

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA-GEOFÍSICA DE LAS FORMACIONES MESA Y LAS PIEDRAS AFLORANTES EN SANTA CLARA, ESTADO ANZOÁTEGUI.

Presentado ante la Ilustre

Universidad Central de Venezuela

Por la Br. (Granadino A, Maybelle N.

Para optar al Título

de Ingeniero Geólogo

Caracas, noviembre 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA-GEOFÍSICA DE LAS FORMACIONES MESA Y LAS PIEDRAS AFLORANTES EN SANTA CLARA, ESTADO ANZOÁTEGUI.

Tutor Académico: Ramón Montero
Co-Tutor: Prof. Antonio Ughi
Tutor Industrial: Yajaira Martínez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Granadino A, Maybelle N.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, noviembre 2012

Caracas, noviembre, 2012

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Maybelle Granadino titulado:

“EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA-GEOFÍSICA DE LAS FORMACIONES MESA Y LAS PIEDRAS AFLORANTES EN SANTA CLARA, ESTADO ANZOÁTEGUI”.

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Díaz Quintero
Jurado

Prof. Omar Márquez
Jurado

Prof. Ramón Montero
Tutor Académico

Ing., Yajaira Martínez
Tutor Industrial

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, la casa que vence la sombras, por permitirme obtener una excelente formación, no sólo académica, también social y familiar que en conjunto, con sus diversidades y complejidades han hecho que me sienta orgullosa de pertenecer a ésta gran casa de estudios.

Al Departamento de Geología, en especial a todo los profesores por ofrecerme enseñanzas y conocimientos necesarios para la formación profesional.

A los tutores académicos, Prof. Ramón Montero y Prof. Antonio Ughi, quienes han contribuido con su dedicación, paciencia y enseñanza en la elaboración de este Trabajo Especial de Grado.

A la empresa HIDROCARIBE, en especial a la Ing. Yajaira Martínez quien como tutora industrial depositó en mí su confianza para el desarrollo del presente trabajo.

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, (INAMEH), en especial al Ing. Héctor Fuenmayor por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, al Lic. Fernando De Carli por su apoyo y orientación, y muy especialmente al Ing. Luis Martínez y Lic. Manuel Figuera, por su invaluable asesoría, colaboración, asistencia técnica y científica, por dedicarme parte de su tiempo, paciencia, orientación y conocimientos para el completo desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado. A ustedes mil gracias.

Al Prof. Mauricio Bermúdez, por orientarme y ayudarme en los parámetros y definición del tema desarrollado. Asimismo, por confiar en mí para la realización del proyecto del presente trabajo de grado.

A la unidad de Servicio Comunitario y pasantías de la Facultad de Ingeniería, por su apoyo, comprensión y guía, tanto en el desarrollo personal como laboral, por creer en mí y permitirme formar parte de su gran equipo de trabajo. Muy especialmente a los profesores,

María Rincones, Ing. Alida Padrón, Profa. Katherine Silva, Prof. Edwuin Carrasquero, Prof. Crisanto Villalobos y Zoraida Canelón. Mil gracias.

A mis padres, por su paciencia, conocimientos, enseñanzas y educación de toda una vida, por hacer de mí una persona integra a nivel personal y profesional. Y estar siempre con sus manos extendidas para transmitirme todo el apoyo que he necesitado.

A mi hermana, por su incomparable apoyo constante en el desarrollo del presente trabajo.

A mi gran amigo Ing. Juan Carlos Zamora por su colaboración y preocupación en la elaboración de dicho trabajo.

Ing. Ignacio Mederos por su conocimiento y colaboración para la realización de los sondeos eléctricos verticales.

Al Ing. Norgardy Esteves por contribuir en el desarrollo de la información.

A Néstor Marín por su constante apoyo en el sistema operativo.

Granadino A., Maybelle N.

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA-GEOFÍSICA DE LAS FORMACIONES MESA Y LAS PIEDRAS AFLORANTES EN SANTA CLARA, ESTADO ANZOÁTEGUI.

Tutor Académico: Prof. Ramón Montero. Tutor Industrial: Ing. Yajaira Martínez
Co-tutor: Prof. Antonio Ughi. Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela de Geología Minas y Geofísica. Año 2012, 120 p.

Palabras claves: Acuíferos, hidrogeología, formaciones Mesa, Las Piedras, sondeo eléctrico vertical (SEV)

Resumen: La población de Santa Clara perteneciente al Municipio Monagas del estado Anzoátegui, en los llanos Orientales de Venezuela, está ubicada al suroeste de Mesa de Guanipa entre las coordenadas UTM 932.000 y 944.000 Norte y entre las coordenadas UTM 316.800 y 332.000 Este, Dicha población está dividida en tres comunidades, entre ellas: El Centro, El Bolivariano e Indígena. Desde el punto de vista geológico, Santa Clara está representada por una secuencia de sedimentos de edad Terciario y Cuaternario.

Entendiendo la problemática actualmente presentada en la población de Santa Clara en cuanto a la disponibilidad de agua, surgió el presente trabajo el cual propuso como objetivo principal, realizar un estudio hidrogeológico – geofísico para la ubicación de acuíferos que conlleven a diseñar y construir nuevas obras de captación de agua para abastecer a la población de Santa Clara.

Para alcanzar el objetivo planteado, fue necesario realizar la recopilación de la información disponible tanto bibliográfica como de trabajos anteriormente realizados, que incluyen estudios de levantamiento geológico de superficie e hidrológico, la correlación de estudios posteriormente realizados e inventario de pozos, todo ello permitió definir unidades hidrogeológicas, nivel piezométrico, dirección del flujo de las aguas subterráneas, posible profundidad de acuíferos, y condición actual de la población. Asimismo se realizaron sondeos eléctricos verticales con arreglo tipo Schlumberger en zonas aledañas al área de

estudio, con el propósito de localizar sitios propicios para la construcción de nuevos pozos profundos. La metodología fue basada en correlacionar los resultados hidrogeológicos con los geofísicos, con el propósito de determinar los sitios probables para la construcción de nuevas obras de captación.

Los resultados obtenidos permitió la identificación de los primeros 15 m rocas muy resistivas constituidos por arenas y gravas luego a partir de los 16 m, rocas de baja resistividad representadas por arenas y arcillas. Los resultados interpretados permitieron identificar zonas probables para nuevas perforaciones; sin embargo, se requiere de nuevas investigaciones en zonas aledañas a la población de Santa Clara, así como el uso de equipos que penetren a una profundidad mayor de 100 m que permitan garantizar la ejecución de nuevas perforaciones para el aprovechamiento de acuíferos.

Tabla de contenido

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades.....	2
1.2. Ubicación de la zona de estudio.....	3
1.3. Planteamiento del problema.....	4
1.4. Justificación	5
1.5. Objetivos.....	5
1.6. Trabajos previos.....	6
CAPITULO II.....	10
2. GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL	10
2.1. Generalidades.....	10
2.2. Cuenca Oriental de Venezuela.....	10
2.3. Límites de la Cuenca Oriental de Venezuela	10
2.4. Estratigrafía regional.....	11
Basamento.....	12
Formación Hato Viejo (Devónico).....	12
Formación Carrizal (Devónico – Carbonífero)	13
Grupo Temblador (Cretácico tardío Aptiense?-Maastrichtiense).....	13
Formación Canoa (pre – Turoniense).....	14
Formación Tigre (post – Cenomaniense)	15
Formación Merecure (Oligoceno – Mioceno temprano).....	16
Formación Oficina (Mioceno inferior – medio).....	16
Formación Freites (Mioceno medio).....	17
Formación Las Piedras (Mioceno tardío – Plioceno).....	18
Formación Mesa (Cuaternario – Pleistoceno).....	18
Depósitos Aluviales	20
2.5. Geología regional estructural	21
2.6. GEOLOGIA LOCAL.....	24
2.6.1. Generalidades.....	24
Formación Las Piedras (Mioceno Tardío – Plioceno).....	24
Formación Mesa (Cuaternario Pleistoceno).....	24
2.6.2. Marco estructural local	27
CAPITULO III	29
3. GEOGRAFÍA FÍSICA.....	29
3.1. Generalidades.....	29

3.2. Fisiografía	29
3.2.1. Clima.....	29
3.2.2. Vegetación	30
3.2.3. Drenajes	30
3.2.4. Geomorfología local	30
3.3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	31
3.3.1. Provincias hidrogeológicas	31
3.4. Obras de captaciones	33
3.5. Determinación de la recarga	34
3.6. CARACTERÍSTICAS SOCIO – ECONÓMICAS	34
3.6.1. Aspecto económico.....	34
3.6.2. Aspecto del desarrollo urbano	34
3.6.3. Servicios básicos.....	35
3.6.4. Abastecimiento de agua.....	35
3.6.5. Consumo de agua.....	35
3.3.6. Proyección de población.....	36
3.7. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	37
3.7.1. Características generales del agua.....	37
3.7.2. Características físico-químicas del agua subterránea	37
CAPITULO IV	40
4. MARCO TEÓRICO	40
4.1. Aguas superficiales	40
4.2. Agua subterránea	40
4.2.1. Origen del agua subterránea.....	41
4.2.2. Procesos que originan los acuíferos.....	42
4.2.3. Función de un acuífero.....	43
4.2.4. Acuíferos.....	43
4.2.5. Acuitardos.....	43
4.2.6. Acuicludos	43
4.2.7. Acuífugos	44
4.2.8. Tipos de acuíferos	44
4.2.9. Características de los acuíferos	46
4.2.10. Parámetros que definen la dinámica del agua subterránea	46
4.2.11. Porosidad	47
4.2.12. Permeabilidad	48
4.2.13. Transmisividad.....	48

4.2.14. Coeficiente de almacenamiento	49
4.2.15. Nivel piezométrico.....	49
4.2.16. Superficie piezométrica	49
4.2.17. Gradiente hidráulico.....	50
4.2.18. Evapotranspiración	51
4.2.19. Balance hídrico	51
4.2.20. Flujo convergente	52
4.2.21. Radio de influencia.....	53
4.2.22. Interferencia entre pozos.....	54
4.2.23. Nivel estático (NE)	55
4.2.24. Agua subterránea en formaciones sedimentarias	55
4.3. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DEL SUBSUELO.....	56
4.3.1. Resistividad eléctrica	57
4.3.2. Resistividad aparente (pa).....	58
4.3.3. Variaciones de la resistividad de las rocas	59
4.3.4. Conductividad electrolítica	60
4.3.5. Teoría del sondeo eléctrico vertical (SEV)	60
4.3.6. Sondeos eléctricos verticales (SEV)	61
4.3.7. Dispositivo de medida.....	62
4.3.8. Curvas de SEV	63
CAPITULO V	64
5. MARCO METODOLÓGICO	64
5.1. Metodología.....	64
5.1.1. Etapa 1	64
5.1.2. Etapa 2	65
5.1.3. Etapa 3	70
Procesamiento de datos de los SEVs	74
CAPITULO VI.....	75
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	75
6.1. Evaluación geológica del área de estudio	75
6.2. Geomorfología.....	77
6.3. Características climáticas.....	78
6.4 Unidades hidrogeológicas	81
6.5. Comparación entre acuíferos	83
6.6. Obras de captación.....	85
6.7. Morfología piezométrica.....	86

