litológicas tales como hendiduras entre los cristales o granos, fallas, diaclasas, contactos litológicos y otras discontinuidades, así como en cavidades en las rocas originadas por enfriamiento, disolución o intemperismo.

Asimismo, el desequilibrio originado por la interacción de las diferentes fuerzas, como las presiones diferenciales y la gravedad, hacen que el agua se mantenga en movimiento constante, creando depósitos que abastezcan a pozos y manantiales, conservando el flujo de algunos arroyos durante los periodos de sequía." (Servicio Geológico Mexicano, 2013)

"Las aguas subterráneas son un recurso natural valioso que, como tal, debe ser protegido de la contaminación química y del deterioro. Esta circunstancia es especialmente importante para los ecosistemas dependientes de esta agua y de su utilización para la obtención de agua destinada al consumo humano." (Molinero J., Ortuño, F. & Valverde, M., 2008)

La geología es uno de los factores que ejerce mayor influencia sobre la presencia y distribución del agua subterránea en la corteza terrestre. El ambiente físico donde ocurren los procesos hidrogeológicos es netamente geológico; las aguas subterráneas se acumulan y se mueven en el interior de las formaciones geológicas (roca-sedimento). El tipo de roca, las estructuras geológicas y los depósitos no consolidados, condicionan el funcionamiento de los acuíferos.

En La Guajira se encuentran presente las siguientes formaciones geológicas:

Tabla 3. *Formaciones geológicas de La Guajira (adaptado de* Ecoadministar, 2015)

Periodo	Formación	Composición
Periodo Neógeno	Formación Castilletes	Calizas margosas de color gris, arcillolitas limosas y capas de areniscas
	Formación Jimol	Calizas arenosas masivas, escombros de conchas y algas, con areniscas calcáreas de color blanco a gris.
	Formación Uitpa	Calizas margosas, calizas arrecifales y calizas arenosas de colores grises de abundante.
Periodo Paleógeno	Formación Siamana	Lutitas y arcillas limosas de color gris a café oscuro, areniscas de grano fino, intercaladas con areniscas calcanias.
	Formación Macarao	Areniscas glauconiticas de color verde-café, arcillolitas de color gris claro, y calizas masivas fosilíferas.
Periodo Cretácico	Formación Colon	Calizas cristalinas de color negro, intercaladas con lutitas calcáreas negras de láminas delgadas.
	Formación La Luna	Base de cherts negros finalmente estratificados e intercalados con delgadas capas de calizas de color negro.
	Grupo Cogollo	Lutitas limosas, intercaladas con calizas, limosas de color negro a café oscuro.
	Formación Yurama	Calizas masivas en gran proporción y lutitas calcáreos, margas y areniscas calcáreas.
	Formación Palanz	Cuarzoarenitas de grano grueso y areniscas cuarzosas localmente arcósicas, areniscas conglomeráticas y conglomerados arcósicos de color café rojizo.

Marco Legal

Con respecto a la prospección geoeléctrica se tienen en cuenta algunas normativas con el propósito de realizar un proceso acorde frente al desarrollo y análisis de las metodologías usadas a lo largo del proyecto investigativo. En la tabla 4 se describe el contenido normativo aplicado.

Tabla 4. *Normativa aplicada a los ensayos*

Norma	Relación Con el Proyecto
ASTM-D6431-1999	Esta guía resume el equipo, los procedimientos Y los métodos de interpretación para la evaluación de los Propiedades eléctricas de los materiales del subsuelo, además principales característica, como los son sus poros, fluidos, utilizando el método de resistividad de corriente continua (DC). las propiedades eléctricas de los materiales del subsuelo. Se hacen a partir de la superficie de la tierra y producen una resistividad. Estos datos se pueden interpretar para obtener una estimación de La profundidad, el espesor y la resistividad de las capas subsuperficiales.
Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos	Se solicitan estudios para realizar un modelo geológico-geofísico y generar mapas de isoresistividades a distintas profundidades que permitan diferenciar áreas con condiciones geoeléctricas similares y zonas de interés hidrogeológico, diferenciadas por formaciones geológicas, todo ello para identificar las áreas de influencia directa.

Capítulo 2

Geología

Geología Regional

La península de la Guajira está situada en el extremo norte de Colombia, en la parte más septentrional de América del Sur, cerca de la zona de contacto de las placas Caribe y Suramericana.

Desde el punto de vista geológico el departamento de la Guajira es el resultado de la interacción de las placas Caribe y suramericana, generando tres grandes ambientes geológicos separados entre sí por grandes sistemas de fallas, las más antiguas de dirección N-NE y las más recientes con dirección E-W.

Las fallas antiguas de dirección N-NE corresponden a fallas de cabalgamiento que continúan la tendencia estructural de las cordilleras Central y Oriental de Colombia, las cuales han sido cortadas y desplazadas por fallas más recientes de dirección E-W, generando estructuras de un ambiente tectónico compresivo característico del límite noroccidental de la placa Suramericana; este evento ha configurado por una parte el levantamiento y rotación hacia el este de la Sierra Nevada de Santa Marta y por otro la formación de La Península de La Guajira y el levantamiento de la Serranía de La Macuira en el norte del departamento. Las fallas más representativas se conocen con el nombre de Falla de Oca al norte de la Sierra Nevada de Santa Marta y Falla Cuiza el sur de la Serranía de Macuira.

Como resultado de los procesos orogénicos que han dado origen a la península de La Guajira, eventos asociados a la formación de los andes suramericanos, se han identificado tres grandes bloques geológico-estructurales identificados así:

1. Corresponde a la zona ubicada al norte de la falla de Oca hasta la falla de Cuiza conocida como la baja Guajira y desde la falla de Cuiza hasta el norte de la península en lo que se conoce como la alta Guajira que incluye la Serranía de Macuira, Carpintero y Simarúa.

2. Bloque entre la falla de Oca hasta la falla regional Santa Marta – Bucaramanga en el departamento del Magdalena en el cual se distingue la Sierra Nevada de Santa Marta.

3. Bloque que comprende desde la falla Ranchería hasta la Serranía del Perijá que incluye el valle del rio Cesar y Ranchería y las estribaciones de la cordillera oriental.

Geología Local

Litología

A continuación, se presenta una descripción detallada de las unidades litológicas de los municipios base del desarrollo de la investigación.

Municipio de Albania

En la tabla 5, se describe las formaciones litológicas presentes en el municipio de Albania.

Tabla 5. *Formaciones litológicas del Municipio de Albania.*

Edad	Clasificación Litológica	Descripción de la composición del suelo	Área (Ha)	% De extensión en el municipio
Paleogeno-Eoceno	E2	Sedimentitas eocenas indiferenciadas. Areniscas, areniscas calcáreas, lutitas y carbón	47,48	8,70
Cretacico-Superior	K2	Cretácico Superior indiferenciado. Grupo Cogollo formaciones la luna y colón.	19,38	3,55
	K2i	Grupo Cogollo. Parte inferior del Cretácico Superior.	15,58	2,85
	K2s	Formaciones la luna y Colón. Parte superior del Cretácico Superior.	5,17	0,95
	KE1h	Formación Hato Nuevo. Lutitas arenosas glauconiticas, limolitas micáceas, calizas fosilíferas y arcillolitas.	69,52	12,73
Neogeno-Plioceno	N2m	Formación Monguí. Arcillolitas arenosas, areniscas y conglomerados.	103,24	18,91
Cuaternario-Holoceno	Qa	Arenas eólicas, dunas. Arenas en depósitos con geoformas de dunas.	48,12	8,81
	Qal	Depósitos de cauce aluvial. Sedimentos areno arcillosos.	101,70	18,63
	Qll	Depósitos de llanura aluvial, en parte terrazas aluviales en la cuenca del rio cesar. Sedimentos semiconsolidados arenosos y arcillosos.	135,48	24,81

Los depósitos de llanura aluvial, terrazas aluviales, sedimentos semiconsolidados, arenosos y arcillosos poseen un área de 135,48 km^2 y corresponde al 24,81% del área total del municipio, esta composición litológica se encuentra enmarcada en el período Cuaternario-Holoceno.

Municipio de Dibulla

En la Tabla 6, se describe las formaciones litológicas presentes en el municipio de Dibulla.

Tabla 6. *Formaciones litológicas del Municipio de Dibulla.*

Edad	Clasificación Litológica	Descripción de la composición del suelo	Área (Ha)	% de extensión en el municipio
Jurasico-Superior	Jkv	Volcanitas Ácidas De La Sierra Nevada De Santa Marta Ignimbrita Los Clavos, Riodacita Los Tábanos, Riolita De Golero.	19,40	1,11
Neogeno-Mioceno	N1m	Sedimentitas Miocenas Indiferenciadas. Arenisca Arcillosa Grauvacas Y Conglomerados	14,06	0,80
Neogeno-Plioceno	N2m	Formación Monguí. Arcillolitas Arenosas, Areniscas Y Conglomerados.	22,87	1,31
Precambrico	Peg	Granitoide De La Sierra Nevada De Santa Marta Cuarzodiorita, Granodiorita, Cuarzomonzonita Y Granito.	77,82	4,45
	Pem	Grupo Maicura. Formaciones Esquistos De Jutùrurhu Y Neis De Uray. Esquistos Neises, Anfibolitas.	11,33	0,65
	Pztc	Formación Corual. Conglomerado Basal, Limolistas, Grauvacas, Flujos Volcánicos Basálticos.	307,25	17,58
Cuaternario-Holoceno	Qal	Depósitos De Cauce Aluvial. Sedimentos Areno Arcillosos.	134,84	7,71
	Qll	Depósitos De Llanura Aluvial, En Parte Terrazas Aluviales En La Cuenca Del Rio Cesar. Sedimentos Semiconsolidados Arenosos Y Arcillosos.	84,76	4,85
	Qt	Terrazas Aluviales. Depósitos De Gravas.	78,72	4,50
Triasico	Tg	Formación Guatapurí. Flujos Volcánicos Keratofiricos, Brechas Y Aglomerados Piroclasticos, Areniscas Y Sedimentitas Volcanoclásticas	50,00	2,86

La formación Corual, con características de conglomerados basal, limolista, grauvacas, flujo volcánico basálticos posee un área de 307,25 km2 y corresponde al 17,58% del área total del municipio, esta composición litológica se encuentra enmarcada en el periodo Precámbrico.

Municipio de Riohacha

Las formaciones geológicas presentes en el municipio de Riohacha hacen referencia al periodo Jurásico-Superior en la Tabla 7 se describe las formaciones litológicas presentes en el municipio de Riohacha.

Tabla 7. *Formaciones litológicas del Municipio de Riohacha*.

Edad	Clasificación Litológica	Descripción de la composición del suelo	Área (Ha)	% de extensión en el municipio
Jurasico-Superior	JKv	Volcanitas ácidas de la Sierra Nevada de Santa Marta Ignimbrita Los Clavos, Riodacita Los Tábanos, Riolita de Golero.	101,04	3,28
Cretacico-Superior	K2i	Grupo Cogollo. Parte inferior del Cretácico Superior.	11,37	0,37
Neogeno-Mioceno	N1m	Sedimentitas miocenas indiferenciadas. Arenisca arcillosa grauvacas y conglomerados	46,24	1,50
Neogeno-Plioceno	N2m	Formación Monguí. Arcillolitas arenosas, areniscas y conglomerados.	820,99	26,66
Precambrico	PEg	Granitoide de la Sierra Nevada de Santa Marta Cuarzodiorita, granodiorita, cuarzomonzonita y granito.	752,28	24,42
	PEm	Grupo Maicura. Formaciones Esquistos de Jutùrurhu y Neis de Uray. Esquistos neises, anfibolitas.	6,96	0,23
Cuaternario-Holoceno	PZTc	Formación Corual. Conglomerado basal, limolistas, grauvacas, flujos volcánicos basálticos.	147,65	4,79
	Qa	Arenas eólicas, dunas. Arenas en depósitos con geoformas de dunas.	1,46	0,05
	Qal	Depósitos de cauce aluvial. Sedimentos areno arcillosos.	558,89	18,15
	Qc	Depósitos costeros de playón y barra, pantanos y ciénagas. Arcillas arenáceas y arenas.	32,98	1,07
	Qll	Depósitos de llanura aluvial, en parte terrazas aluviales en la cuenca del rio cesar. Sedimentos semiconsolidados arenosos y arcillosos.	430,76	13,99
	Qt	Terrazas aluviales. Depósitos de gravas.	130,01	4,22

Edad	Clasificación Litológica	Descripción de la composición del suelo	Área (Ha)	% de extensión en el municipio
Triasico	Tg	Formación Guatapurí. Flujos volcánicos keratofiricos, brechas y aglomerados piroclasticos, areniscas y sedimentitas volcanoclásticas	20,29	0,66

Formacion mongui, Arcillolitas arenosas, areniscas y conglomerados, poseen un área de 820,99 km2 y corresponde al 26,66% del área total del municipio, esta composición litológica se encuentra enmarcada en el periodo Neogeno-Pliocen

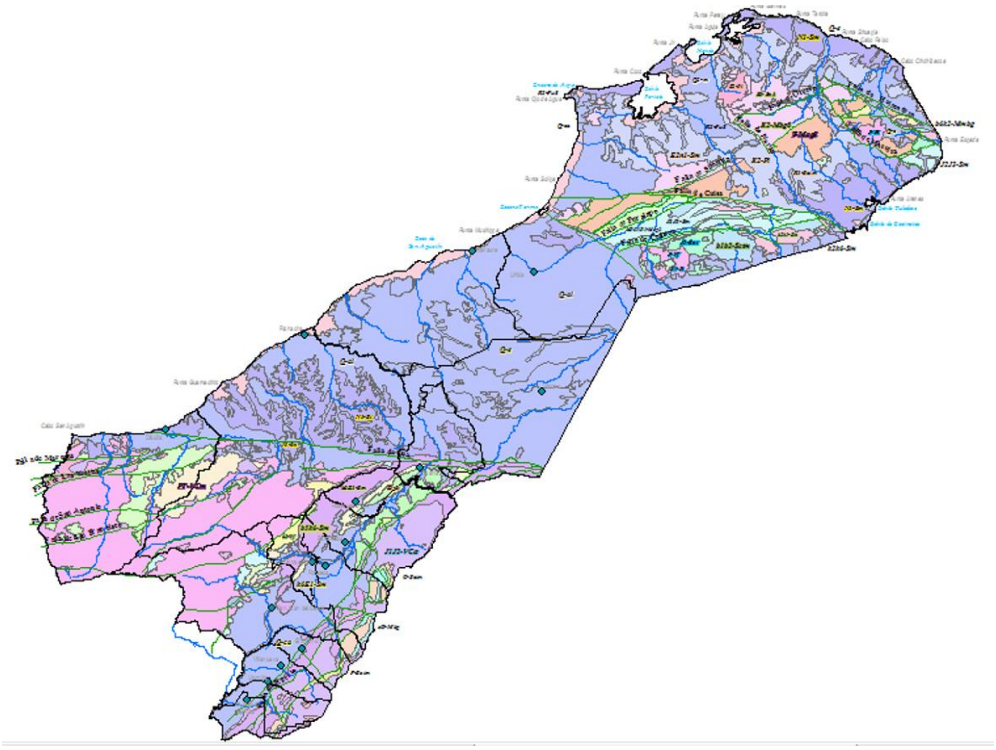

Figura 4. Geología del departamento de La Guajira (Digitalización Arcgis 10.1)

Los municipios de Dibulla, Riohacha y Albania por encontrarse localizado en la zona denominada Media Guajira presenta características geológicas determinadas principalmente por pertenecer al período geológico Cuaternario donde prevalecen los

depósitos fluviales lacustres, glaciales, marinos, coluviales, eólicos y deltáicos. Dentro del período Terciario prevalecen los sedimentos lacustre o del ambiente lagunar, principalmente conglomerados, pequeñas zonas de plegamientos y localmente mantos de Carbón; el período Cretáceo también hace presencia en el territorio dentro del cual sobresalen Sedimentos epicontinentales como Lutitas Negras y Calizas en el área de la Cordillera.

En el área de estudio se presentan rocas desde el Cretácico hasta el Cuaternario. Las unidades más antiguas se encuentran en el límite sur del municipio de Maicao, y constituyen la Serranía del Perijá, donde se pone en contacto las rocas del Mesozoico (al sur) con rocas del Terciario y Cuaternario al norte. Las rocas del Cretácico se conocen como grupo Calcáreo (Ksc) y están conformadas por rocas sedimentarias, principalmente calizas de color negro a gris, macizas y compactas.

Las rocas de edad Terciario corresponden a la Formación Monguí (Tpm). Son arcillolitas arenosas semicompactas, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y conglomerados semicompactos, con cantos hasta de cinco centímetros de origen ígneo, encerrados en una matriz areno arcillosa. El espesor total de esta secuencia sedimentaria en el área de estudio se estima en 200 metros.

Geomorfología

Los sucesos geomorfológicos desarrollados en el departamento de La Guajira están asociados a los grandes eventos tectónicos que dieron origen a la sierra Nevada de Santa Marta y a las serranías, debido al desgaste de estas estructuras por acción del agua

y del hielo de los periodos glaciales e interglaciares, al levantamiento de sedimentos depositados en ambientes someros ricos en sales en la planicie de la península, a la acción del viento con sus procesos de arrastre y depositación y a la acción de las corrientes del mar con sus acantilados y playas.

Digitalización Planchas Geológicas

Como componente principal para determinar los criterios de frontera y delimitación del proyecto se planteó un modelo digital de la media Guajira a partir de la digitalización de las planchas geológicas, con el fin de generar un análisis espacial que permita identificar zonalmente los posibles puntos de extracción de agua subterránea. Para este fin se tomaron las planchas geológicas, las cuales fueron sacadas del Servicio Geológico Colombiano SGC de la correspondientes a la zona de estudio, (planchas 7,8,9,12,13,14,15,19,20,21,22), donde se sustrajo la geología, Fuentes hídricas, división política de los municipios, red de conexión vial, entre otras. Cabe mencionar que el modelo fue complementado con información de localización de las comunidades Wayuu, la ubicación de los SEV y sus respectivas características permitiendo evaluar los criterios necesarios para la finalidad del proyecto.

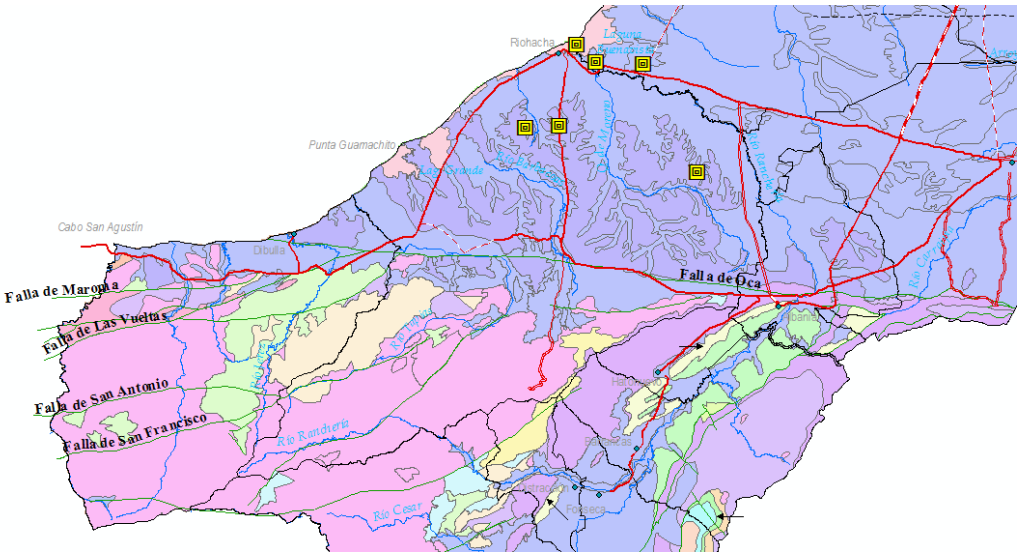

Figura 5. Modelo Geológico Media Guajira digitalizado en Arcgis 10.1

Se realizó una descripción de la geología regional y local dando un criterio de partida trascendental para el desarrollo de la investigación. En la Figura 5 se muestra el mapa geológico generado, donde se evidencia la distribución geológica perteneciente al área de estudio, carreteras de conexión municipal y además una distribución zonal de las comunidades wayuu adyacentes a la región.

Capítulo 3

Geoeléctrica

Generalidades del Método Geoeléctrico

La geofísica efectuada la media Guajira está basada en el método de los SEV, con el cual se puede obtener información de modo rápido y económico algunas de las características geológicas y geotécnicas del subsuelo, siempre y cuando existan contrastes apreciables de resistividad entre los diferentes materiales presentes en el subsuelo. Ésta es una técnica geofísica propia de la Geología, permite la posibilidad de conocer en tiempo breve la organización lateral y vertical de los diferentes tipos de rocas y suelos, constituyentes de la litología de un sitio en particular deduciendo las condiciones de permeabilidad; además determina la profundidad y relieve del lecho rocoso sobre el cual están depositados sedimentos y suelos; y la presencia de capas saturadas con agua.

El método eléctrico de resistividad, también denominado Geoeléctrico, es el más utilizado en la exploración de aguas subterráneas. Con este método se obtiene una buena interpretación geológica del subsuelo, se localizan zonas saturadas con agua y se determina la calidad del agua presente.

En la naturaleza, el subsuelo no es homogéneo ni isotrópico, la resistividad calculada es una resistividad aparente del medio, y es función de las resistividades y espesores de las capas, de la intensidad de la corriente aplicada, del potencial generado así como de la geometría o disposición de los electrodos. De las resistividades aparentes se deducen las resistividades verdaderas y el espesor de las capas haciendo uso de

métodos físico-matemáticos. De la correlación de estos Parámetro y los datos existentes se obtiene la información geológica e hidrológica del subsuelo.

El método geoeléctrico consiste básicamente en introducir una corriente desde la superficie a través del subsuelo, cuya profundidad de flujo aumentará al hacer cada vez mayor la separación entre los focos de corriente, su potencial se mide con métodos convencionales. La resistividad del medio atravesado por la corriente se calcula aplicando la Ley de Ohm, la cual relaciona el comportamiento físico de las rocas y el iónico de los fluidos contenidos en los poros. Esta ley expresa que la diferencia de potencial entre dos puntos es igual a la intensidad de la corriente, multiplicada por la resistencia del conductor.

Características de la resistividad del Suelo

La resistividad eléctrica varía entre diferentes materiales geológicos dependiendo principalmente de las variaciones en contenido de agua y los iones disueltos en el agua. Por ello, pueden usarse las investigaciones sobre la resistividad para identificar zonas con diferentes propiedades eléctricas, que pueden entonces hacer referencia a distintos estratos geológicos. La resistividad también llamada resistencia específica, que es la inversa de la conductividad o conductancia específica.

Los minerales más comunes que forman los suelos y las rocas tienen una resistividad más alta en condiciones secas, y la resistividad de suelos y rocas es por lo tanto función de la cantidad y calidad de agua en los poros y fracturas.

Recopilación de información Geoeléctrica

Con el fin de generar criterios trascendentales que permitan determinar zonas óptimas para la extracción de agua subterránea en la media Guajira a partir de métodos geoeléctricos, fue necesario una recopilación exhaustiva de información geolectrica que en primera medida nos permitió conocer la distribución puntual de los Sondeos eléctricos y las características preliminares de la zona. Como segunda medida seleccionar la zona de ejecución de los SEV (Información Primaria), todo esto para corroborar la información de un posible punto de extracción.

Para la recopilación Corpoguajira y Uniguajira fueron las principales fuentes de suministro de información, a partir de estudios realizados los cuales han tenido como objetivo de determinar la posibilidad de captación de agua subterránea mediante la evaluación hidrogeología, de municipios de la Guajira.

Sondeos eléctricos verticales recopilados

Los SEV que competen las localidades de estudio en la Media Guajira son un total de sesenta (60), divididos en once (11) SEV ubicados en Dibulla, cuarenta (40) en Riohacha y nueva (9) en Albania. En la Tabla 8 se muestra el listado de los sondeos especificando el nombre del sondeo, el municipio y sus respectivas coordenadas.

Tabla 8. *Listado de SEV*

Sev (Nombre)	Municipio	Latitud	Longitud	Configuración
Santa Clara	Riohacha	N 11º28'46.7”	W 72º54'58.6”	Schlumberger
Uyatpana	Riohacha	N 11º27'06.8”	W 72º52'54.2”	Schlumberger
Betania	Riohacha	N 11º28'49.4”	W 72º59'01.9”	Schlumberger
Galilea	Riohacha	N 11º28'30.8”	W 72º58'34.4”	Schlumberger
Kouhatchon	Riohacha	N 11º24'56.5”	W 72º53'20.8”	Schlumberger
Sibate	Riohacha	N 11º15'56.0”	W 72º49'38.7”	Schlumberger
El Brazil	Riohacha	N 11º20'57.2”	W 72º53'37.5”	Schlumberger
Plan Bonito	Riohacha	N 11º25'50.9”	W 72º45'33.8”	Schlumberger
Makurema	Riohacha	N 11º26'35.9”	W 72º44'52.9”	Schlumberger
Sabana De Piedra	Riohacha	N 11º22'11.6”	W 72º48'45.5”	Schlumberger
Causalak	Riohacha	N 11º21'46.2”	W 72º42'22.0”	Schlumberger
Sector Macoya	Riohacha	N 11º29'45.4”	W 73º00'06.3”	Schlumberger
Finca Joncalito	Riohacha	N 11º15'02.8”	W 72º48'02.6”	Schlumberger
Sector Divi Divi	Riohacha	N 11º30'31.0”	W 72º54'13.8”	Schlumberger
Finca Pibijay	Riohacha	N 11º17'44.1”	W 73º04'57.2”	Schlumberger
La Esperanza	Riohacha	N 11º05'09.3”	W 72º59'56.7”	Schlumberger
Naranjas	Riohacha	N 11º05'37.3”	W 73º06'51.7”	Schlumberger
Mi Paraiso	Riohacha	N 11º05'42.7”	W 73º06'41.9”	Schlumberger
San Carlos	Riohacha	N 11º09'06.8”	W 72º56'41.4”	Schlumberger
El Sequion 1	Riohacha	N 11º11'12.2”	W 72º47'59.7”	Schlumberger