6.8. Dinámica de recarga	88
6.9. Dinámica hidrogeológica	91
6.10. Proceso de recarga	93
6.11. Abastecimiento de agua para la población de Santa Clara.....	95
6.12. Población residente	95
6.13. Requerimiento de agua para la población	96
6.14. Cantidad de agua que dispone la población	97
6.15. Disponibilidad anual de agua	97
6.16. Calidad del agua de los pozos estudiados	99
6.17. Exploración geofísica.....	100
<i>Procesamiento de datos</i>	101
Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas en la población de Santa Clara	118
CAPITULO VII.....	119
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
7.1. Conclusiones	119
7.2. Recomendaciones.....	120
BIBLIOGRAFÍA.....	122

Contenido de figuras

Figura 1. Ubicación de las fuentes de abastecimiento hacia Santa Clara. Tomado de “Proyecto aducción desde captación Mapirito a futura planta de tratamiento, nueva estación de bombeo, limpieza y desinfección del sistema de abastecimiento Santa Clara, Municipio Monagas – Estado Anzoátegui”	3
Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio (Dirección de Cartografía Nacional. Escala 1:100.000 año, 1960).....	4
Figura 3. Ubicación relativa de la zona de estudio. (Tomado de PDVSA, 2009).	11
Figura 4. Estratigrafía regional del área de estudio. (Faja Petrolífera del Orinoco. PDVSA, 2009)	20
Figura 5. Ubicación de la Cuenca Oriental de Venezuela. (Bochkarev et al. 2007).	22
Figura 6. Sección esquemática estructural regional de la Faja Petrolífera del Orinoco (PDVSA, 2009)	23
Figura 7. Mapa de la geología local del área de estudio (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1976).....	25
Figura 8. Columna Estratigráfica de las formaciones Mesa y Las Piedras (Mendoza, 2005).	26
Figura 9. Mapa donde se muestran las cuatro Provincias Hidrogeológicas y la ubicación de la zona de estudio (Unesco, 1996).	32
Figura 10. Ciclo hidrológico del agua. (Modificado de López et al., 2009)	42
Figura 11. Tipos de acuíferos en función de la presión hidrostática del agua contenida en ellos (López et al., 2009).	45

Figura 12. Tipos de acuíferos según su comportamiento (López et al. 2009)	45
Figura 13. Esquema de superficie piezométrica (Custodio y Llamas, 2009)	50
Figura 14. Dibujo esquemático de flujo convergente hacia el pozo, pasando a través de superficies cilíndricas imaginarias que van siendo menores a medida que se aproximan al pozo (Johnson, 1975)	53
Figura 17. Medida de resistividades del terreno (González De Vallejo et al., 2002).....	61
Figura 18. Esquema del dispositivo tipo Schlumberger	63
Figura 19. Imagen donde se observa la ubicación de los SEVs en el área de estudio. (Modificado de Google Earth 2005)	68
Figura 20. Foto del equipo SARIS utilizado para los SEVs	69
Figura 21. Distribución para la ejecución de los SEVs	70
Figura 22. Rango de resistividades y conductividades verdaderas de sedimentos, rocas y fluidos. Modificado de Falgas, 2007.....	73
Figura 23. Foto donde se muestra la litología tipo de la Formación Mesa.	76
Foto 24. Conglomerados muy duros de color rojo oscuro.....	76
Figura 25. Muestra una sección de arenas y gravas poco consolidadas.....	77
Figura 26. Geomorfología de la zona. Elaboración propia con datos obtenidos de las curvas topográficas de la hoja cartográfica 7241.	78
Figura 27. Gráfico de la precipitación promedio de la zona de estudio. Base de datos Inameh. Elaboración propia.	79
Figura 28. Gráfico de la temperatura promedio del área de estudio. Base de datos Inameh. Elaboración propia	80
Figura 29. Gráfico de la evaporación promedio de la zona de estudio. Base de datos Inameh. Elaboración propia.	80
Figura 30. Gráfico de la precipitación relacionada con la evapotranspiración. Base de datos Inameh y Ministerio del Ambiente y de los recursos Naturales Renovables. Elaboración propia.	81
Figura 31. Mapa donde se muestran las unidades hidrogeológicas del área de estudio (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1976).....	83
Figura 32. Muestra información de pozos existentes al este y oeste de la zona	85
Figura 33. Mapa piezométrico	87
Figura 34. Gráfico del balance hídrico calculado para la zona de estudio	91
Figura 35. Foto donde se observa la condición del pozo El Bolivariano.....	92
Figura 36. Tanque elevado. Ubicado en el sector Bolivariano.	93
Figura 37. Pozo sellado ubicado en el sector Oripopo.....	95
Figura 38. Curva del sondeo eléctrico vertical – 01	101
Figura 39. Curva del sondeo eléctrico vertical - 02	102
Figura 40. Curva del sondeo eléctrico vertical – 03	103
Figura 41. Perfil geoelectrico de los SEV 01, 02 y 03	105
Figura 42. Perfil de correlación A-A	107

Figura 43. Muestra la estratigráfica del sector Santa Clara vía Oripopo	109
Figura 44. Curva del sondeo eléctrico vertical – 04	110
Figura 45. Curva del sondeo eléctrico vertical – 05	111
Figura 46. Curva del sondeo eléctrico vertical – 06	112
Figura 47. Corte geoelectricos de lo SEV 04, 05 y 06	114
Figura 48. Perfil correlación B – B`	115
Figura 49. Muestra la sección estratigráfica del sector Santa Clara – principal vía de acceso hacia la población	117

Contenido de tablas

Tabla 1. Crecimiento de la población de Santa Clara. Datos del INE	36
Tabla 2. Resistividades de algunas rocas. (González De Vallejo et al., 2002)	59
Tabla 3. Datos obtenidos de los pozos ubicados en el centro poblado.	66
Tabla 4. Ubicación geográfica de los SEVs	67
Tabla 5. Datos climatológicos promedio	71
Tabla 6. Datos climatológicos promedio	71
Tabla 7. Datos de pozos obtenidos en campo y dato teórico	86
Tabla 8. Cálculo del balance hídrico	89
Tabla 9. Parámetros obtenidos de los pozos de Santa Clara.	99
Tabla 10. Parámetros excedidos para aguas tipo 1A y tipo B. (Fernández y Di Domenico, 2010).	100
Tabla 11. Tabla interpretada del SEV 01, sector Santa Clara - vía Oripopo.	102
Tabla 12. Tabla interpretada del SEV 02, Sector Santa Clara - vía Oripopo.	103
Tabla 13. Tabla interpretada del SEV 03, sector Santa Clara - vía Oripopo.	104
Tabla 14. Correlación de unidades geoelectricas SEVs 1, 2 y 3. (Sector Santa Clara – Vía Oripopo).	104
Tabla 15. Tabla interpretada del SEV 04, sector Santa Clara, principal vía de acceso hacia la población.....	110
Tabla 16. Tabla interpretada del SEV 05, sector Santa Clara, principal vía de acceso hacia la población.....	111
Tabla 17. Tabla interpretada del SEV 06, sector Santa Clara, principal vía de acceso hacia la población....	112
Tabla nº 18. Correlación de las unidades geoelectricas de los SEVs 4, 5 y 6. (Principal acceso hacia la población de Santa Clara).	113
Tabla 19. Mayor posibilidad de acumulación de las aguas subterráneas.	118

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea es aquella que se encuentra contenida en los espacios vacíos o intersticios de los suelos y rocas de la corteza terrestre. Desde el punto de vista conceptual, ésta se encuentra contenida en los llamados acuíferos, entendiéndose por ello, a la unidad geológica con características de porosidad y permeabilidad capaz de almacenar agua y de alimentar manantiales y pozos, cuyo propósito está el de suplir agua a las poblaciones o el de ser utilizadas en actividades agrícolas, pecuarias, industriales, ornamentales o recreacionales, entre otros usos (López, 2009).

El abastecimiento de agua a las poblaciones, se considera un servicio básico para las comunidades y de obligada prestación por los poderes públicos. Con el pasar de los años, las necesidades del hombre han aumentado, la sociedad no sólo exige agua en cantidad, sino que es un factor indispensable para el mundo. Es por ello que el presente Trabajo Especial de Grado tiene como finalidad, dar alternativas de solución a la población de Santa Clara, Estado Anzoátegui, con el propósito de poder mejorar el abastecimiento de agua, puesto que desde hace más de 20 años, ha presentado problemas de desabastecimiento de agua potable, esto según información de la empresa HIDROCARIBE, convirtiéndose en un factor crítico que ha impedido el desarrollo de las actividades realizadas en la población.

La empresa hidrológica regional HIDROCARIBE ha propuesto satisfacer las necesidades que dicha población presenta. Es por ello que para este estudio y con el apoyo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), se realizaron evaluaciones hidrogeológicas y geofísicas en la población de Santa Clara para proponer en el área de estudio, zonas de posibles perforaciones de pozos, que permitan solventar y mejorar la problemática de suministro de agua cuyo propósito es el de ofrecer una mejor calidad de vida a la comunidad.

1.1. Generalidades

La población de Santa Clara está ubicada en el Municipio José Gregorio Monagas, al suroeste del Estado Anzoátegui, Venezuela. El área de estudio, está caracterizada por poseer ríos con largos cursos paralelos, cuasi rectilíneos. El drenaje está conformado principalmente por los ríos Aribí y Pao con sus afluentes, con una dirección preferentemente hacia el sureste. Todos estos sistemas de drenajes cortan a la Formación Mesa.

El abastecimiento de agua se realiza en base a dos sitios de captación, a saber: en los Morichales Mapirito (desarenador lateral) y Coporo (dique toma). Desde el Morichal Mapirito se bombea agua hasta el dique toma Coporo, luego desde allí se envía el agua cruda desde la toma hasta un tanque elevado de 121,20 m³ de capacidad y al Pozo El Bolivariano ubicado en el Sector Bolivariano (figura 1).

El sistema de abastecimiento de agua potable de Santa Clara hoy día se ha desarrollado sin seguir un plan estratégico, evidenciado esto a través del deficiente suministro de agua que beneficia a su población, conformada por unos 2.042 habitantes, según el Instituto Nacional de Estadística (I.N.E. 2001). En ese sentido, es importante señalar que en el proceso de planificación la demografía es uno de los factores a tomarse en cuenta, ya que la población futura depende en su totalidad de esta primera información. La tasa de crecimiento anual estimada para la población de Santa Clara, según el INE (2001) corresponde a 2,10% como representativa del crecimiento poblacional.

Finalmente, el agua es enviada a la población por gravedad sin ningún tipo de tratamiento. Asimismo, dicha población se abastece de agua por medio de 2 pozos llamados El Bolivariano y Pílon 2, donde los habitantes a través de recipientes adquieren agua para su uso habitual; no obstante, es importante reseñar que el agua almacenada en el tanque elevado y en el pozo, no es suficiente para surtir a toda la población. Esto permite resaltar la necesidad que tiene para la población, la búsqueda de fuentes y de reservorios de agua para suplir las necesidades hídricas.