Sev (Nombre)	Municipio	Latitud	Longitud	Configuración
El Sequion 2	Riohacha	N 11º11'24.2”	W 72º47'55.5”	Schlumberger
El Sequion 3	Riohacha	N 11º11'40.3”	W 72º47'49.6”	Schlumberger
El Sequion 4	Riohacha	N 11º11'22.3”	W 72º48'14.0”	Schlumberger
El Sequion 5	Riohacha	N 11º11'38.9”	W 72º40'03.5”	Schlumberger
Maniature 1	Riohacha	N 11º11'06.1”	W 72º42'33.2”	Schlumberger
Maniature 2	Riohacha	N 11º11'08.3”	W 72º41'44.8”	Schlumberger
Maniature 3	Riohacha	N 11º11'08.7”	W 72º41'33.9”	Schlumberger
Sabana Grande	Riohacha	N 11º21'20.3”	W 73º03'07.9”	Schlumberger
Mira Mar	Riohacha	N 11º13'44.4”	W 72º54'10.9”	Schlumberger
Kaneguakat	Riohacha	N 11º25'18.5”	W 72º41'34.0”	Schlumberger
La Plazoleta	Riohacha	N 11º23'50.9”	W 73º00'02.3”	Schlumberger
Villa Lupe	Riohacha	N 11º30'17.6”	W 72º52'13.3”	Schlumberger
Montehermon	Riohacha	N 11º26'54.3”	W 72º59'29.6”	Schlumberger
Wayavital 1	Riohacha	N 11º22'28.0”	W 72º54'03.3”	Schlumberger
Wayavital 2	Riohacha	N 11º22'29.4”	W 72º53'58.8”	Schlumberger
Cotopri 1	Riohacha	N 11º11'12.9”	W 72º52'04.0”	Schlumberger
Cotopri 2	Riohacha	N 11º11'10.4”	W 72º52'09.3”	Schlumberger
Macuimana 1	Riohacha	N 11º23'26.4”	W 72º57'04.2”	Schlumberger
Macuimana 2	Riohacha	N 11º23'31.6”	W 72º56'57.7”	Schlumberger
Macuimana 3	Riohacha	N 11º23'26.6”	W 72º56'47.9”	Schlumberger
Alijuyaka	Albania	N 11°21’32.4’’	W72°34’45.4’’	Schlumberger

Sev (Nombre)	Municipio	Latitud	Longitud	Configuración
Marcelo Rancho	Albania	N 11º12'15.4”	W 72º28'23.8”	Schlumberger
Santa Fe	Albania	N 11º12'59.8”	W 72º28'26.0”	Schlumberger
Villa Yesica	Albania	N 11º13'30.0”	W 72º27'25.7”	Schlumberger
Coroyo	Albania	N 11º14'02.5”	W 72º41'43.6”	Schlumberger
Copoyomana	Albania	N 11º18'34.5”	W 72º31'46.2”	Schlumberger
Predio El Descanso	Albania	N 11º12'36.8”	W 72º25'21.9”	Schlumberger
Copoyomana	Albania	N 11º18'34.3”	W 72º31'43.7”	Schlumberger
Pr15	Albania	N 11º17'37.8”	W 72º37'50.8”	Schlumberger
Rio Ancho	Dibulla	N 11º15'18.0”	W 73º29'33.9”	Schlumberger
Dibulla 1	Dibulla	N 11º14'22.8”	W 73º18'29.3”	Schlumberger
Dibulla 2	Dibulla	N 11º14'36.2”	W 73º15'25.7”	Schlumberger
Dibulla 3	Dibulla	N 11º16'22.1”	W 73º11'00.3”	Schlumberger
La Arbolada 1	Dibulla	N 11º14'15.9”	W 73º33'42.1”	Schlumberger
La Arbolada 2	Dibulla	N 11º14'49.5”	W 73º32'31.0”	Schlumberger
La Arbolada 3	Dibulla	N 11º14'38.0”	W 73º32'32.5”	Schlumberger
Casa Karuya 1	Dibulla	N 11º14'59.2”	W 73º32'49.9”	Schlumberger
Casa Karuya 2	Dibulla	N 11º14'59.6”	W 73º32'48.3”	Schlumberger
Casa Indigena 1	Dibulla	N 11º14'18.7”	W 73º33'41.7”	Schlumberger
Casa Indigena 2	Dibulla	N 11º14'15.9”	W 73º33'42.1”	Schlumberger

Distribución de SEV de La Media Guajira

A partir de la información anterior y el modelo digitalizado de la Media Guajira, se ubicaron los sondeos eléctricos verticales, observando su distribución geográfica y evidenciar la densidad de SEV en ciertas zonas de interés, lo cual nos dio una tendencia con respecto al posible sector donde se encuentre una zona potencial para determinar el punto de exploración.

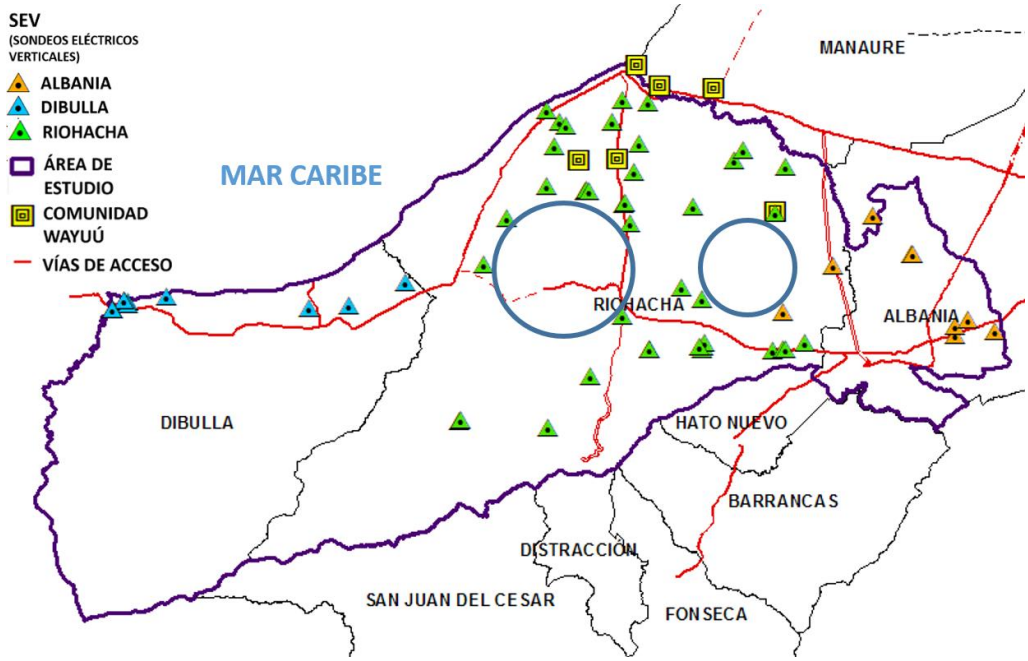

Figura 6. Distribución de sondeos eléctricos verticales recopilados (Información secundaria)

Como lo muestra la figura 6 se demarcaron dos zonas de interés de exploración esto debido a que se está haciendo una inclinación hacia la tendencia de los sondeos debido a que se busca complementar y corroborar la matriz de sondeos, además también se tuvo en cuenta la facilidad de accesibilidad y cercanía a las comunidades wayuu.

Capítulo 4

Investigación Geofísica

Generalidades del Ensayo

Frente al estudio y procesamiento de la información secundaria, se plantea el desarrollo la investigación geofísica, teniendo en cuenta que se diseñó un proceso exploratorio, donde se eligió la zona más óptima y relevante con el objeto de obtener los datos (Información Primaria) que complemente y unifique todas las características precisadas en el desarrollo general del proyecto.

Descripción

A partir de la zonificación propuesta se determinó la ubicación para el desarrollo del sondeo eléctrico vertical, elegido debido a que en primer aspecto se encuentra en una de las zonas adoptadas debido al análisis de información secundaria, precisando un punto que nos permitió verificar la tendencia que nos muestra el modelo general de la media Guajira ,como segundo aspecto se contó con los permisos necesarios para el desarrollo del sondeo y acceso a la zona siendo este un Parámetroetro importante para que el sondeo eléctrico vertical se realizara en las mejores condiciones.

Localización

La zona elegida fue la Finca Chaparral que se encuentra en una zona Rural del municipio de Riohacha, con una altura promedio de los 84 msnm y con un sistema de coordenadas geodésicas N 11°16´42,16´´, W 72°53´35.4´´, Por lo tanto, se designó el

nombre del sondeo como “Sondeo Chaparral”. En la Figura 7 se observa la ubicación del sondeo mediante el software Google Earth.

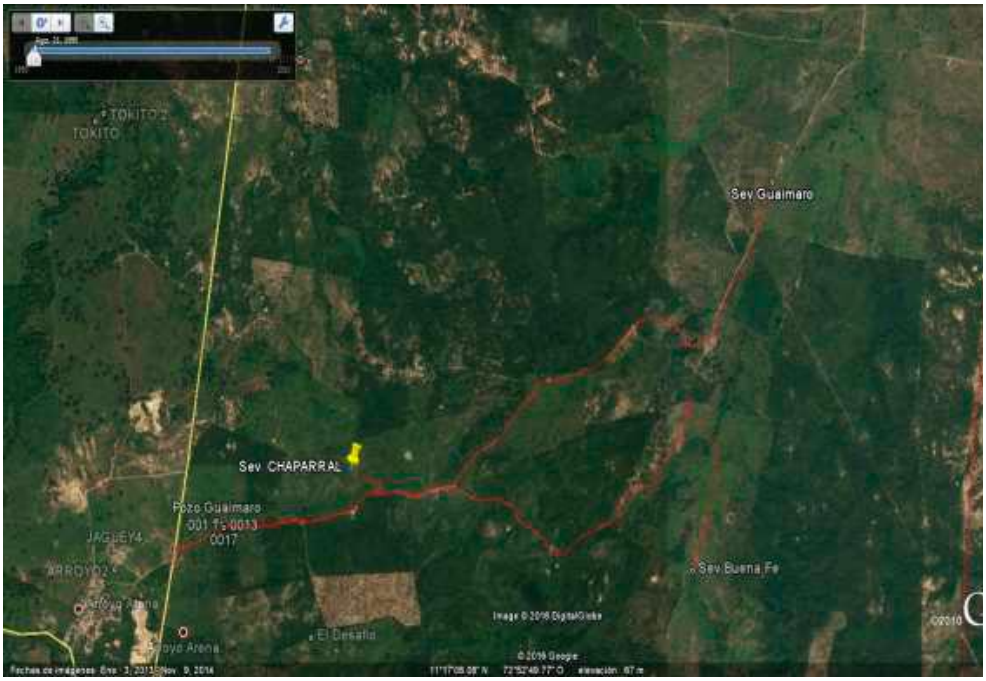

Figura 7. Ubicación Sondeo Eléctrico vertical Finca Chaparral (adaptado de Google Earth, 2017)

En la Figura 8 se observa la zona en la cual se desarrolló el sondeo la cual se describe como la finca chaparral.

Figura 8. Zona del sondeo Finca Chaparral

Características Geoeléctricas

La geofísica efectuada en los alrededores de la Finca Chaparral, está basada en el método de los Sondeos Eléctricos Verticales, con el cual se puede obtener información de modo rápido y económico algunas de las características geológicas y geotécnicas del subsuelo, siempre y cuando existan contrastes apreciables de resistividad entre los diferentes materiales presentes en el subsuelo. Ésta es una técnica geofísica propia de la Geología, permite la posibilidad de conocer en tiempo breve la organización lateral y vertical de los diferentes tipos de rocas y suelos, constituyentes de la litología de un sitio en particular deduciendo las condiciones de permeabilidad; además determina la profundidad y relieve del lecho rocoso sobre el cual están depositados sedimentos y suelos; y la presencia de capas saturadas con agua.

Para el presente estudio se utilizó el dispositivo o configuración conocido como Schlumberger, para este arreglo la separación de los electrodos de potencial es MN y la de los electrodos de corriente es AB, siendo AB mucho mayor que MN (en una relación 3 a 1), esta configuración mantiene la distancia de MN constante para cada medición a medida que aumenta la distancia de AB

Equipos y Obtención de datos

Se utilizó un equipo para prospecciones geoeléctricas en corriente continua, llamado Earth Resistivity Instruments, con formado por una unidad de potencia o transmisor para introducir corriente al terreno y una unidad de medida o receptora para medición de potenciales, ambos independientes. Este equipo está equipado con un pack de baterías internas de 12 voltios, 14 amperios y una fuente externa que está constituida por una batería de 12 VDC tipo vehicular con voltajes de salida de 50 hasta 850 V, en VDC, corriente máxima de entrada 15 A DC, En la Tabla 9 se observa el voltaje de operación del equipo utilizado para el desarrollo del SEV.

Tabla 9. *Voltajes para la operación del equipo*

Voltaje de Salida (V)	Corriente (mA)
50	3000
100	1500-3000
200	750-1500
500	400-800
700	200-400

En el circuito potencial o receptor que conforman la unidad de medida está instalado un voltímetro de precisión digital con impedancia de entrada: de 1 megaohm y escala de lectura: 0.1 V – 1000 V. Para la eliminación de los voltajes parásitos, el equipo de medida está provisto de una unidad compensadora de SP, para compensar voltajes de 3 mV, 10 mV, 30 mV, 100 mV, y 300 mV. Cinco escalas positivas y cinco negativas, según el caso.

Como accesorios periféricos se utilizó un cable con las siguientes especificaciones: diámetro exterior de 3.25 mm, peso de 15 Kg/Km, resistencia eléctrica de 50 ohm-Km, resistencia eléctrica al aislamiento de 100 M ohm-m. Se utilizaron como electrodos de corriente varillas solidas de hierro con revestimiento de cobre de 50 cm de longitud 1 1/2” de diámetro; como electrodos de potencia varillas hierro con revestimiento de cobre de igual dimensión y longitud que las de corriente. La distancia de separación de los electrodos de corriente (AB/2) utilizados fue de 350 m, suspendiendo la toma de las medidas cuando se presentaban lecturas de potencial menores a 1 mV.