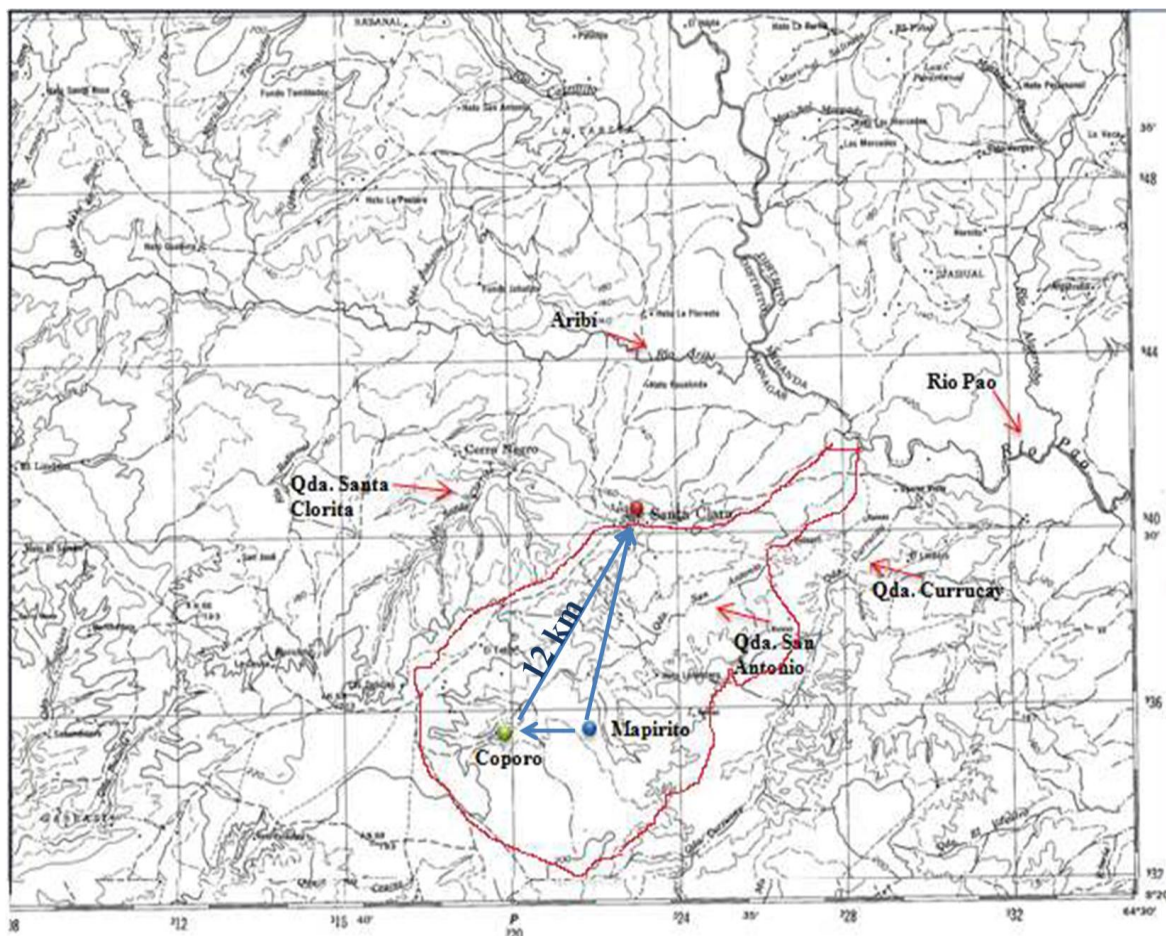


Figura 1. Ubicación de las fuentes de abastecimiento hacia Santa Clara. Tomado de “Proyecto aducción desde captación Mapirito a futura planta de tratamiento, nueva estación de bombeo, limpieza y desinfección del sistema de abastecimiento Santa Clara, Municipio Monagas – Estado Anzoátegui”.

1.2. Ubicación de la zona de estudio

El área de estudio está ubicada en el Estado Anzoátegui, alrededor de la población Santa Clara, en los llanos Orientales de Venezuela, específicamente entre las coordenadas UTM 932.000 y 944.000 Norte y UTM 316.800 y 332.000 Este, con una superficie de 52.6 km². El mapa que muestra la ubicación geográfica de la zona de estudio es presentado en la figura 2.

Vías de acceso

Ubicados en la ciudad de Barcelona en el estado Anzoátegui, la principal vía de acceso al área de estudio es la carretera nacional que une las poblaciones de Anaco, El Tigre y

Pariaguán. En la población de Pariaguán se toma un desvío que conduce hacia la población de Santa Clara a través de una carretera pavimentada. El recorrido hacia ésta población se realiza en tiempo estimado de unos 45 minutos con una distancia de aproximadamente 38,40 km.

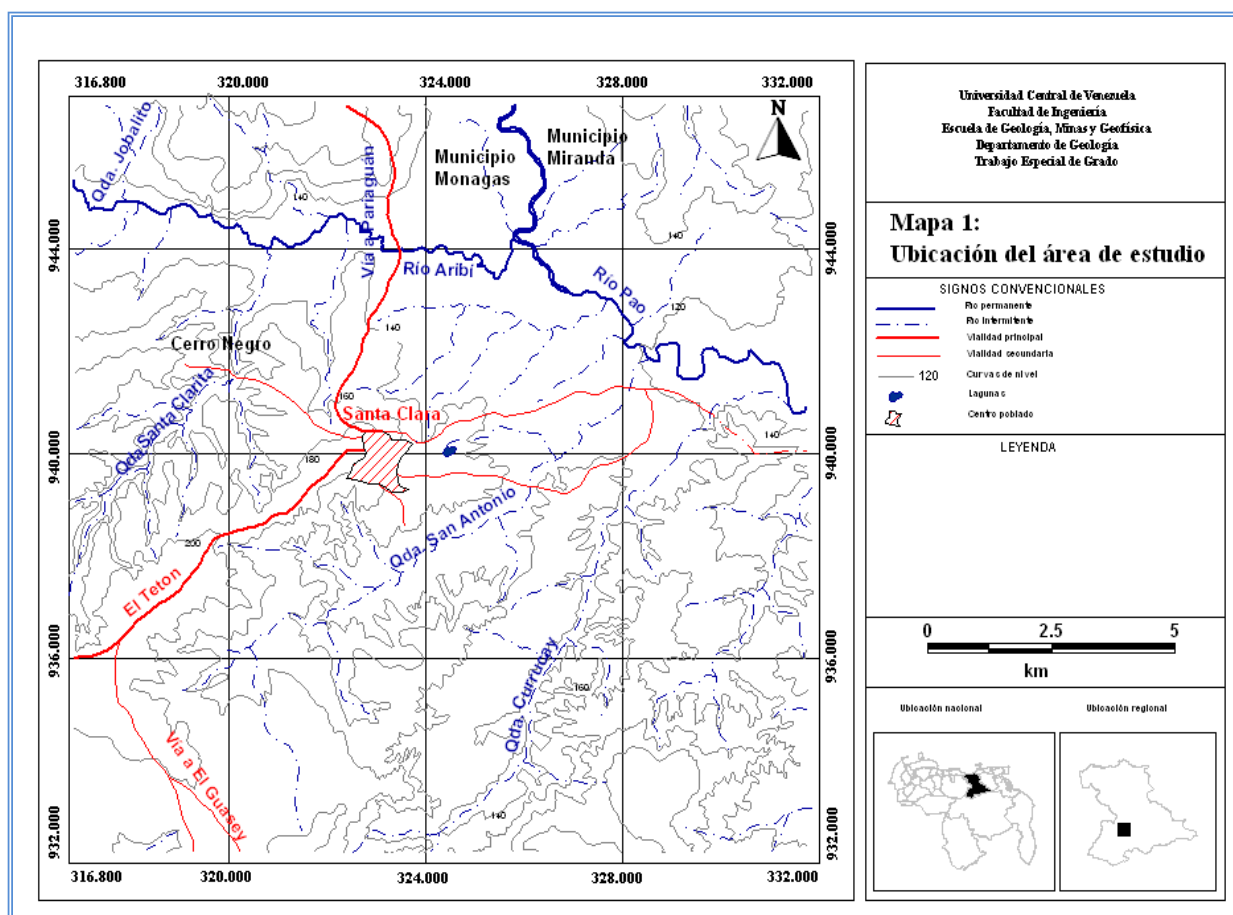


Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio (Dirección de Cartografía Nacional. Escala 1:100.000 año, 1960).

1.3. Planteamiento del problema

Actualmente la población de Santa Clara presenta una dotación de agua que es insuficiente para la población. Es por ello que con el fin de mejorar y aumentar el abastecimiento de agua potable de la población de Santa Clara, la empresa HIDROCARIBE propuso realizar estudios hidrogeológicos y geofísicos con el propósito de evaluar la extensión de acuíferos

existentes en la zona de estudio y calibrar su potencialidad e incrementar el número de pozos que conlleven a surtir a futuro, nuevos tanques elevados ya planificados para su construcción con ello cubrir la creciente demanda de dicha población.

Para poder alcanzar los objetivos propuestos en el presente Trabajo Especial de Grado, se procedió a realizar el levantamiento hidrogeológico y geofísico en zonas circundantes a la Población de Santa Clara, con el fin de reconocer las características litológicas, la extensión lateral de las formaciones Mesa y Las Piedras generándose perfiles geoelectricos del acuífero, mediante a la aplicación de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

1.4. Justificación

El crecimiento demográfico experimentado por Santa Clara ha aumentado la necesidad de mejorar o incrementar la capacidad de su acueducto, por ello se pretende proponer nuevos sitios para el aprovechamiento de los reservorios de las aguas subterráneas existentes en dicha población, a través de la perforación de nuevos pozos que permitan acrecentar el suministro de este vital líquido y con ello, poder suplir la demanda tanto para su consumo como para el desarrollo de las diversas actividades allí realizadas. La propuesta de perforación dependerá de los resultados del estudio integrado geológico-geofísico contemplado en este proyecto, el cual pretende determinar la extensión lateral de las formaciones geológicas circundantes catalogadas como acuíferos potenciales y facilitar la ubicación de sitios para la construcción de nuevos pozos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Aplicar métodos integrados de geología de superficie y geofísicos en el centro y adyacencias inmediatas a la población de Santa Clara, estado Anzoátegui, con el fin de evaluar y ubicar reservorios de aguas subterráneas, así como los probables patrones de recarga.

1.5.2. Objetivos específicos

- Identificar la información geológica de la zona
- Actualizar el inventario de pozos
- Reconocer las zonas geológicamente favorables para la acumulación de las aguas subterráneas
- Estimar las reservas probables del acuífero
- Seleccionar el sector óptimo para ejecutar los sondeos eléctricos verticales.
- Generar un modelo del subsuelo integrado, a partir de la obtención de datos geoelectrónicos utilizando el método de resistividad.
- Ubicar las áreas óptimas para la perforación de pozos de agua.

1.6. Trabajos previos

Santos (1974) evaluó la disponibilidad de aguas subterráneas en las formaciones Mesa y Las Piedras, con la finalidad de obtener información sobre el riego en la comunidad de Oficina, Estado Anzoátegui, para el uso en el anegamiento de pozos petrolíferos. Esto se realizó basado en el estudio de un número superior a los 400 registros eléctricos superficiales, que sirvieron de soporte para la generación de los datos básicos en la elaboración de mapas. El área estudiada está representada por la Formación Mesa de unos 270 m de elevación con pendiente al sureste, en la Mesa de Guanipa, donde los acuíferos en su mayoría son del tipo confinado y semiconfinado.