En la Figura 9 se observa el equipo Earth Resistivity Instruments, además se ve el complemento del equipo (Carretas, Electrodos, Herramienta general).

Figura 9. Equipo Earth Resistivity Instruments utilizado en el SEV

Interpretación Trabajo de campo

Con el fin de conocer con precisión los resultados obtenidos en este sondeo se realizó un procesamiento de datos acorde con la metodología planteada para el sondeo eléctrico vertical.

Resultados trabajo de campo

Para poder interpretar los sondeos fue utilizado el programa IPI2Win[1] donde se interpretaron los valores de resistividad y se hizo un interpretación de la curva de modelación del SEV. La Tabla 10 presenta la modelación hecha para el sondeo donde se muestra el valor máximo de AB/2 y el ajuste promedio para el ensayo.

Tabla 10. *Modelación sondeo*

SEV	*Azimut (Grados)*	*AB/2 Máximo (metros)*	*Error de Ajuste %*
SEV 01	253	400	3.52

En la Figura 10 se observa la curva de modelación donde se puede evidenciar el perfil del subsuelo a partir de la variación de los valores de resistividad, y la variación del AB/2 que es la que finalmente nos da la profundidad de exploración.

[1] IPI2Win es un programa diseñado por la universidad estatal de Moscú diseñado para interpreta curvas de resistividades y polarización inducida, en una dimensión, para resolver problemas inversos, este programa utiliza el algoritmo de Newton del menor número de capas.

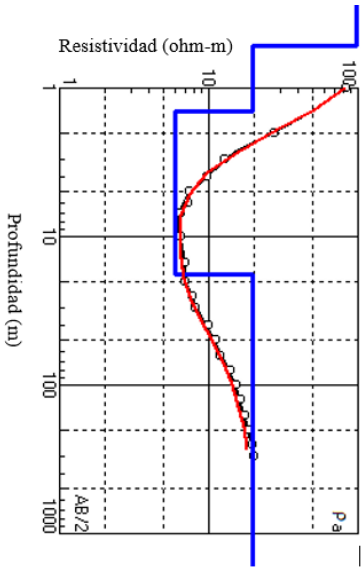

Figura 10. Curva de modelación del sondeo

Capa No.	RESISTIV. (Omh-m)	ESPESOR (Metros)	PROFUND. (Metros)	CORRELACION HIDROGEOLOGICA
1	145	0.518	0.518	Sedimentos con Limos, Arcillas, Suelo Vegetal y de Cultivo
2	19.6	0.933	1.45	Sedimentos con Limos, Arcillas, Suelo Vegetal y de Cultivo
3	5.96	16.7	18.2	Sedimentos con agua salada
4	19.7	-	-	Sedimento con Arcillas con agua dulce o arenas con agua dulce a débilmente dulce

Figura 11. Correlación Hidrogeológica

En la figura 11 se muestra la curva teórica y su respectiva interpretación. Donde, N es el número de cada capa, ρ es el valor de resistividad promedio de cada capa (en ohm-m), h es el espesor de cada capa, y d es la profundidad del piso de cada capa. Es

importante recordar que la modelación de cada SEV da como resultado un número determinado de capas geoeléctricas que no necesariamente corresponde a capas litológicas. Sin embargo, desde el punto de vista hidrogeológico, dos capas con valores similares de resistividades pueden representar cualidades potenciales similares para ser acuíferos.

En base a los valores de resistividad aparentes obtenidos en la zona de estudio, se confeccionaron las curvas correspondientes y mediante el programa específico mencionado anteriormente, se obtuvieron los valores de resistividad real y los espesores de las capas. La interpretación de las gráficas de campo de resistividad

Análisis trabajo de campo

En este sondeo se puede observar que en los primeros 1.45 m de profundidad, se presentan dos capas resistivas con valores, entre los 19.6 ohm-m y los 145 ohm-m. Los materiales que la integran son Sedimentos con Limos, Arcillas, Suelo Vegetal y de Cultivo. La tercera capa identificada en la interpretación, se extiende en profundidad desde los 1.45 m de profundidad hasta 18.2 m de profundidad, presentando una resistividad de 5.96 ohm-m correlacionándose por Sedimentos con agua salada. La cuarta capa identificada en la interpretación, se extiende en profundidad desde los 18.2 m de profundidad hasta su máxima abertura de electrodos la cual nos da una profundidad total de exploración de 300m, donde se presentó una resistividad de 19.7 ohm-m correlacionándose por sedimentos de Arcillas con agua dulce o arenas con agua dulce a débilmente dulce. Finalmente, esto nos indica probablemente se cuenta con un espesor de

acuífero cercano a los 281m haciendo de esta área una zona óptima para el desarrollo de un posterior proyecto de extracción de agua subterránea.

Capítulo 5

Resultados

Teniendo como base que la resistividad son obstrucciones y oposición del paso de energía a través de los distintos materiales del suelo y relacionando los datos obtenidos se realizó una modelación geofísica a partir de un modelo espacial basado en el software Arcgis 10.1, en un geoprocesamiento de los datos de resistividad presentes en la modelación. Cabe mencionar que la metodología usada se basa en regresiones espaciales de cada uno de los puntos, en el cual se propagan estas resistividades hasta generar zonas con similitud de características. En la Figura 12 se observa la distribución final de los sondeos, (unificación de información primaria y secundaria)

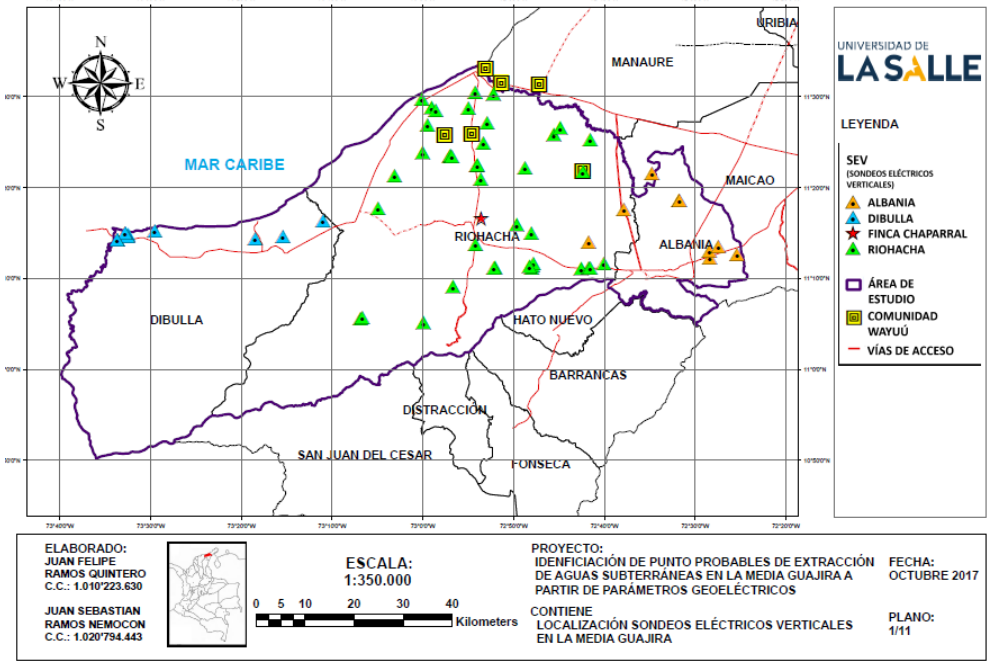

Figura 12. Mapa localización SEV en la Media Guajira (Dibulla, Riohacha, Albania)

Al tener la totalidad de los sondeos eléctricos verticales de la Media Guajira, se relacionó la información primaria y secundaria. Como primer análisis entre los datos de los SEV, se relacionó la resistividad de cada sondeo a ciertos rangos de profundidad, esto con el fin de encontrar resistividades aparentes de cada punto similares con los puntos vecinos, para generar una tendencia de sedimentos con características uniformes por medio de un análisis espacial de interpolación de datos.

La Tabla 11 muestra los valores de resistividad tomados para los sondeos en cada uno de los intervalos de profundidad propuestos. Cabe mencionar que mediante la modelación de los valores de esta tabla se pudo analizar la variación de los acuíferos a partir del cambio de profundidad.

Tabla 11. *Datos de resistividad a 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250 y 300 metros de cada SEV*

SEV (NOMBRE)	MUNICIPIO	Res 25m	Res 50m	Res 75m	Res 100m	Res 150m	Res 200m	Res 250m	Res 300m
Santa Clara	Riohacha	4.36	4.36	4.36	4.36	17.70	17.70	17.70	17.70
Uyatpana	Riohacha	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10	11.10
Betania	Riohacha	2.58	2.58	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90
Galilea	Riohacha	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
Kouhatchon	Riohacha	9.35	9.35	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10
Sibate	Riohacha	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20
El Brazil	Riohacha	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
Plan Bonito	Riohacha	17.60	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40
Makurema	Riohacha	13.60	13.60	13.60	13.60	0.13	0.13	0.13	0.13
Sabana De Piedra	Riohacha	11.10	11.10	17.90	17.90	17.90	17.90	17.90	17.90
Causalak	Riohacha	13.30	13.30	13.30	13.30	13.30	13.30	13.30	13.30
Sector Macoya	Riohacha	1.70	1.70	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
Finca Joncalito	Riohacha	18.60	18.60	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46

SEV (NOMBRE)	MUNICIPIO	Res 25m	Res 50m	Res 75m	Res 100m	Res 150m	Res 200m	Res 250m	Res 300m
Sector Divi Divi	Riohacha	9.09	9.09	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40
Finca Pibijay	Riohacha	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20
La Esperanza	Riohacha	357.00	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Naranjas	Riohacha	161.00	1000	1000	13.60	13.60	13.60	13.60	13.60
Mi Paraiso	Riohacha	89.40	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
San Carlos	Riohacha	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
El Sequion 1	Riohacha	23.70	23.70	1.41	1.41	331.00	331.00	331.00	331.00
El Sequion 2	Riohacha	26.70	26.70	26.70	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82
El Sequion 3	Riohacha	24.76	24.76	24.76	24.76	24.76	3.06	3.06	3.06
El Sequion 4	Riohacha	16.20	16.20	16.20	16.20	16.20	16.20	16.20	16.20
El Sequion 5	Riohacha	23.70	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20
Maniature 1	Riohacha	49.10	49.10	49.10	49.10	49.10	49.10	49.10	49.10
Maniature 2	Riohacha	122.00	122.00	122.00	122.00	122.00	122.00	122.00	122.00
Maniature 3	Riohacha	124.00	124.00	124.00	124.00	124.00	124.00	124.00	124.00
Sabana Grande	Riohacha	2.20	2.20	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90	18.90
Mira Mar	Riohacha	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60
Kaneguakat	Riohacha	21.10	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86
La Plazoleta	Riohacha	6.50	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80
Villa Lupe	Riohacha	4.16	4.16	4.16	4.16	18.60	18.60	18.60	18.60
Montehermon	Riohacha	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
Wayavital 1	Riohacha	24.80	24.80	24.80	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Wayavital 2	Riohacha	11.90	11.90	66.70	66.70	0.30	0.30	0.30	0.30
Cotopri 1	Riohacha	40.70	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Cotopri 2	Riohacha	23.70	23.70	23.70	23.70	23.70	23.70	23.70	23.70
Macuimana 1	Riohacha	2.75	16.16	16.16	16.16	16.16	16.16	16.16	16.16
Macuimana 2	Riohacha	16.80	16.80	16.80	5.42	5.42	53.40	53.40	53.40
Macuimana 3	Riohacha	13.10	13.10	13.10	13.10	13.10	13.10	13.10	13.10
Finca Chaparral	**Riohacha**	**19.70**	**19.70**	**19.70**	**19.70**	**19.70**	**19.70**	**19.70**	**19.70**
Alijuyaka	Albania	4.78	4.78	4.78	4.78	13.70	13.70	13.70	13.70

SEV (NOMBRE)	MUNICIPIO	Res 25m	Res 50m	Res 75m	Res 100m	Res 150m	Res 200m	Res 250m	Res 300m
Marcelo Rancho	Albania	7.31	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
Santa Fe	Albania	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Villa Yesica	Albania	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
Coroyo	Albania	19.40	19.40	19.40	19.40	6.03	6.03	6.03	6.03
Copoyomana	Albania	0.88	13.30	13.30	13.30	13.30	13.30	13.30	13.30
Predio El Descanso	Albania	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80	12.80
Copoyomana	Albania	1.10	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20
Pr15	Albania	12.94	12.94	12.94	12.94	10.84	10.84	10.84	10.84
Rio Ancho	Dibulla	25.30	25.30	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90	37.90
Dibulla 1	Dibulla	18.30	18.30	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65
Dibulla 2	Dibulla	109.00	109.00	28.50	28.50	28.50	28.50	28.50	28.50
Dibulla 3	Dibulla	12.90	12.90	12.90	12.90	12.90	0.67	0.67	0.67
La Arbolada 1	Dibulla	2.72	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
La Arbolada 2	Dibulla	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00	128.00
La Arbolada 3	Dibulla	26.20	21.20	21.20	21.20	21.20	21.20	21.20	21.20
casa karuya 1	Dibulla	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50
casa karuya 2	Dibulla	7.15	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Casa indigena 1	Dibulla	412.00	30.80	30.80	30.80	30.80	30.80	30.80	30.80
Casa indigena 2	Dibulla	103.00	103.00	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

Para la interpretación del análisis espacial, se clasifico los rangos de resistividad con colores, para el rango entre 0 a 6 Ω.m se identifican como sedimentos con agua salada, de 6 a 10 Ω.m sedimentos con agua salobre, de 10 a 20 Ω.m arcillas con agua dulce o arenas con agua dulce a débilmente dulce, de 20 a 30 Ω.m sedimentos con agua dulce o rocas masivas, y de 30 Ω.m en adelante perfiles de suelo compactado, rocas macizas y/o de poca porosidad.