López (1981) analizó las características hidrogeológicas de las formaciones geológicas, así como la calidad de sus aguas subterráneas y superficiales, existentes en la Cordillera Oriental al este de Barcelona, estado Anzoátegui. En la zona estudiada aflora un conjunto de rocas sedimentarias, donde la mayoría de las aguas son bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas magnésicas; siendo un grupo de ellas no aptas para consumo humano.

Mata (1981) estudió la geología de superficie y las características hidrogeológicas de una región situada al este de Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui, con la finalidad de determinar

las reservas de aguas subterráneas existentes en el área bajo estudio. La zona de estudio se localiza en la serranía del Interior, representada por rocas sedimentarias plegadas y falladas. Las aguas en los acuíferos son de primera calidad aptas para el consumo humano y para el riego. Las unidades litológicas corresponden a rocas consolidadas permeables por fisuración, fracturamiento, disolución o efecto mixto, los cuales en condiciones favorables pueden dar lugar a la presencia de acuífero fracturado.

García (2000) estudió la posibilidad de recarga de los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras, en el área de Jusepín y Caicara de Maturín y su relación con el frente de montaña, así como el establecimiento de éstas aguas según su composición química, debido al descenso en los niveles de agua en los acuíferos profundos en explotación en el área de Jusepín. Logró identificar la recarga de los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras en el área de Jusepín los cuales dependen de acuíferos someros y éstos a su vez son alimentados por infiltración directa de lluvia. Asimismo existe un flujo que proviene del frente de montaña el cual recarga en el subsuelo los sedimentos de la Formación Las Piedras a través de macizo rocoso de las formaciones cretácico temprano.

Vives et al. (2001) presentaron un modelo preliminar del flujo de aguas subterráneas del acuífero Guaraní. La finalidad del mapa hidrogeológico fue la de ofrecer una visión general y sintética de la distribución de los recursos hídricos, con énfasis en el sub-suelo, que permita su empleo como una herramienta de apoyo para la elaboración de un modelo conceptual del funcionamiento del acuífero y para facilitar la toma de decisiones a los organismos administradores del agua.

Filí M. (2001) realizaron un estudio detallado en un área representativa de un importante sector de la provincia Entre Ríos, Argentina, en la que las características de las formaciones geológicas determinan las condiciones geohidrológicas complejas, caracterizadas por la presencia de variaciones regionales en su constitución y/o estados físico que incidieron en la hidrología subterránea. Los sistemas acuíferos están constituidos por arenas y gravas de origen fluvial y marina, donde por lo general las capas productivas están semiconfinadas o confinadas por mantos de arcilla.

Mosquera y Parravano (2005) realizaron una evaluación de los recursos hídricos existentes en la Mesa de Guanipa, Estado Anzoátegui, mediante la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual a través de la aplicación de técnicas geoestadísticas para el estudio de variables espaciales, particularmente los espesores litológicos y niveles piezométricos. Los análisis realizados les permitieron identificar las capas permeables e impermeables que componen el acuífero de la Mesa de Guanipa. Las formaciones geológicas donde realizaron las perforaciones para el estudio, las asumieron predominantemente permeables, con condiciones hidrogeológicas donde exhiben un acuífero con buena capacidad de almacenamiento.

Fuentes (2006) realizó una investigación sobre la problemática de erosión intensa que ocurre en grandes extensiones de terreno donde afloran los sedimentos de la Formación Mesa, al Sur de los estados Anzoátegui, Monagas y Guárico y al norte de Bolívar. Asimismo, recopiló los casos más conocidos de esta incidencia en infraestructuras civiles existentes, analizando las causas de tales procesos y los métodos de mitigación y/o control de los mismos. En la Formación Mesa, se evidenció la presencia de distintos depocentros; los ríos provenientes de la Serranía del Interior provocaron una sedimentación caótica de conglomerados y arenas. Asimismo, este autor indica que un pseudo – Orinoco proveniente del suroeste, pudo ser el causante del aporte de la gran cantidad de arenas en el sur, y el material más fino de su fase deltaica en la zona central de la Formación Mesa.

Sánchez y Plata (2007) utilizaron métodos geoelectrónicos para la prospección de agua subterránea, en conjunto de datos adquiridos por medio de los Sondeos Eléctricos Verticales, con la finalidad de caracterizar mediante métodos sísmicos de refracción y eléctricos un área del oriente del país estado Monagas. Con el procesamiento de lo dato adquirido de sísmica de refracción y los sondeos eléctricos verticales por la empresa obtuvieron valore representativo de espesores de la primera capa, velocidades de la capa meteorizada y consolidada, resistividades para tres nivele de profundidad.

Hidrocaribe (2009) rehabilitó y amplió la infraestructura existente del sistema de abastecimiento, para la población de Santa Clara con el fin de mejorar la calidad del agua que se está suministrando actualmente y subsanar las fallas de suministro del servicio.

Hidrocaribe (2010a) realizó un estudio que incluye la construcción de obras complementarias para el debido funcionamiento del sistema de tratamiento almacenamiento y distribución de agua potable en la población de Santa Clara.

Hidrocaribe (2010b) realizó un estudio para construir un sistema de almacenamiento y distribución de agua potable en la población de Santa Clara, que consiste en un tanque elevado de 300 m³ de capacidad, con el fin de mejorar el suministro de agua potable a la población.

Hidrocaribe (2010c) ejecutó un estudio para construir una nueva estación de bombeo que estará contigua a la existente en el Morichal Mapirito, que permita además abarcar la instalación de las nuevas tuberías de succión y descarga con sus respectivos equipos de bombeo, para enviar el agua cruda a través de la nueva tubería de impulsión.

Fernández y Di Domenico (2010) realizaron un levantamiento de información sobre el abastecimiento de agua en la localidad de Santa Clara, Municipio José Gregorio Monagas, para conocer el suministro de agua potable y recolectar datos de cantidad y estilo de vida de los habitantes y proyectar una ampliación en la red compuesta por tuberías PVC, así como del sistema de almacenamiento capaz de servir a la población futura. Dichos autores indicaron que es necesario realizar estudios hidrogeológicos para ubicar futuras fuentes de abastecimiento, que permitan así garantizar el suministro de agua potable para una mejora de calidad de vida a los habitantes, ya que se encuentran en deficiencias en cuanto recurso hídrico.

Barelli (2011) realizó un estudio que implicó la elaboración de un modelo de flujo de aguas subterráneas en el sector noroccidental del área Ayacucho en el campo Bare, Estado Anzoátegui. Este estudio permitió identificar la distribución de permeabilidades, direcciones y velocidades de flujo subterráneo en la zona del acuífero del polígono Piloto de Combustión en sitio a Larga Distancia (CESLD).

CAPITULO II

2. GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

2.1. Generalidades

La población de Santa Clara ubicada en el Municipio José Gregorio Monagas del estado Anzoátegui, está limitada al norte con el Municipio Santa María de Ipire, Zaraza y Miranda; por el sur, limita con el río Orinoco y el Estado Bolívar; por el este, con el estado Bolívar y el Municipio Miranda; por el oeste, con el Municipio Infante y Santa María de Ipire. Geográficamente localizado en los *llanos orientales*, desde el punto de vista geológico, Santa Clara presenta una secuencia de sedimentos de edad Terciario Superior y Cuaternario, pertenecientes a la *Cuenca de Venezuela Oriental*. Santa Clara está enclavada al suroeste de Mesa de Guanipa con elevaciones promedios de 200 msnm.

2.2. Cuenca Oriental de Venezuela

La Cuenca Oriental de Venezuela es una cuenca “foreland” o “antepais”, localizada al borde norte continental de Sudamérica, estructural y estratigráficamente algo compleja. Se extiende por los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro y parte del estado Sucre, con una superficie de unos 165.000 km², una longitud de 800 Km en sentido E-O y un ancho promedio de unos 200 Km en dirección aproximada N-S (Erlich y Barrett, 1992).

2.3. Límites de la Cuenca Oriental de Venezuela

La Cuenca Oriental de Venezuela, se caracteriza por presentar los siguientes límites: al norte se identifica una línea que demarca el piedemonte de la Serranía del Interior, así como los cinturones ígneo metamórficos de la Cordillera del Caribe hasta Araya – Paria; al sur, con el curso del río Orinoco, desde la desembocadura del río Arauca hasta el Delta; al este continúa por debajo de Golfo de Paria hacia el sur de Trinidad y se hunde en el Atlántico ecuatorial, al Oeste de la Costa del Delta del Orinoco y al oeste con el Arco de El Baúl y su conexión estructural con el cratón de Guayana (Mendoza, 2005).

Topográficamente, la cuenca se caracteriza por extensas llanuras y un área de mesas que comprenden los estados Anzoátegui y Monagas. Es asimétrica con el flanco sur ligeramente inclinado hacia el norte. Aunado a ello, toda la cuenca se profundiza y buza hacia el este y hacia el sureste de Trinidad, donde se estima pueda alcanzar hasta 14.000 m de espesor (González de Juana et al., 1980).

2.4. Estratigrafía regional

La zona de estudio está ubicada en el flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela. La sección sedimentaria preservada en el área bajo estudio, abarca desde el Paleozoico hasta el Reciente. Toda esta secuencia se encuentra suprayaciendo a un complejo de rocas ígneo – metamórficas pertenecientes al Escudo de Guayana de edad precámbrico. La estratigrafía que aquí se presenta, corresponde al bloque Junín, ubicado en la Faja Petrolífera del Orinoco como se muestra en la figura 3 (PDVSA, 2009), por lo que es importante inicialmente resaltar desde el punto de vista regional, los principales rasgos geológicos. En ese sentido, en la parte sur del Estado Anzoátegui, la zona de estudio está constituida por unidades del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico, las cuales serán explicadas a continuación:

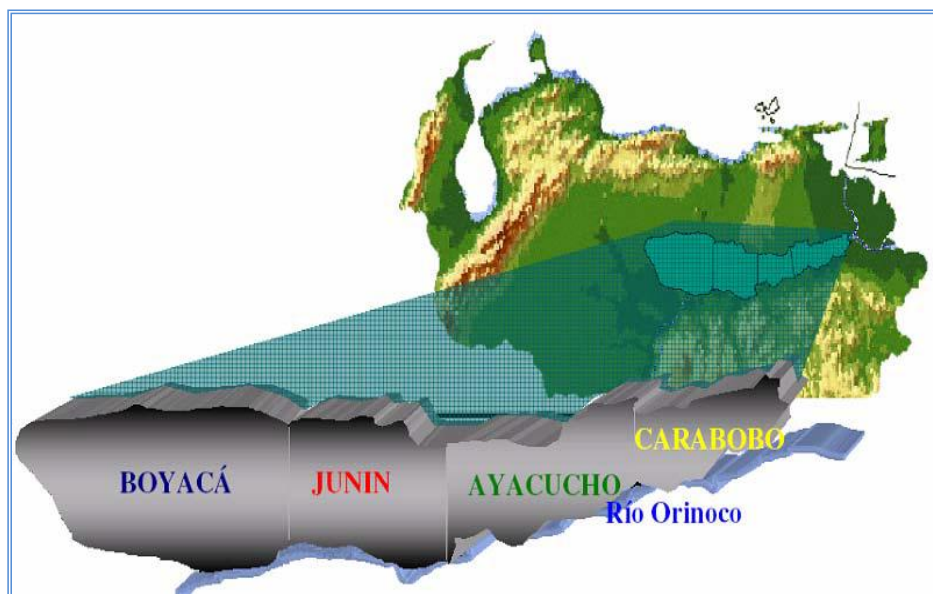


Figura 3. Ubicación relativa de la zona de estudio. (Tomado de PDVSA, 2009).