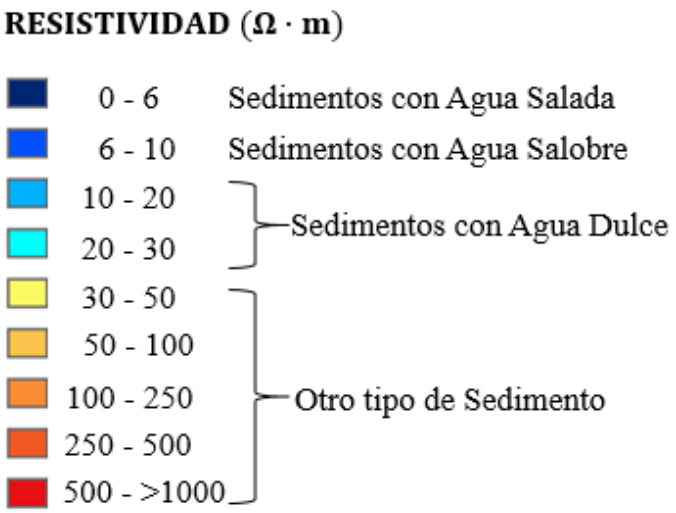

Figura 13. Rangos de resistividad del suelo con litología aparente

Para análisis de los mapas de resistividad del suelo, de acuerdo al objetivo de la investigación, solo se tuvo en cuenta los sedimentos con posible contenido de agua dulce (resistividades entre 10 a 30 Ω.m), debido a que los sedimentos que almacenan agua salobre y/o salada, deben pasar por un proceso de desalinización para su consumo, aumentando los costos para el tratamiento de dichas aguas a extraer.

A continuación, se muestran los resultados de análisis espacial de acuerdo a la resistividad aparente del subsuelo a las profundidades definidas en la Tabla 11.

Como se puede ver apreciar en las Figuras 14 y 15, se denota que en parte de la zona norte de Riohacha se encuentran ubicados sedimentos con agua salada y salobre, algo similar al norte de Albania. También se puede ver gran parte del centro y zona este de Riohacha un área bastante extensa de sedimentos con agua dulce, en Dibulla se ve una pequeña zona al norte de sedimentos de agua dulce. Una de las cosas que más resalta son

los sedimentos que no tienen rastro de agua dulce, ya que corta desde la mitad de la Media Guajira y que ocupa una gran extensión, lo cual nos da una idea que en la zona sur de la Media Guajira no sea un lugar siquiera con una cantidad mínima de agua dulce disponible, lo cual nos da a entender que la zona sur no es un lugar a considerar.

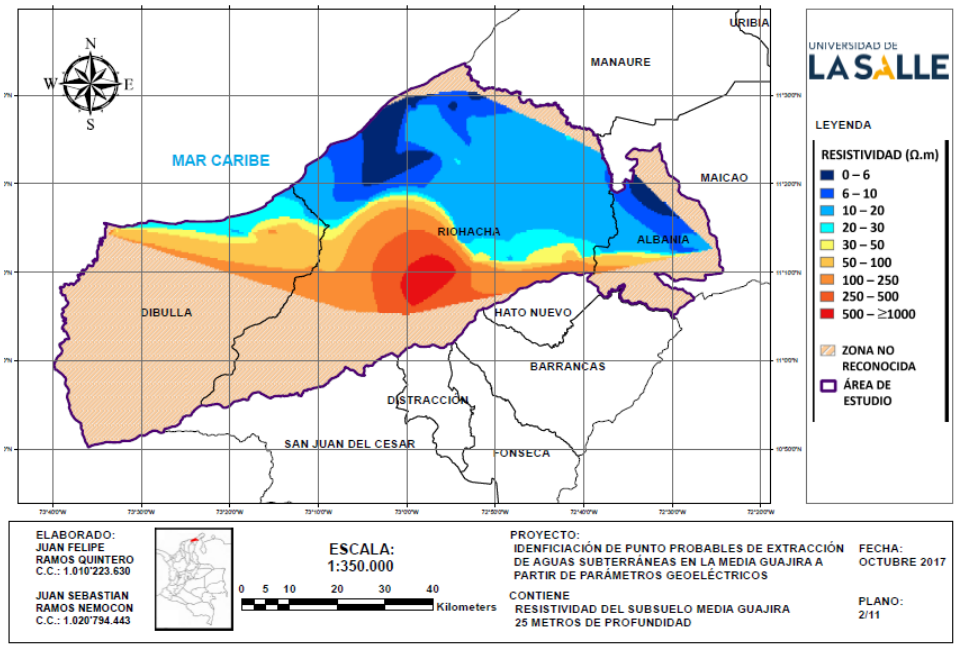

Figura 14. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos 25 m de profundidad

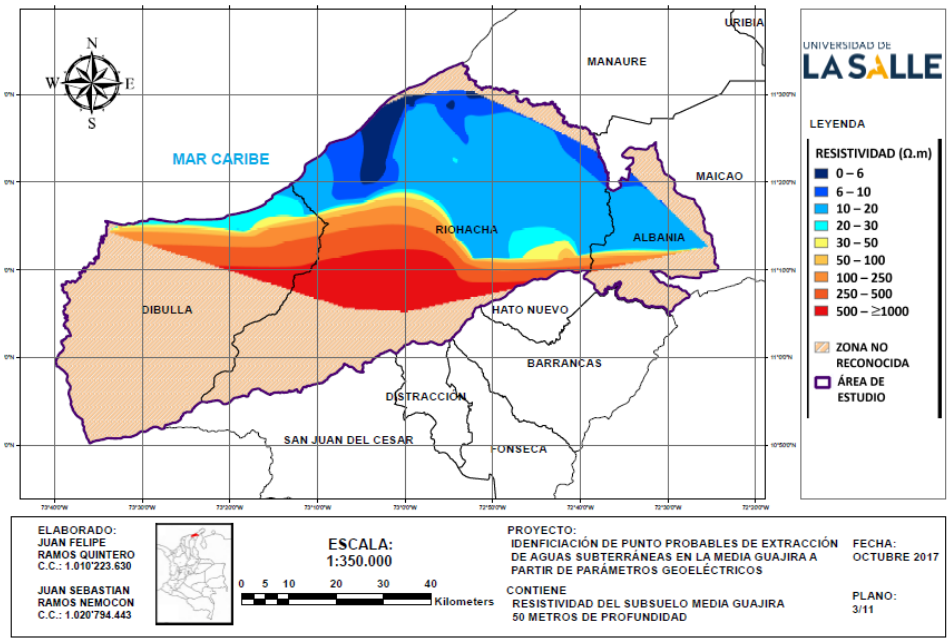

Figura 15. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 50 m de profundidad

A diferencia de los mapas anteriores, en la Figura 16 se puede ver que en el subsuelo se descubre gran parte del norte de Riohacha, apareciendo sedimentos de agua dulce, que a profundidades menores se encuentran sedimentos de agua salada y/o salobre. El sur y gran parte del centro de la Media Guajira aun muestra carencia de posibles zonas con posible existencia de agua dulce.

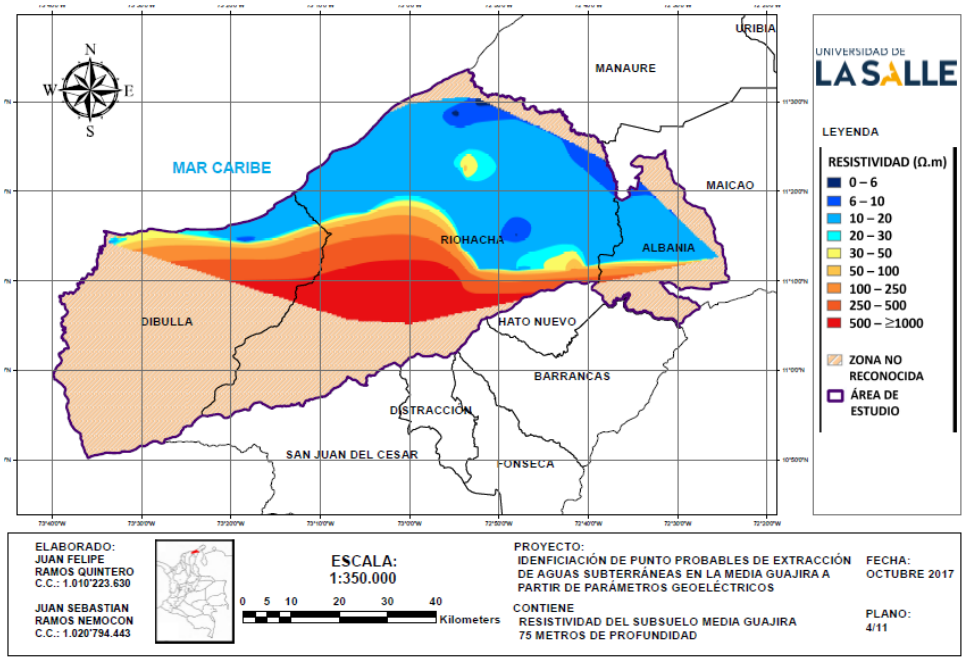

Figura 16. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 75 m de profundidad

En la Figura 17, se observó que gran parte de Riohacha y Albania ya presentan una gran cantidad de área de sedimentos con agua dulce, caso similar a Dibulla, que ya presenta mayor cantidad de sedimentos con agua dulce, sin embargo, el área con sedimentos de otro tipo sigue siendo aún grande, donde también se puede apreciar que en la parte baja de Dibulla se presenta una zona con sedimentos de agua salada, lo que nos da a entender que Dibulla solo tiene una pequeña parte de su territorio con disponibilidad de agua dulce, a comparación de Riohacha y Albania. Además de ello, se puede ver que el subsuelo como lo muestran las figuras 18 y 19, presenta una forma casi congruente con la figura 17, mostrando ya uniformidad en las capas del suelo tanto en distribución como en espesores de capa.

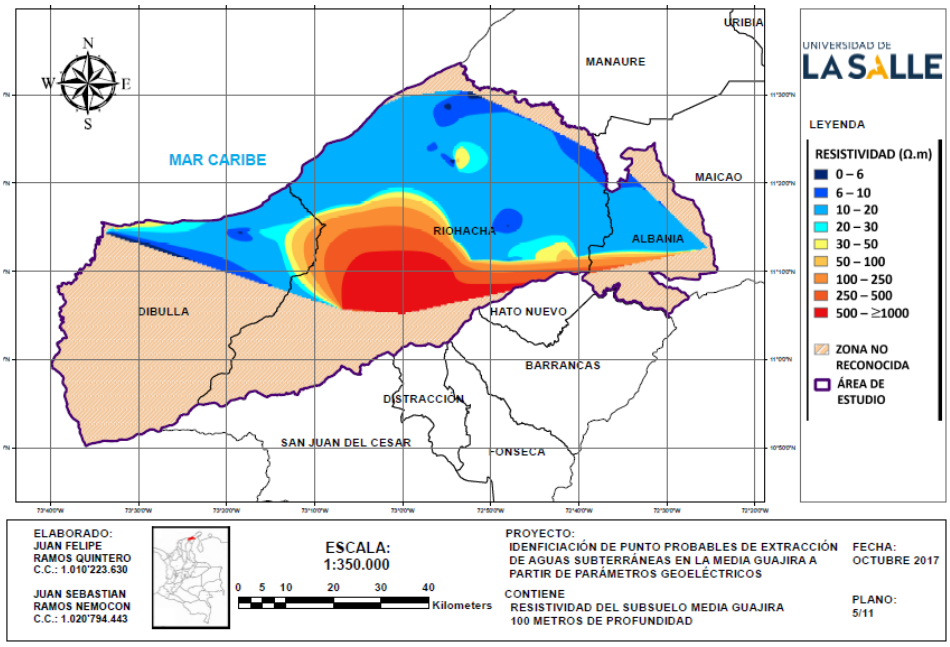

Figura 17. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 100 m de profundidad

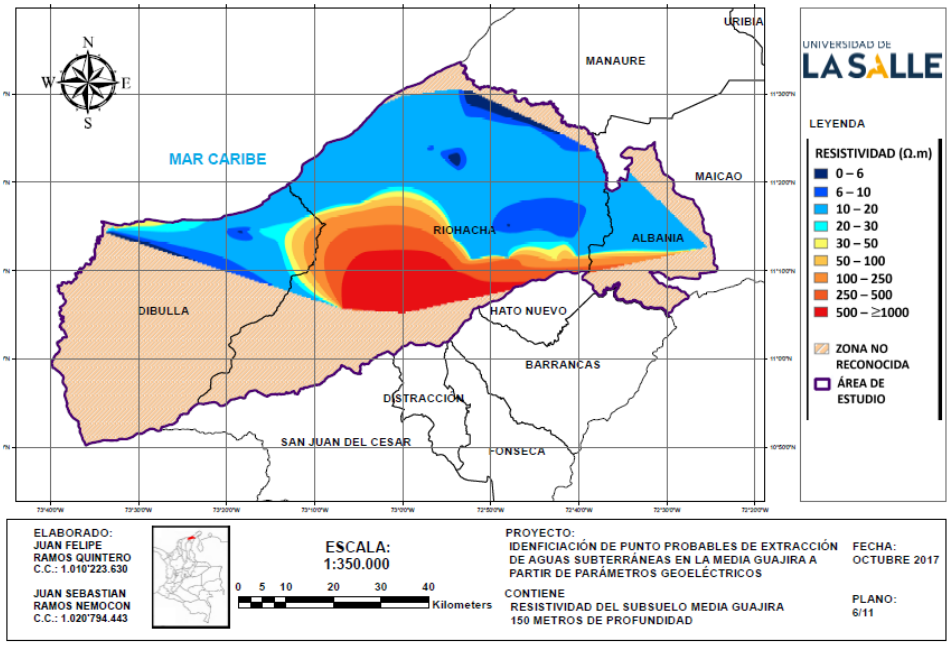

Figura 18. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 150 m de profundidad