Basamento

El basamento está representado por un cuerpo basamento ígneo – metamórfico de edad Proterozoico, caracterizado por anfibolitas de afinidad máfica, granitos potásicos intrusivos de afinidad intermedia (metatobas), y unidades graníticas, porfídicas y pertíticas, constituida por granitos potásicos, orogénicos, anatócticos, con presencia de biotita y muscovita, pertenecientes a la Provincia Pastora (PDVSA, 2009).

Formación Hato Viejo (Devónico)

Es una unidad esencialmente de arenisca de grano fino a grueso, colores gris – rosado, gris y gris oscuro, friable, dura, maciza y áspera, ligeramente calcárea y en partes muy micácea y pirítica, con granos redondeados y bien cementados. La arenisca contiene conglomerados y peñas de cuarcita a intervalos irregulares; localmente, se presentan vetas de calcita a lo largo de fracturas (González de Juana el at., 1980), Asimismo, señala que la litología comprende arcosas de grano medio a grueso con algunas láminas de arcilita verdosa; mientras que las arcosas pasan lateralmente a areniscas cuarcíferas y lentes conglomeráticos, donde predominan los colores grises, a veces con tonos rojizos. Los conglomerados de esta formación se han considerado con la sección basal de la Formación Carrizal, aunque también se ha postulado una interdigitación entre ambas. Estas dos formaciones han aparecido en perforaciones de modo esporádico al suroeste de Anzoátegui y al sur de Guárico en contacto discordante sobre rocas características del Cratón de Guayana y discordantes por debajo del Grupo Temblador de edad Cretácico.

La Formación Hato Viejo infrayace a la Formación Carrizal del Paleozoico (Cámbrico temprano), con la cual guarda estrecha relación, aunque suprayace discordantemente a las rocas Precámbricas del escudo de Guayana. De acuerdo a perforaciones realizadas por PDVSA (1983) la Formación Hato Viejo está en contacto de falla con la Formación Oficina, lo que explica la presencia de hidrocarburos en Hato Viejo a partir de inyección desde sedimentos Terciarios yuxtapuestos. Se supone concordante subyacente a la Formación Carrizal y en contacto discordante sobre el basamento. El ambiente de

sedimentación posiblemente corresponda a ambientes fluviales de canales entrelazados. Las areniscas de la Formación Hato Viejo son duras, de grano fino a medio, con estratificación cruzada y porosidad promedio de 7%.

Formación Carrizal (Devónico – Carbonífero)

La Formación Carrizal ha sido localizada en el pozo Carrizal-1, situado en el Distrito Monagas del estado Anzoátegui, a unos 65 km al sur de Pariaguán y a unos 40 km al sureste de Santa María de Ipire. La secuencia está constituida por una espesa secuencia de arcilitas verdosas a gris oscuro, duras, masivas y densas, ocasionalmente teñidas de rojo, duras y compactas. Contiene algunas capas de limolita y areniscas fuertemente bioturbada, e intercaladas; asimismo, generalmente hacia la base de la formación, se han observado cuerpos de arena. Ocasionalmente, se observa calcita como cemento en las capas de limolita y en diaclasas verticales.

Mineralógicamente, la Formación Carrizal se caracteriza por la presencia de granate, biotita, feldespatos, cuarzo, chert, muscovita y glauconita como minerales más comunes. El tope de esta formación es siempre erosional, estando cubierto por sedimentos Pre Cretácicos, por el Grupo Temblador o por la Formación Oficina. En la base suprayace a la Formación Hato Viejo, con la cual guarda estrecha relación. Asimismo esta unidad presenta argilitas negras a verdosas oscuras, densas y macizas, notablemente homogéneas a pesar de la presencia de intervalos limosos, con intercalaciones locales de areniscas y conglomerados de guijarros (González de Juana et al., 1980).

Grupo Temblador (Cretácico tardío Aptiense?-Maastrichtiense)

Hedberg y Funkhouser et al. (1947) reseñaron brevemente a la Formación Temblador, para designar las capas del Cretáceo presentes en el subsuelo al sur de los Estados Monagas y Anzoátegui. Este autor subdividió la unidad en un miembro inferior abigarrado y un miembro superior glauconítico, términos descriptivos convertidos luego en unidades formales. Por su parte González de Juana et al. (1980) señalan que este grupo fue definido

en el subsuelo del Campo Temblador, específicamente en el pozo Temblador nº 1, cuya sedimentación Cretácica conocida en el subsuelo de Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, descansa discordantemente sobre el flanco sur norte del Escudo de Guayana. Estos sedimentos difieren considerablemente de los conocidos en la Serranía del Interior, depositados en ambientes más abiertos y en general más marinos.

El Grupo Temblador en la parte sur de Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro se subdivide en dos formaciones, denominadas de más antigua a más joven, Canoa de ambiente continental y Tigre, de ambiente marino. PDVSA (2009) indica que el espesor de esta secuencia disminuye de norte a sur hasta desaparecer totalmente en las inmediaciones de una línea este oeste a la altura de la zona de Iguana. Esta disminución es debida a la erosión sufrida hacia el tope de la Formación Tigre y en parte por el acúñamiento contra la Formación Carrizal que presenta en la sección basal de la Formación Canoa.

Formación Canoa (pre – Turoniense)

González de Juana et al. (1980) apunta que la Formación Canoa, toma su nombre del pozo La Cano-2 perforado en el sur de Anzoátegui. Litológicamente se caracteriza por la presencia de algunos conglomerados de grano fino a areniscas conglomeráticas, areniscas y limolitas, generalmente moteadas con manchas grises verdoso, amarillo rojo y púrpura. Están presentes algunos intervalos blanquecinos, pulverulentos e intercalaciones de limolita gris azulada con restos de plantas. Hedberg y Funhouser (1947) describe a esta formación como conglomerados de grano fino y areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y arcilitas generalmente moteadas con manchas grises, gris verdoso, amarillas, marrón rojo, púrpura. Se encuentran también algunos intervalos de grano grueso, areniscas y limolitas blanquecinas, pulverulentas e intercalaciones de arcilita gris azulado, con restos de plantas. PDVSA (1983) indica que esta formación se caracteriza por la presencia de lutitas moteadas en colores abigarrados, intercaladas con areniscas cuarzosas generalmente arcillosas, representantes de ambiente continental. Cabe destacar que la definición de la Formación Canoa responde a criterios únicamente litológicos, habiéndose utilizado con la finalidad práctica de establecer una diferencia rápida entre las unidades del Grupo

Temblador; sin embargo, existen problemas para determinar el límite formacional Tigre/Canoa basándose en las relaciones crono – estratigráficas.

Formación Tigre (post – Cenomaniense)

Según PDVSA (2009) la Formación Tigre está constituida por una sección arenosa de grano medio a grueso, con intercalaciones de lutitas de color blanco a gris, debido a su alto contenido de caolinita. Las areniscas suelen ser cuarzosas y sin presencia de cemento, donde generalmente la matriz arcillosa, actúa como material aglutinante. Esta formación es considerada de ambiente marino en el resto de la cuenca por la presencia de areniscas glauconíticas, lutitas fosilíferas, calizas y restos fósiles. González de Juana, et al. (1980) señala que la Formación Tigre se caracteriza por la presencia de areniscas glauconíticas grises a gris verdosas de grano fino, areniscas gruesas friables, limolitas grises a grises verdosas y lutitas carbonosas y fosfáticas. Intercaladas en la sección existen capas blanquecinas y capas delgadas, duras y con frecuencia fosilíferas y glauconíticas, de caliza dolomítica y dolomía. Está compuesta por tres miembros, a saber: La Cruz, Infante y Guavinita.

- ***Miembro La Cruz:*** este es considerado el ambiente marino basal de la Formación Tigre. Se subdivide en dos intervalos: uno inferior; caracterizado por la presencia de areniscas lenticulares, caoliníticas, de grano grueso, con intercalaciones menores de lutita negra, carbonosa y fosilífera; y otro superior, el cual comienza con lutitas negras fosilíferas y continúa con areniscas de grano fino, calcáreas y glauconíticas. Es considerado como un miembro de carácter transgresivo, en contacto diacrónico transicional sobre sedimentos continentales de la Formación Canoa (Patterson y Wilson, 1953).
- ***Miembro Infante:*** Patterson y Wilson, (1953) indican que esta formación se constituye como una caliza densa, compacta y fosilífera, de color gris y localmente glauconítica. Hacia el sur y suroeste se va haciendo más arenosa hasta convertirse en areniscas que no se diferencian de los miembros supra e infrayacente.

- **Miembro Guavinita:** incluye todas las capas marinas de edad Cretácica por encima de la caliza (Patterson y Wilson, 1953). Se observa un intervalo basal lutítico de unos 15 m de espesor seguido por intercalaciones de areniscas, calizas delgadas y ftanitas negras, con restos de peces. La Formación Tigre que parece ser concordante sobre la Formación Canoa, se encuentra en relación discordante por debajo de las formaciones La Pascua o Merecure, según el área de estudio. A éste contacto superior corresponde un hiatus sedimentario de considerable duración.

Formación Merecure (Oligoceno – Mioceno temprano)

El nombre de la Formación Merecure fue introducido por Hedberg y Funkhouser, (1947) para designar una sección arenosa que aflora en la quebrada Merecure, afluente del río Querecual en el Norte de Anzoátegui, la cual descansa de forma discordante sobre las formaciones Tigre, Canoa, Carrizal o sobre el basamento según sea el caso en la zona de estudio. Seguidamente reconocieron una unidad fuertemente arenosa, en contraste con la Formación Oficina suprayacente. Por otro lado, González de Juana et al., (1980) señalan que la Formación Merecure, es equivalente lateral arenoso del Grupo Merecure definido en la Serranía del Interior. En el contacto de la Formación Merecure sobre el Grupo Temblador, no se observa discordancia angular aunque existe entre ellas un definido hiatus. El contacto superior con la Formación Oficina es concordante, a pesar del cambio de litología que existe en este nivel.

Formación Oficina (Mioceno inferior – medio)

La Formación Oficina se presenta en el subsuelo de todo el flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela de los Estados Anzoátegui y Monagas, la cual consiste de lutitas y arenas alternantes. Debido a la lenticularidad de las arenas individuales, los grupos de arenas persisten y son correlacionables sobre grandes distancias en base a su expresión en registros eléctricos (González de Juana et al., 1980).