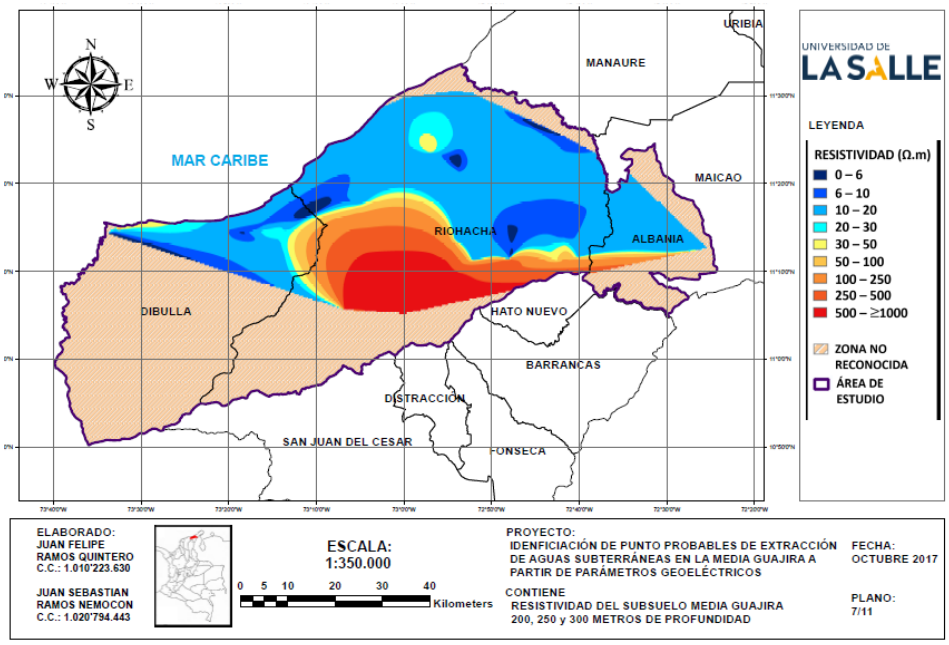

Figura 19. Mapa análisis espacial resistividad aparente de subsuelos – 200, 250 y 300 m de profundidad

De acuerdo con el análisis en los mapas anteriores, es evidente encontrar que un área considerable de la Media Guajira en Riohacha y Albania se encuentran sedimentos con agua dulce, convirtiéndolo en una zona potencial para el aprovechamiento de dichos sedimentos, a partir de esto se consideró otro de los factores que se tuvieron en cuenta como el espesor de la capa acuífera de agua dulce y la profundidad de dicha capa. Por un lado, el espesor de la capa acuífera es fundamental con respecto a la cantidad posible de extraer, y de acuerdo a la profundad, ya que a mayor profundidad eleva los costos con respecto a la perforación para un posible pozo de extracción y trabajos de mantenimiento cuando dichos pozos necesiten limpieza o extraer objetos que bloqueen e influyan en la extracción del agua.

De acuerdo al resultado ilustrado en la Figura 20, relacionando los espesores aproximados de las capas acuíferas determinadas por cada SEV, es posible apreciar que la Media Guajira tiene bastantes zonas potenciales para la extracción de agua subterránea, donde confirma lo ya mencionado en los anteriores análisis acerca de las zonas con gran potencial de extracción de agua dulce, como lo son una gran área del centro de Riohacha al igual que en Albania.

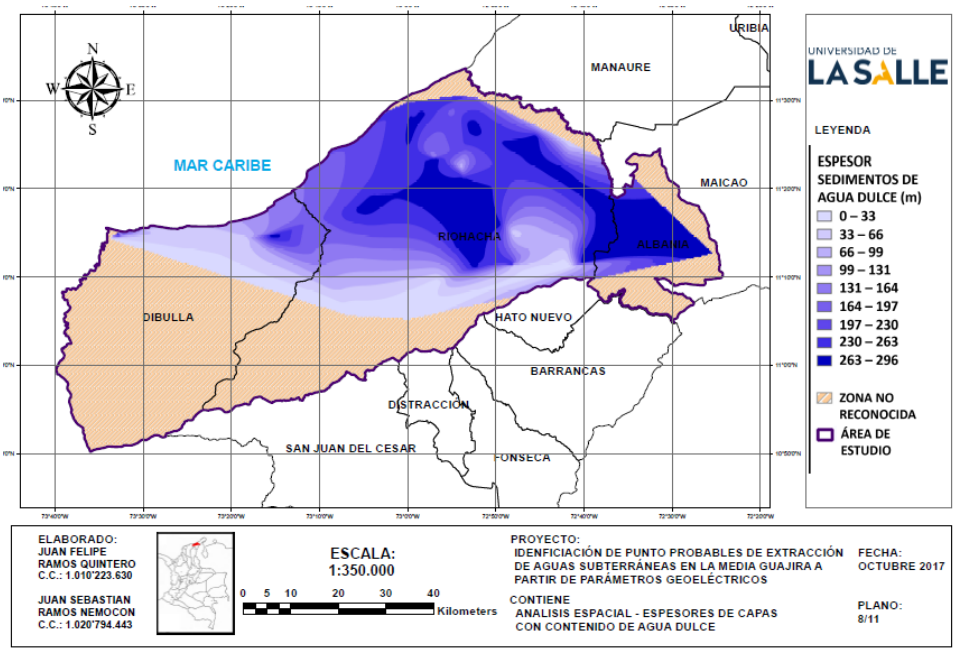

Figura 20. Mapa análisis espacial espesor de sedimentos con agua dulce de subsuelos

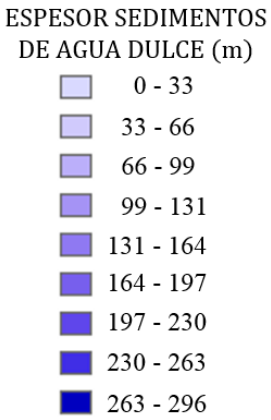

Figura 21. Rangos de espesor de capa de sedimentos con agua dulce

También confirmo lo supuesto anteriormente acerca de la zona descartada como lo es el sur y parte del centro de la Media Guajira donde se evidencio que existen escases de sedimentos con contenido de agua dulce, o con espesores bajos.

Con respecto a la Figura 22, donde se analizó la profundidad donde comienzan a surgir los sedimentos con agua dulce, se puede ver que comparte una similitud en forma al mapa de resistividades del subsuelo a los 25 y 50 m de profundidad con respecto a la zona descartada, donde la capa acuífera de agua dulce se encuentra a profundidades muy altas o no existe. También se encontró que una extensa zona contiene los sedimentos de agua dulce en los primeros 30 m de profundidad, y otra gran parte entre los 30 y 60 m.

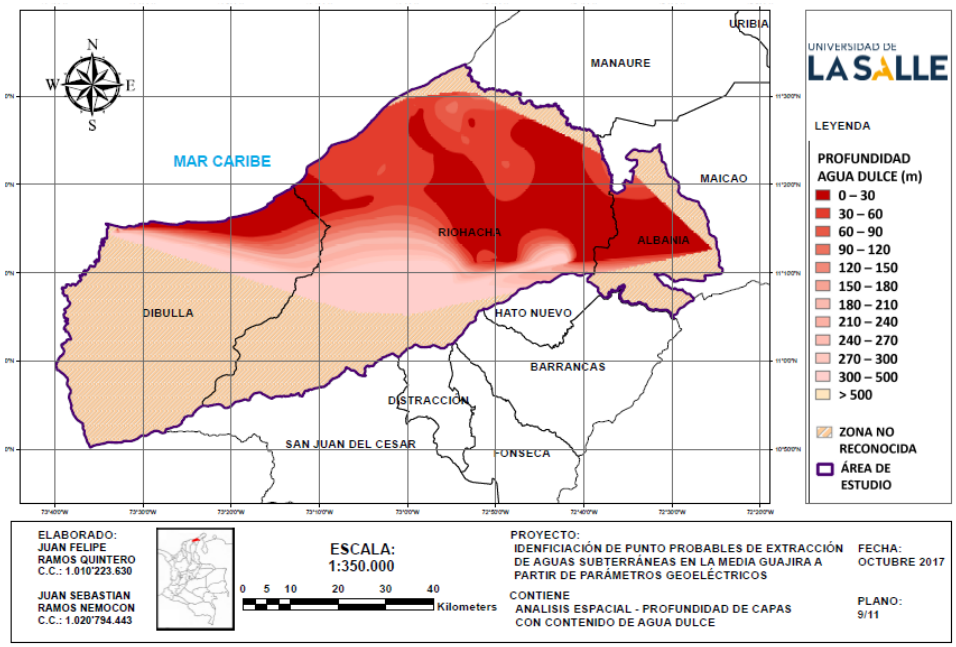

Figura 22. Mapa análisis espacial profundidad de sedimentos con agua dulce de subsuelos

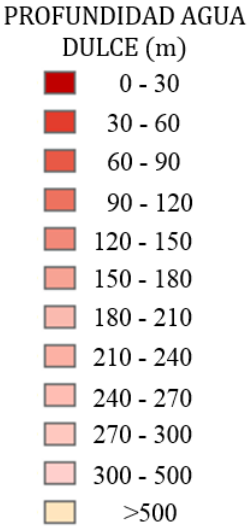

Figura 23. Leyenda rangos de profundidad de sedimentos con agua dulce

Después de los resultados de los análisis espaciales y la discusión de los mismos con respecto al espesor y la profundidad de sedimentos con posible contenido de agua dulce, se analizó que las zonas centrales de Riohacha y Albania son los lugares con los mejores resultados de ambos análisis. Esto fue comprobado sobreponiendo ambos mapas, observando la veracidad de la afirmación anterior, tal como se muestra en el mapa de la figura 24, donde al combinarse los colores de ambos mapas (Tonos rojos y tonos azules) generan un mapa con tonalidades moradas, desde la más clara (Relación desfavorable profundidad – espesor) hasta la más oscura (Relación favorable profundidad – espesor), resultado de la unión de ambos mapas que muestran las zonas con las características de mayor potencial, en donde se marcaron como puntos probables para la extracción de agua subterránea.

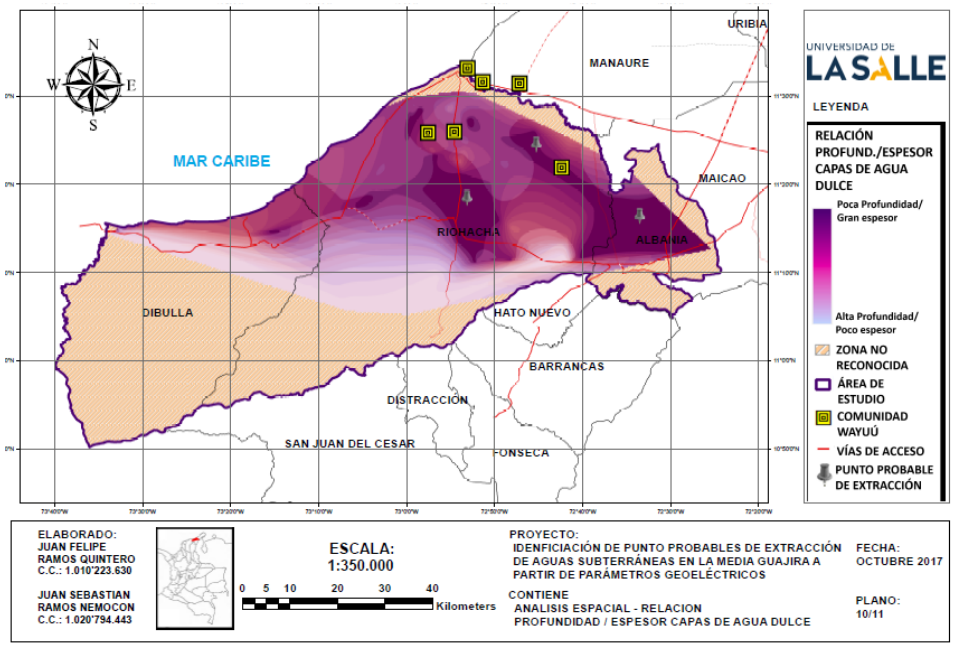

Figura 24. Mapa relación de Análisis espaciales de espesor y profundidad de sedimentos con agua dulce de subsuelos.

Algo que llama la atención de los puntos seleccionados, es que cuentan con disponibilidad de vías de acceso, un factor importante a tener siempre en cuenta en el trabajo de campo como lo es el acceso y transporte a lugares de interés para su exploración, y una de las variables de gran peso como lo son las comunidades Wayuu más cercanas a la Media guajira, ya que la razón social del proyecto es aportan estudios que evalúan alternativas para el saneamiento de agua potable hacia estas comunidades, que han sufrido este problema de forma latente a lo largo de los últimos años, donde se encontró que la mayoría de dichas comunidades están asentadas en gran parte de la Alta Guajira, y solo unas pocas asentadas o cercanas a la Media Guajira, como se puede en la figura 25.