La Formación Oficina identificada en el subsuelo de los campos de Oficina, es descrita por Hedberg y Wilson, (1947) como una alternancia predominantemente lutitas grises, gris oscuro y gris marrón, interlaminadas e interestratificadas con areniscas y limolitas de colores claros y grano fino a grueso. El ambiente de sedimentación es el de un inmenso complejo deltaico; no obstante Salvador (1964) indica que la unidad se caracteriza por la presencia de areniscas de grano fino a grueso interestratificadas con lutitas grises a negras, a veces arenosas y carbonosas; en su parte basal están presentes capas delgadas de carbón. Los lignitos constituyen un factor importante de la Formación Oficina.

El contacto inferior de la formación Oficina con la Formación Merecure se considera concordante, a pesar del cambio litológico en sentido ascendente; mientras que el contacto superior con la Formación Freitas, es concordante. Según PDVSA (2009) esta formación se caracteriza por presentar una sección inferior arenosa y una superior lutítica con abundantes capas de lignitos intercalados, que muestran frecuentemente bioturbación. La sección inferior está representada por abundantes paquetes de arenas masivas que varían de grano fino a grueso. Asimismo, estos intervalos arenosos se truncan hacia el sur contra el basamento ígneo – metamórfico. La Formación Oficina está caracterizada por intervalos arenosos que pertenecen a un ambiente de sedimentación retrogradante.

Formación Freitas (Mioceno medio)

Hedberg y Wilson, (1947) señalan que la Formación Freitas está constituida por arcillitas verdes a verdosas; asimismo, apuntan que ésta formación se puede dividir en tres intervalos con base en la presencia de areniscas cerca del tope y de la base de la formación contraste con la parte media de la unidad, como lutítica. En ese sentido el intervalo superior es de unos 100 m con areniscas delgadas arcillosas, de grano fino, ligeramente glauconíticas, de color blanco verdoso, con una notable continuidad lateral. El intervalo inferior, también de unos 100 m de espesor, además de las lutitas gris verdosas típicas incluye areniscas verde amarillentas de grano medio a grueso, glauconíticas, calcáreas o sideríticas y muy fosilíferas. En toda la formación se presentan concreciones calcáreo – ferruginosas amarillentas en la lutitas.

En casi todo su desarrollo la Formación Freites suprayace concordantemente a la Formación Oficina. Según información de PDVSA de la Faja Petrolífera del Orinoco (FPO, 1984) esta formación está representada por una secuencia monótona de lutitas de color verdoso de ambiente marino somero, mientras que hacia su base, suele presentar un intervalo rico en restos de conchas que en algunos casos permite delimitar el contacto Freites – Oficina.

Formación Las Piedras (Mioceno tardío – Plioceno)

La Formación Las Piedras consiste principalmente de sedimentos finos mal consolidados, que incluyen areniscas y limolitas más o menos carbonosas, lutitas arcillitas y lignitos, de colores gris claro a gris verdoso por su contenido de clorita y colores abigarrados; asimismo, Hedberg y Wilson, (1947) señalan que también se encuentran calizas arenosas duras de color verde. Asimismo describen la presencia de un conjunto mineralógico más complejo que el de la Formación Mesa, con abundante andalucita, biotita, clorita, cloritoide, cianita y corindón; igualmente, en proporciones menos abundantes se identificaron la presencia de granate, glaucofano, hornblenda, epidoto, estaurolita, silimanita, muscovita y titanita. Esta formación geomorfológicamente se caracteriza por constituir un terreno plano de suaves ondulaciones. En la mayor parte de la cuenca, la Formación Las Piedras es concordante por encima de las formaciones La Pica o Freites. En parte de su extensión, Las Piedras infrayace a la Formación Mesa con un contacto aparentemente concordante y transicional. La sedimentación de ésta formación es característicamente deltaica, transgresiva sobre La Pica y Freites infrayacentes en los bordes norte y sur de su área de sedimentación.

Formación Mesa (Cuaternario – Pleistoceno)

Hedberg y Pyre (1944) incluyen el nombre de Mesa para designar la formación que cubre las extensas mesas fisiográficamente características en la parte oriental de la cuenca de la Venezuela Oriental. Esta formación se extiende sobre los llanos orientales de los estados Guárico, Anzoátegui y Monagas. En los límites norte y sur de la Mesa de Guanipa,

González de Juana et al., (1980) señalan que el origen de la Formación Mesa se debe al avance de un complejo delta que recibía aportes laterales de abanicos aluviales con clastos gruesos del norte y arenas desde el sur con zonas pantanosas hacia el centro. En base a criterios geomorfológicos y pedo – estratigráficos Zink y Urriola, (1970) consideran a la Formación Mesa como un depósito torrencial de ambiente semi - árido, contemporáneo con un levantamiento de la Serranía del Interior a principios del Pleistoceno. PDVSA (2009) la describe como una secuencia constituida por un material homogéneo con alta saturación de agua y abundante arcilla, suprayacente de forma concordante a la Formación Las Piedras según PDVSA de la Faja Petrolífera del Orinoco (figura 5), la Formación Mesa y Las Piedras no se han podido diferenciar entre sí por lo complejo de su correlación interna, donde dichos intervalos de roca lo han manejado como una sola unidad sedimentaria. Dicha formación es representada por una litología bastante homogénea, principalmente de gruesos paquetes de arenas de grano grueso y gravas con cemento ferruginoso intercaladas con limolitas carbonosas y lutitas. En la figura 4 se muestra de manera esquemática la estratigrafía regional de la zona.

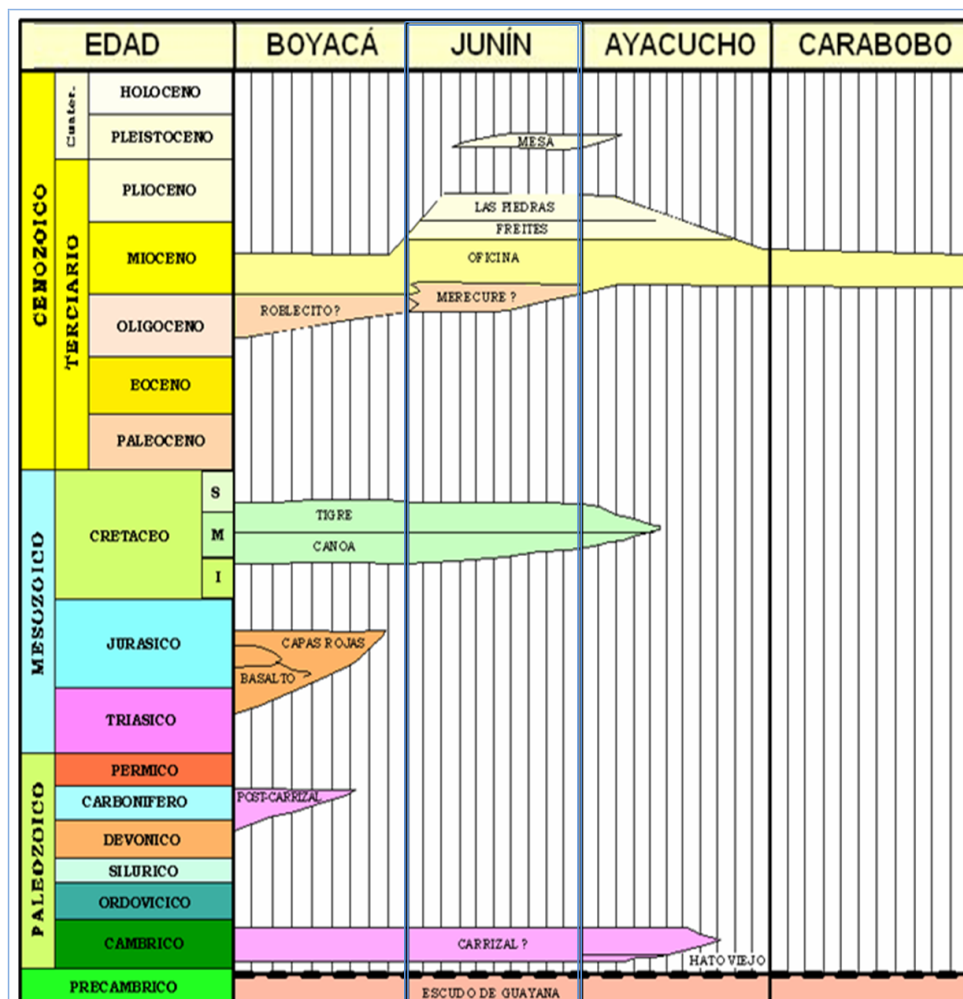


Figura 4. Estratigrafía regional del área de estudio. (Faja Petrolífera del Orinoco. PDVSA, 2009)

Depósitos Aluviales

Los depósitos aluviales resultan del conjunto de materiales transportados y sedimentados gracias a la acción exógena de las corrientes de agua, generalmente superficiales, en el caso de los materiales aluviales *sensu stricto*; aunque también se originan por la acción de los glaciares, el viento, el mar. En este caso, los depósitos aluviales o relacionados con los cursos de agua son los más importantes, en especial están conectados a los ríos que a su vez los han originado.

2.5. Geología regional estructural

González de Juana et al. (1980) señalan que la evolución de la Cuenca Oriental de Venezuela es poca compleja, por estar desde el Paleozoico apoyada sobre el borde del Cratón de Guayana. Con suaves movimientos de levantamientos y hundimientos, como resultado de la estabilización del Cratón, con transgresiones y regresiones, que fueron importantes para el desarrollo final de la cuenca.

Estructuralmente, la Cuenca Oriental de Venezuela se define como una depresión limitada hacia el sur por el borde septentrional del Cratón, al norte por el cinturón móvil de las Serranías del Interior Central y Oriental y al oeste por el levantamiento de El Baúl. La cuenca es asimétrica y elongada con un espesor de sedimentos del período Terciario de aproximadamente 8 km.

La Cuenca Oriental de Venezuela ha sido dividida en dos subcuencas; la subcuenca de Guárico y la subcuenca de Maturín, ambas con características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas bien diferenciadas, es precisamente la subcuenca de Guárico donde está ubicada el área objeto del presente de estudio (figura 4).

La evolución estructural de la parte noreste se inició en el Eoceno superior con el impulso orogénico que ocasionó el levantamiento de la Serranía del Interior Oriental, cuyas evidencias se encuentran en el Oligoceno medio del flanco norte. Durante el Mioceno la serie de levantamientos espasmódicos ocurridos están marcados por gruesos intervalos conglomeráticos. Asimismo, renovados empujes con una fuerte componente norte – sur, ocasionaron grandes líneas de sobrecorrimentos hacia el sur, como son los corrimientos de Pirital y Anaco. Mientras estos fenómenos afectaban el flanco norte de la cuenca, el flanco sur, apoyado sobre el borde cratónico, no sufrió deformaciones tectónicas de mayor importancia (PDVSA 2009).

La estructura del área mayor de Temblador, La Faja Petrolífera del Orinoco y el Área Mayor de Oficina, se caracterizan por la presencia de homoclinales suaves inclinados hacia el norte – noreste, cortados por alineamientos de fallas normales con rumbo entre este –

oeste franco y este – noreste, de las cuales buzan y presentan desplazamientos hacia el norte y otras hacia el sur (PDVSA 2009).

La zona de estudio desde el punto de vista estructural, es poco compleja en los niveles jóvenes como el Mioceno, Plioceno y Pleistoceno. Sin embargo, las evidencias estructurales de fallamiento intenso en las unidades más antiguas son importantes, pues presenta fallas de rumbo este – oeste y noroeste – sureste incluyendo al basamento y las unidades sedimentarias del Paleozoico y Cretácico. En la figura 5 se observa de manera esquemática las fallas más antiguas presentes en la Cuenca Oriental de Venezuela.



Figura 5. Ubicación de la Cuenca Oriental de Venezuela. (Bochkarev et al. 2007).

El sistema de fallas de Hato Viejo divide la faja en dos provincias estructurales; al oeste del sistema de fallas se encuentran las áreas de Boyacá y Junín, en la cual el Terciario descansa discordantemente sobre secuencias de sedimentos Cretácicos y Paleozoicos. La dirección predominante de las fallas en esta provincia occidental son este – oeste y noreste – suroeste. PDVSA (2009) señala que la geología estructural dentro del área de Junín mantiene el mismo sistema estructural que el resto de la Cuenca Oriental de Venezuela, específicamente en la parte sur (figura 6).

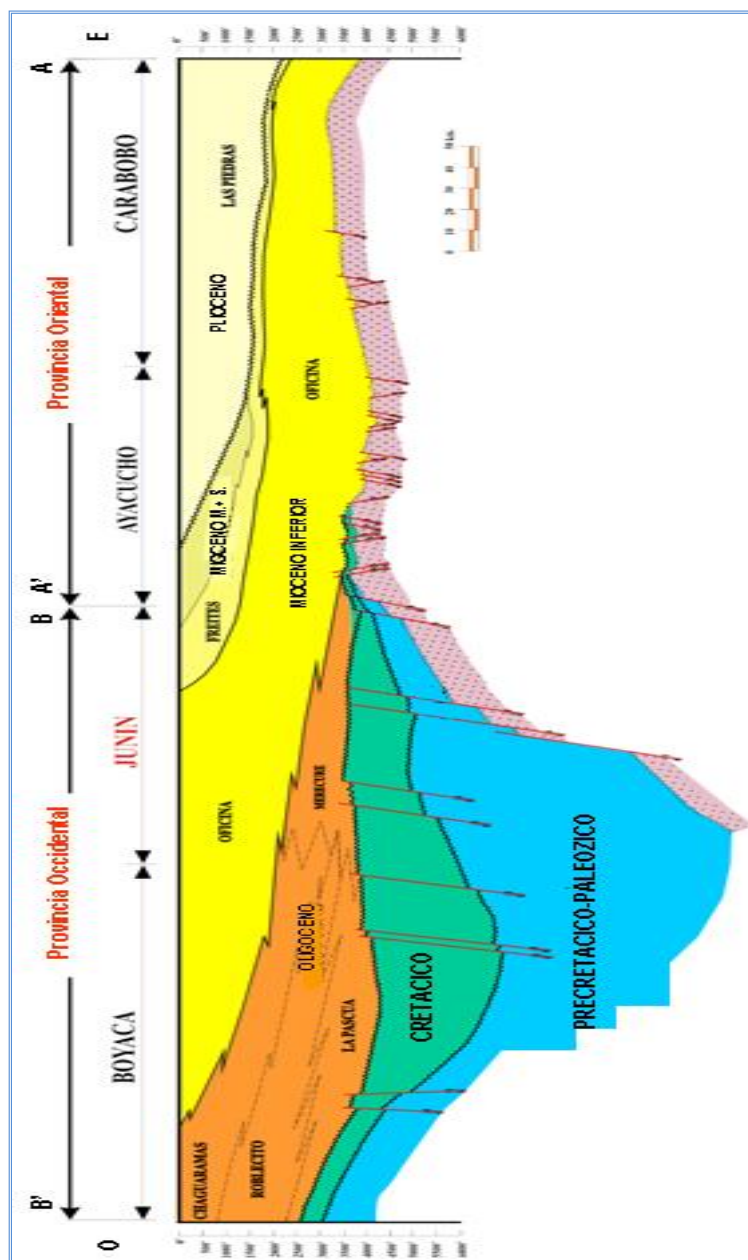


Figura 6. Sección esquemática estructural regional de la Faja Petrolífera del Orinoco (PDVSA, 2009).

2.6. GEOLOGIA LOCAL

2.6.1. Generalidades

Localmente, la zona de estudio se caracteriza por la presencia de las formaciones Mesa y Las Piedras, las cuales pueden ser apreciadas en la figura 7. Originalmente, las Mesas fueron depósitos modelados tanto en terrazas como en abanicos aluviales coalescentes y en menos grado incluso en forma de deltas y marismas, como lo demuestra la heterogeneidad de los sedimentos que las constituyen, variando desde bloques y cantos, pasando por arenas hasta arcillas. Dado que sus espesores aumentan hacia las cordilleras, se ha deducido que se trata de depósitos torrenciales de ambiente semi - árido de comienzos del Pleistoceno y contemporáneos con el levantamiento de la serranía del interior (González de Juana et al. 1980).

Formación Las Piedras (Mioceno Tardío – Plioceno)

PDVSA (2009) señala que el término Las Piedras, es empleado para denominar a un intervalo arenoso suprayacente a la Formación Freites, en aparente discordancia. Su litología está representada por una alternancia de areniscas y lutitas. Las areniscas constituyen excelentes acuíferos, siendo utilizadas como productoras de agua dulce para propósitos múltiples en diferentes lugares del área.

Formación Mesa (Cuaternario Pleistoceno)

La Formación Mesa es el resultado de una sedimentación fluvio – deltaica proveniente de un extenso delta que avanza hacia el este en la misma forma en que avanza hoy día el Delta del Orinoco. González de Juana et al. (1980) describieron a la Formación Mesa como una unidad constituida por arenas de grano grueso y gravas, con mucho cemento ferruginoso, presentando un alto grado de cementación y endurecimiento, permitiendo la generación de conglomerados muy duros de color rojo oscuro, casi negro; asimismo, están presentes arenas coloreadas en blanco amarillo, rojo y púrpura con estratificación cruzada, lentes

discontinuos de arcilla finamente arenosa y lentes de limonita. En la Mesa de Maturín, está formación tiene un espesor máximo de 275 m, mientras que en el estado Bolívar rara vez llega a los 20 m (Hedberg y Wilson, (1947). Las Mesas es el resultado de la acumulación de materiales transportados por ríos provenientes de áreas montañosas que les son vecinas por el norte, específicamente desde la Cordillera del Interior Central y Oriental. Esto se evidencia en los distintos tipos de sedimentos aluviales que constituyen el sustrato de estas mesas, el cual es variable desde cantos, pasando por arena y material limo – arcilloso (Vivas, 1984).

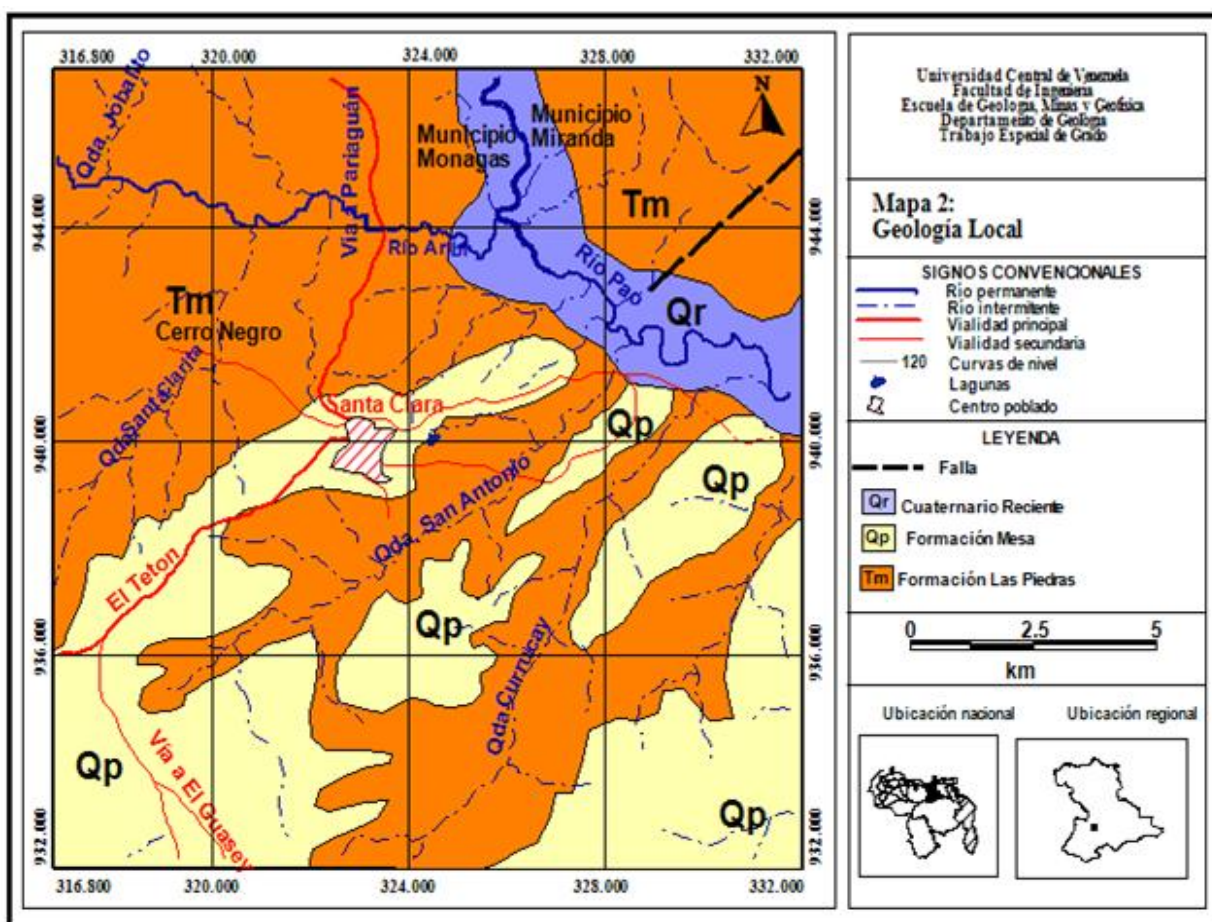
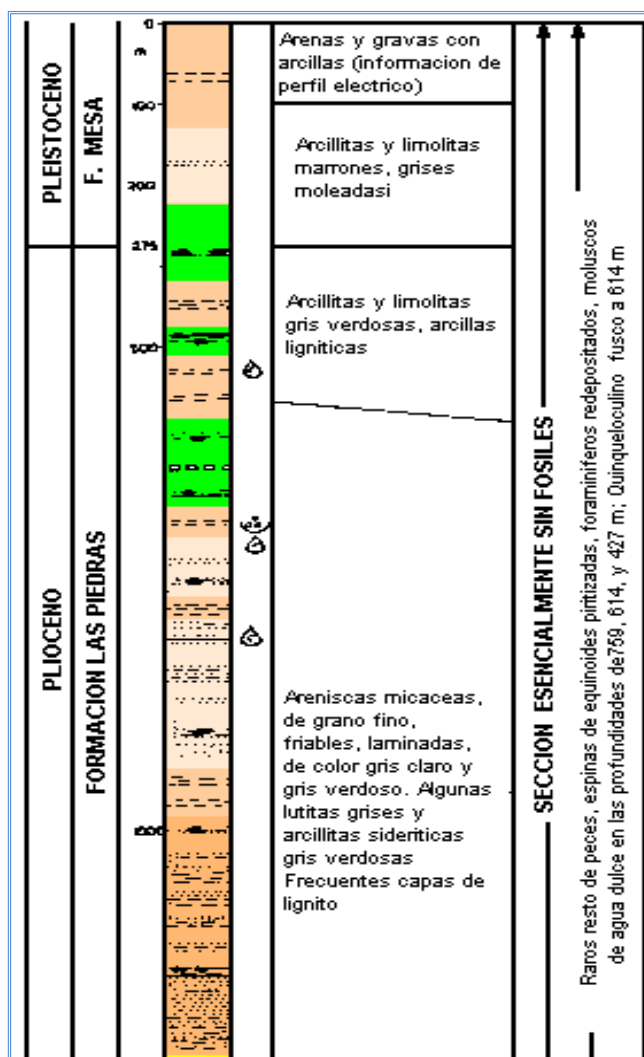


Figura 7. Mapa de la geología local del área de estudio (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1976).