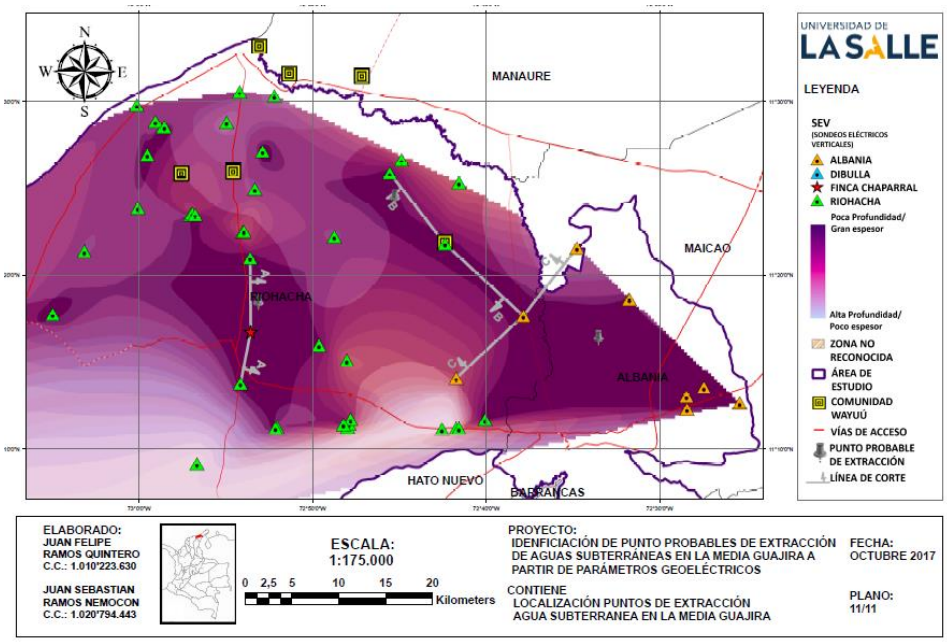

Figura 25. Mapa ubicación comunidades Wayuu, vías de acceso y puntos probables de extracción de agua subterránea en la Media Guajira

De acuerdo a los puntos seleccionados anteriormente, es importante revisar los SEV que involucran dichos lugares, ya que como se ha mencionado, los SEV permiten suponer las capas que conforman el subsuelo bajo él, con base en el análisis de resistividades y conocimiento de la litología de la zona, dando como resultado un aparente perfil estratigráfico. Dicho lo anterior, para dar una mejor perspectiva con respecto a las zonas con mayor potencial de extracción de agua subterránea y reconocer la geomorfología y composición litológica, se realizaron cortes de dichos lugares en el plano relacionando perfiles de los sondeos ubicados en esos lugares con trayectorias que se aprecian en la figura 26, donde los tipos de sedimentos encontrados están señalados en la figura 26, dando representados en perfiles estratigráficos de las figuras 27, 28 y 29.

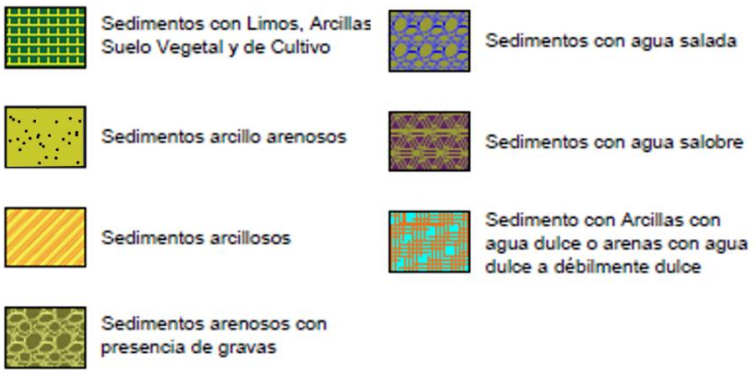

Figura 26. Tipos de sedimentos encontrados

En el corte de la zona centro de Riohacha (Corte A-A), el perfil generado muestra una topografía que tiende a ser plana al comparar la diferencia entre cotas y abscisas entre sondeos, presentando pendientes bastante bajas de aproximadamente 0.25% y -0.40% respectivamente como se muestra en la figura 27. Referente a las capas del subsuelo, se puede apreciar un depósito de sedimentos con agua salada con un espesor de 20 metros aproximadamente, también hay presencia de sedimentos arcillo arenosos que cortan con dicho depósito de agua salada, igualmente presencia de sedimentos arenosos con presencia de gravas. Dichas capas se encuentra en un rango de 10 a 20 metros de profundidad, donde después se encuentran sedimentos con arcillas con agua dulce o arenas con agua dulce a débilmente dulce que se extiende hasta profundidades considerables, mostrando un espesor considerable de dichos sedimentos.

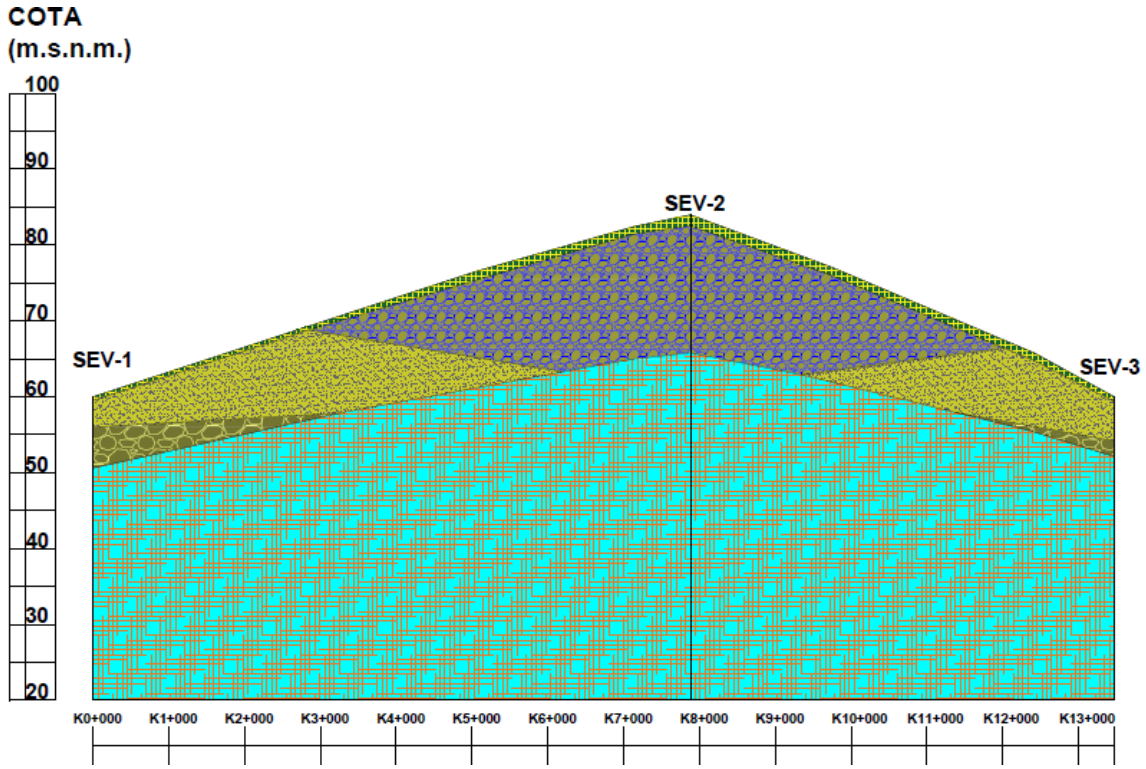

Figura 27. Perfil estratigráfico corte A-A Figura 27

En el corte de la zona nororiental de Riohacha (Corte B-B), el perfil generado muestra una topografía que tiende a ser plana al comparar la diferencia entre cotas y abscisas entre sondeos, presentando pendientes bastante bajas de aproximadamente 0.21% y 0.07% respectivamente como se muestra en la figura 28. Referente a las capas del subsuelo, se encuentra una capa predominante de sedimentos arcillosos con un espesor que varía entre los 4 y 8 metros aproximadamente, también hay presencia de una porción sedimentos arcillo arenosos en la parte superior de 3 metros de espesor que va decreciendo al corta con la capa de sedimentos arcillosos. Desde una profundidad que va entre los 4 y 8 metros de profundidad se encuentran sedimentos con arcillas con agua

dulce o arenas con agua dulce a débilmente dulce que se extiende hasta profundidades considerables, mostrando un espesor considerable de dichos sedimentos mayor al perfil de la figura 27, con un espesor de aproximadamente 15 metros más. Cabe mencionar que en cierto punto, se encuentra una pequeña porción de sedimentos con agua salada que corta una zona de los sedimentos con agua dulce, pero que no se extiende a mayores profundidades ya que solo cuenta con un espesor que va de 10 metros hasta que decrece.

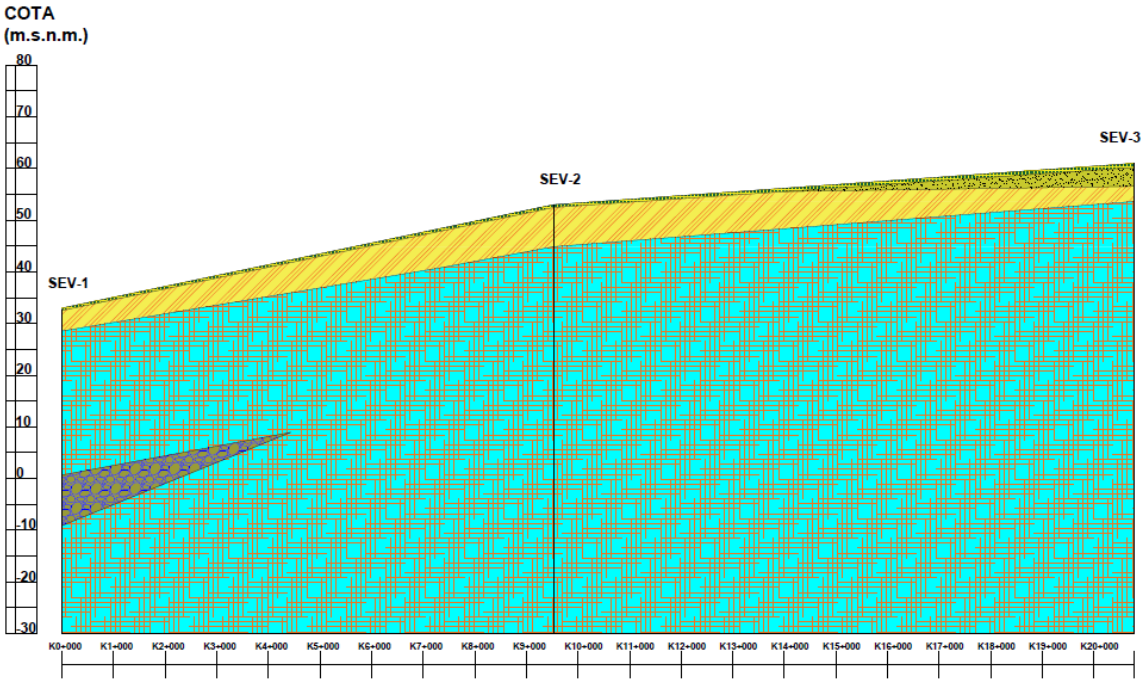

Figura 28. Perfil estratigráfico corte B-B Figura 28

En el corte de la zona oriental de Riohacha (Corte C-C), el perfil generado muestra una topografía que tiende a ser plana al comparar la diferencia entre cotas y abscisas entre sondeos, presentando pendientes bastante bajas de aproximadamente -0.39% y 0.09% respectivamente como se muestra en la figura 28. Referente a las capas

del subsuelo, se encuentra dos capas importantes de mencionar de sedimentos arcillo arenosos y sedimentos arcillosos con un espesor que varían aproximadamente de 1.4 a 3.7 metros y de 5.5 a 2.9 metros respectivamente. Los sedimentos con arcillas con agua dulce o arenas con agua dulce a débilmente dulce se encuentran entre los 5.59 y 7.39 metros de profundidad entre los SEV-1 y SEV-2 de la figura 29, ya que en el SEV-3 se encuentra la presencia de una capa de sedimentos con agua salobre con una espesor máximo de 94.2 metros desde su origen, pero que si se relaciona con el perfil del SEV-2, la capa de agua salobre se corta con los sedimentos con agua dulce. Algo similar ocurre en el SEV-1 ya que a los 112 metros de profundidad se encuentra presencia nuevamente de sedimentos con agua salobre, que se extiende hasta profundidades considerables en ese punto, pero ocurre lo mismo que a la anterior capa de sedimentos de agua salobre, ya que en el SEV-2 señala presencia de sedimentos de agua dulce lo que hace que corte dicha capa. A partir de la anterior descripción se entiende la forma que tomo el perfil representado de la figura 29, pero a pesar de ello, hay una capa importante de sedimentos de agua dulce que lo hace un lugar de gran potencial como los anteriores perfiles expuestos.

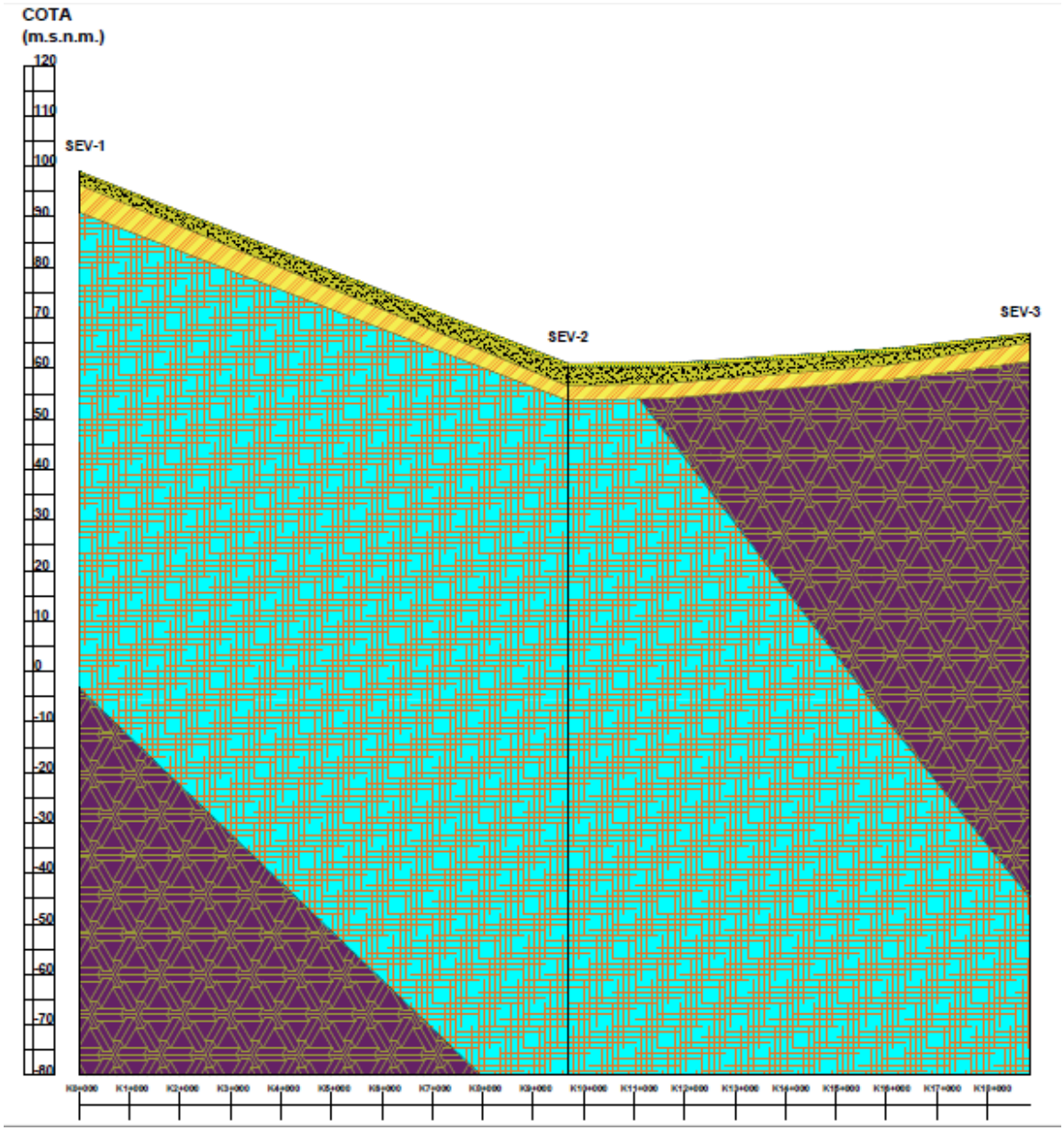

Figura 29. Perfil estratigráfico corte C-C

De acuerdo al análisis de los perfiles, es evidente que existen capas de gran tamaño sobre los puntos seleccionados, donde sí estos perfiles fuesen relacionados con su aparente área de expansión de acuerdo a los resultados de los análisis espaciales,

mostraría volúmenes bastante grandes de sedimentos con agua dulce, que tendrán la virtud de contener grandes cantidades en volumen de agua para un posible consumo, estimando que lograran proveer dicho recurso favoreciendo a las comunidades Wayuu por un tiempo prolongado.

Conclusiones

La información recopilada referente a SEV en la localidad de La Media Guajira, permitió realizar un análisis inicial de las propiedades del suelo, así como determinar el punto de desarrollo del trabajo de campo. En esta se analizaron variables como la resistividad, la profundidad, la configuración geoeléctrica adaptada y la distribución zonal, todo esto llevando a elegir la zona central de Riohacha como un punto estratégico para la realizar el SEV nuevo (Finca Chaparral), debido a que pudo precisar la tendencia de las propiedades del suelo presentes en la zona de La Media Guajira.

Con la ejecución del SEV en la Finca Chaparral (propio), realizado en la zona centro de Riohacha, se revisó los resultados entregados de dicho sondeo, donde a partir del análisis del perfil estratigráfico obtenido mediante los valores de resistividad, se observó que tuvo una gran similitud con los perfiles de los SEV cercanos al mismo, corroborando la zona centra en Riohacha como un lugar de gran potencial de extracción de agua subterránea. Los SEV entregan resultados que logran identificar y diferenciar las distintas capas del subsuelo presentes en la zona donde, se evidenció gran presencia en los estratos superiores de sedimentos arcillosos con limos, y gran cantidad de sedimentos con agua salobre y débilmente dulce en los estratos inferiores a poca profundidad con respecto a la rasante.

La consolidación de la información de los SEV permitió generar mapas de localización de los puntos más óptimos para la extracción de agua subterránea a partir del análisis espacial generado entre la interacción de los sondeos con el área de estudio,

donde se limitó los sondeos hasta una profundidad de 300 metros de confiabilidad, donde en base del análisis de los parámetros geoeléctricos obtenidos, se evalúo la profundidad a la cual se encontró los sedimentos con agua dulce, el espesor de la capa y cercanía a las comunidades Wayuú. Para esto podemos concluir que la zona con mayor potencial de extracción de agua subterránea se encuentra en la zona centro de Riohacha y en la parte nororiental de Albania con un radio cercano a los 15 km y con características como capas de agua dulce a una profundidad no mayor a los 25 metros y con espesores cercanos a los 200 metros.

Con la identificación de los puntos potenciales de extracción de agua subterránea, a partir del reconocimiento de las propiedades geoeléctricas del subsuelo se pudo constatar que las localidades al Riohacha y Albania cuentan con un alto porcentaje de probabilidad como de zonas aptas para la extracción de agua tanto en extensión territorial como en espesor y profundidad de dichas capas de sedimentos con agua dulce, cerrando el margen del a zona de estudio, en contraste Dibulla debido a la limitante de información y ubicación de los SEV se apartó del resultado esperado, también la lejanía de Dibulla a las comunidades Wayuu como un parámetro considerable, donde la comunidad más cercana esta aproximadamente a 40 kilómetros, a comparación de las zonas potenciales en Riohacha y Albania.

Recomendaciones

Como complemento del trabajo de investigación es importante mencionar que es necesario desarrollar un proceso de exploración directa, donde se cerciore los resultados de la exploración indirecta, así como que se permita determinar otro tipo de variables y propiedades que permitan diseñar los futuros puntos de extracción de agua subterránea.

Las comunidades Wayuu tienen un gran porcentaje de asentamiento en la zona del alta Guajira lo cual nos permite inducir a que se podría posteriormente ampliar la zona de intervención y desarrollo del proyecto de estudio de las propiedades del subsuelo mediante parámetros geoeléctricos, todo esto con e l fin de que estas comunidades se vean más incluidas y tengan más participación en este tipo de proyectos.

Otro aspecto importante es que se busque unificar los procesos investigativos realizados por Corpoguajira, Uniguajira y demás entidades con el trabajo que realizan los propietarios de finca todo con el fin darle el mejor uso tanto a la información como a las zonas de extracción de agua subterránea.

Como complemento del trabajo de investigación es importante mencionar que es necesario desarrollar un proceso de exploración directa, donde se cerciore los resultados de la exploración indirecta, así como que se permita determinar otro tipo de variables y propiedades que permitan diseñar los futuros puntos de extracción de agua subterránea.

Las comunidades Wayuu tienen un gran porcentaje de asentamiento en la zona del alta Guajira lo cual permitio inducir a que se podría posteriormente ampliar la zona de intervención y desarrollo del proyecto de estudio de las propiedades del subsuelo

mediante parámetros geoeléctricos, todo esto con e l fin de que estas comunidades se vean más incluidas y tengan más participación en este tipo de proyectos.

Otro aspecto importante es que se busque unificar los procesos investigativos realizados por Corpoguajira, Uniguajira y demás entidades con el trabajo que realizan los propietarios de finca todo con el fin darle el mejor uso tanto a la información como a las zonas de extracción de agua subterránea.

A pesar que Dibulla fue la zona más desfavorable para la extracción de agua subterránea principalmente por la escases de grandes capas de sedimentos con agua dulce, alrededor del 70% del terrirorio de Dibulla careció de información con respecto a SEV, por lo cual deja una incógnita interesante a explorar, que podría presentar resultados favorables. Aun así mediante la zonificación y parametrización de las capas del subsuelo se dieron parámetros preliminares que pueden llegar a ser criterios base para el diseño de futuros pozos de extracción de agua subterránea.

Referencias

Arias, D. E. (2011). Exploración geotécnica–relaciones geoeléctricas (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín).

Auge, M. (2008). Métodos geoeléctricos para la prospección de agua subterránea. Argentina. Universidad de Buenos Aires. 1-3 pps.

BRAGA ACO. 2006. Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática. 2006. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP. 121 p.

Corriols, M., & Dahlin, T. (2008). Geophysical characterization of the León-Chinandega aquifer, Nicaragua. Hydrogeology Journal, 16(2), 349-362.

Ecoadministar. (2015). Consultoira para la caracterizacion de fuentes hidricas y poblacion de la zona rural dispersa del municipio de Albania,Dibulla,Maicao,Manaure,Riohacha y Uribia. Riohacha

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. (12 de 2004). Recuperado el 29 de ENERO de 2016, de PROGRAMA DE EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS: http://www2.sgc.gov.co/getattachment/92fd1dc3-e4a6-4450-96b5-b19abf276144/Programa-exploracion-aguas-subterraneas.aspx.

Mijailov, L. (1985). Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p

Mohamed A. Abdallaa, Hatem M. Mekhemerb, Walid A. M. (2016) The hydrogeological conditions in Sahel Hasheesh, Eastern Desert, Egypt. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, (5), 238–246.

Molinero J., Ortuño, F. & Valverde, M. (2008). Las aguas subterráneas en España ante las Directivas Europeas: retos y perspectivas. Textos de las ponencias y comunicaciones libres. Santiago de Compostela, 7-9 noviembre 2007 (13). Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

Montalván, F., Carrión, P., Fun-Sang, B., Romero, S., & Jiménez, S. (2013). Caracterización geoeléctrica del acuífero de la cuenca del Río Olón para propuesta de plan de explotación. Revista Tecnológica-ESPOL, 21(1).

Orellana, E. (1982). Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua. 2ª ed. Madrid: Paraninfo. Vol. 1.

Pérez Cerón, R. Estudio geoeléctrico en el valle alto del rio patía. Earth Sciences Research Journal; núm. 3 (1995); 27-34 Earth Sciences Research Journal; núm. 3 (1995); 27-34 2339-3459 1794-6190.

Piamba, D. (2014). www.bdigital.unal.edu.co. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/44113/1/55242266.2014.pdf

Rodríguez, C. R., & Ochoa, A. C. (1989). Estudio geoeléctrico del sistema acuífero de la Cuenca de México. Geofis. Int, 28, 191-205.

Ramirez, J. & Duran L. (1957). Nociones de prospección geofísica. Universidad Nacional

Servicio geológico Colombiano. (2015). Recuperado el 30 de enero de 2016, de Geoportal del Servicio Geológico Colombiano: http://geoportal.sgc.gov.co/geoportalsgc/catalog/main/home.page

Servicio Geológico Mexicano (2013). www.gob.mx. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157801/Que-es-la-Hidrogeologia.pdf

Universidad de la Guajira. (2010). www.uniguajira.edu.co. Obtenido de http://web.uniguajira.edu.co/unigua/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_3303.pdf

Universidad De la Salle. (2015). Convocatoria Interna Vrit Para El Fortalecimiento De La Investigación En La Universidad De La Salle 2015. Bogotá Dc.

Anexos

Anexo 1. Mapa Ubicación de Sondeos Eléctricos Verticales en la Media Guajira
Anexo 2. Mapa Resistividad del subsuelo de la media Guajira 25 metros de Profundidad
Anexo 3. Mapa Resistividad del subsuelo de la media Guajira 50 metros de Profundidad
Anexo 4. Mapa Resistividad del subsuelo de la media Guajira 75 metros de Profundidad
Anexo 5 Mapa Resistividad del subsuelo de la media Guajira 100 metros de Profundidad
Anexo 6. Mapa Resistividad del subsuelo de la media Guajira 150 metros de Profundidad
Anexo 7. Mapa Resistividad del subsuelo de la media Guajira 200, 250, 300 metros de Profundidad
Anexo 8. Mapa análisis espacial espesor de sedimentos con agua dulce de subsuelos
Anexo 9. Mapa análisis espacial profundidad de sedimentos con agua dulce de subsuelos
Anexo 10. Mapa relación de Análisis espaciales de espesor y profundidad de sedimentos con agua dulce de subsuelos.
Anexo 11. Mapa ubicación comunidades Wayuu, vías de acceso y puntos probables de extracción de agua subterránea en la Media Guajira
Anexo 12. Perfil estratigráfico corte A-A
Anexo 13. Perfil estratigráfico corte B-B
Anexo 14. Perfil estratigráfico corte C-C
Anexo 15. Sondeos Eléctricos verticales media Guajira
Anexo 16. Sondeo Eléctrico vertical Finca Chaparral
Anexo 17. Modelo Media Guajira Arcgis 10.1