El contacto entre las dos formaciones Mesa y Las Piedras (figura 8), indica localmente características aparentes de una secuencia continua y transicional de sedimentos entre ambas unidades. Los sedimentos más recientes del Terciario y Cuaternario apuntan hacia una tendencia de reducción de espesores desde el norte hacia el sur por lo cual en la parte sur, los espesores de la Formación Mesa son muy reducidos e insignificantes y aumentan de oeste a este por el avance del sistema deltaico (González de Juana et al., 1980). En cuanto al aprovechamiento de aguas subterráneas, las más importantes son las formaciones ya mencionadas, es decir Mesa (Cuaternario) y Las Piedras (Mioceno superior y Plioceno).

Figura 8. Columna Estratigráfica de las formaciones Mesa y Las Piedras (Mendoza, 2005).



2.6.2. Marco estructural local

La Cuenca Oriental de Venezuela es asimétrica, con el flanco sur buzando suavemente hacia el norte. El flanco norte muestra una tectónica más compleja y presenta mayores buzamientos conectados a un área plegada y fallada que representa el flanco meridional de las codilleras que limitan la cuenca hacia el norte. Al contrario de la parte sur que se presenta poco compleja (González de Juana et al. 1980). Dentro del marco estructural que domina a la Cuenca Oriental de Venezuela están el Anticlinal El Pao, falla Hato Viejo, falla Río Agua Clara, falla Río Aribi, falla Río Pao y falla Santa Clara.

Anticlinal El Pao: Está ubicado en el Estado Anzoátegui, Distrito Miranda, e involucra unidades de edades del Terciario. El cierre del pliegue es hacia el noreste y suroeste, presenta una extensión total de 37,1 km y una orientación promedio noreste. Se encuentra interrumpido por dos fallas, Río Pao y Río Agua Clara de dirección noroeste, e intersecta al río Pariaguán y a las quebradas Guasáuai, La Cochinera, San Antonio, Bucaral, El Caño y otros drenajes menores (Mosquera y Parravano, 2005).

Falla Hato Viejo: Se encuentra ubicada en el Estado Anzoátegui, Distrito Monagas e involucra unidades de edades del Terciario y Cuaternario. Presenta una extensión total de 31,5 km y una orientación promedio noreste; el tipo de falla es normal. Aflora en las formaciones Freites, Las Piedras y Mesa. Intersecta los ríos Quebradón, Don Diego y Cabrutica y a las quebradas San Antonio, Obispo y Margarita (Mosquera y Parravano, 2005).

Falla Río Agua Clara: Esta falla de tipo normal está ubicada en el Estado Anzoátegui, Distrito Miranda e involucra unidades de edades del Terciario. Presenta una extensión total de 2.7 km y una orientación promedio noreste. Aflora en las formaciones Las Piedras del Terciario, e intersecta al río Agua Clara y se encuentra interrumpida por el anticlinal El Pao de dirección Noreste (Mosquera y Parravano, 2005).

Falla Rio Aribi: Se encuentra ubicada en el Estado Anzoátegui, Distrito Monagas e involucra unidades de edades del Terciario y Cuaternario. Presenta una extensión total de 13.2 km y una orientación promedio noreste, el tipo de falla es normal. Aflora en las formaciones Las Piedras del Terciario y Mesa del Cuaternario (Mosquera y Parravano, 2005).

Falla Rio Pao: Esta falla está ubicada en el Estado Anzoátegui, Distrito Miranda e involucra unidades de edades del Terciario. Presenta una extensión total de 13,3 km y una orientación promedio noreste, cuyo tipo de falla es normal. Aflora en la Formación Las Piedras del Terciario. Intersecta al río Pao y a los anticlinales Algarrobo y Pao (Mosquera y Parravano, 2005).

Falla Santa Clara: Se encuentra ubicada en el Estado Anzoátegui, Distrito Monagas e involucra unidades de edades del Terciario y Cuaternario. Presenta una extensión total de 3 km y una orientación promedio norte-sur, con un tipo de falla normal. Aflora en la Formación Las Piedras del Terciario y la Formación Mesa del Cuaternario. Está en contacto perpendicular con el anticlinal Santa Clara (Mosquera y Parravano, 2005).

CAPITULO III

3. GEOGRAFÍA FÍSICA

3.1. Generalidades

La población de Santa Clara está ubicada al suroeste de Mesa de Guanipa, presentando elevaciones aproximadas de 200 msnm, y está conformada principalmente por tres comunidades y sus respectivas juntas comunales llamadas: El centro, El Bolivariano e Indígenas. Geográficamente, está localizada en los llanos orientales, caracterizada por la presencia de altiplanicie, de suelos arenosos, ácidos, altamente erosionables, típicos de la Formación Mesa, separadas entre sí por farallones, con un relieve disectado, suavemente ondulado o prácticamente plano (González de Juana et al., 1980).

3.2. Fisiografía

La zona de estudio pertenece a los llanos orientales, la cual presenta formas de relieve llamadas “Mesas”, que constan de extensas planicies limitadas por vertientes bien nítidas con elevaciones que oscilan entre los 100 m y 200 m de altitud cuya característica morfológica es atribuida al carácter litológico de la Formación Mesa, cubriendo casi toda la zona. Las características fisiográficas importantes de estas Mesas son los escarpados que las circundan, que alcanzan diferencias de elevación de más de 20 m y formas ramificadas muy complejas, constituyéndose en los límites entre Mesa y el cauce mayor de los ríos y morichales que representan los principales elementos del drenaje. Los ríos que drenan las mesas se encajan hasta una profundidad de 30 m formando farallones. (Mosquera y Parravano, 2005).

3.2.1. Clima

El clima de la región es característico de sabanas tropicales, con dos estaciones, una seca que va de enero a abril, y otra lluviosa que va de mayo a principios de diciembre. Las mayores precipitaciones ocurren durante el mes de Agosto (Hidrocaribe, 2010).

3.2.2. Vegetación

La vegetación está caracterizada por ser de sabana, donde predominan los pastos y chaparrales, aunque están presentes los morichales. Sus características fisonómicas permiten diferenciarlos en sabana sin componente leñoso y sabanas con elemento leñoso de carácter pirófilo y altura variable de 1 a 8 m, ocasionalmente mayores de 10 m (sabanas arboladas). En algunos casos conforman verdaderos arbustales (chaparrales) (Hidrocaribe, 2009).

3.2.3. Drenajes

El drenaje en la zona está caracterizado por poseer un patrón dendrítico, conformado por largos cursos paralelos, cuasi - rectilíneos. Los cursos de aguas que drenan circundante a la zona de estudio, forman parte de la cuenca del río Pao con un área de 2.430 km², el cual tiene como afluentes los ríos El Atapirire, Hamaca, Algarrobo, Agua Clara, Aribí, Castillito y Pariaguán, por el cual desemboca finalmente en el río Orinoco. El afluente más cercano a la población de Santa Clara es el río Aribí. También se identifican otras quebradas cercanas a la zona, entre ellas: Quebrada San Antonio, Quebrada Currucay y la Quebrada Santa Clarita (figura 2). Asimismo, se localizan los morichales llamados Coporo y Mapirito, siendo estos los principales fuentes de abastecimiento de la población de Santa Clara. Dichos morichales presentan cursos permanentes de agua que la reciben generalmente a través de un proceso de infiltración profunda de gran parte del agua aportada por la lluvia anual, a través de los materiales porosos de la Formación Mesa. Normalmente en períodos secos los ríos de los morichales presentan una menor descarga (Hidrocaribe, 2009).

3.2.4. Geomorfología local

Desde el punto de vista geomorfológico, la zona de estudio se caracteriza por la presencia de mesas extensas y planas que cubren aproximadamente menos de la tercera parte del área del Estado Anzoátegui. El origen de éstas Mesas proviene de la erosión retrograda de la llanuras piemontinas, formadas encima del relleno de la cuenca sedimentaria de Oriente,

durante el periodo erosional y sedimentario del Pleistoceno. Los farallones constituyen el límite entre la mesa y el cauce mayor de los ríos divagantes y de los morichales que son los principales elementos del drenaje. Se caracteriza por un relieve disectado, suavemente ondulado o prácticamente plano (González de Juana et al., 1980).

3.3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

3.3.1. Provincias hidrogeológicas

Las provincias hidrogeológicas se definen como una región de características similares en cuanto a las condiciones de ocurrencia de las aguas subterráneas, condicionadas por la conformación geológica y las características fisiográficas. Este criterio de regionalización fue establecido por el Proyecto de Desarrollo para las Naciones Unidas (Unesco, 1996) en la elaboración del mapa hidrogeológico de América del Sur, actualmente en vigencia y en el que participaron y adoptaron los hidrogeólogos en Venezuela, para su división en regiones hidrogeológicas.

Actualmente en Venezuela se distinguen cuatro provincias hidrogeológicas, a saber: Andino-Vertiente Atlántica y del Caribe, Planicies costeras, los Llanos y Escudo septentrional o de Guayana

Andino –Vertiente Atlántica y del Caribe: esta provincia comprende íntegramente la provincia fisiográfica de las cordilleras Venezolanas, incluyendo la provincia fisiográfica de las Precordilleras y el Piedemonte.

Planicies costeras: incluye las planicies de la cuenca del Lago de Maracaibo y la provincia del sistema deltáico oriental. A su vez, se divide en dos sub-provincias: planicie del Mar Caribe, planicie del océano atlántico, compuesta por la cuenca Delta del Orinoco, la cuenca del Pilar - Güiria y la cuenca del río San Juan.

De los Llanos: representada por la provincia fisiográfica de los Llanos, incluido el Macizo de El Baúl. Esta es una de las provincias menos complejas en cuanto a sus características fisiográficas y su constitución geológica. La zona de estudio pertenece a ésta provincia.

Escudo septentrional o de Guayana: comprende la provincia fisiográfica de Guayana. Por encontrarse sobre un basamento tectónicamente estable y con características fisiográficas poco complejas.

En la figura 9 son mostradas las distintas Provincias Hidrogeológicas que constituyen a Venezuela, según la Unesco (1996). Igualmente, resalta la zona de estudio dentro de la Provincia Hidrogeológica de Los Llanos.

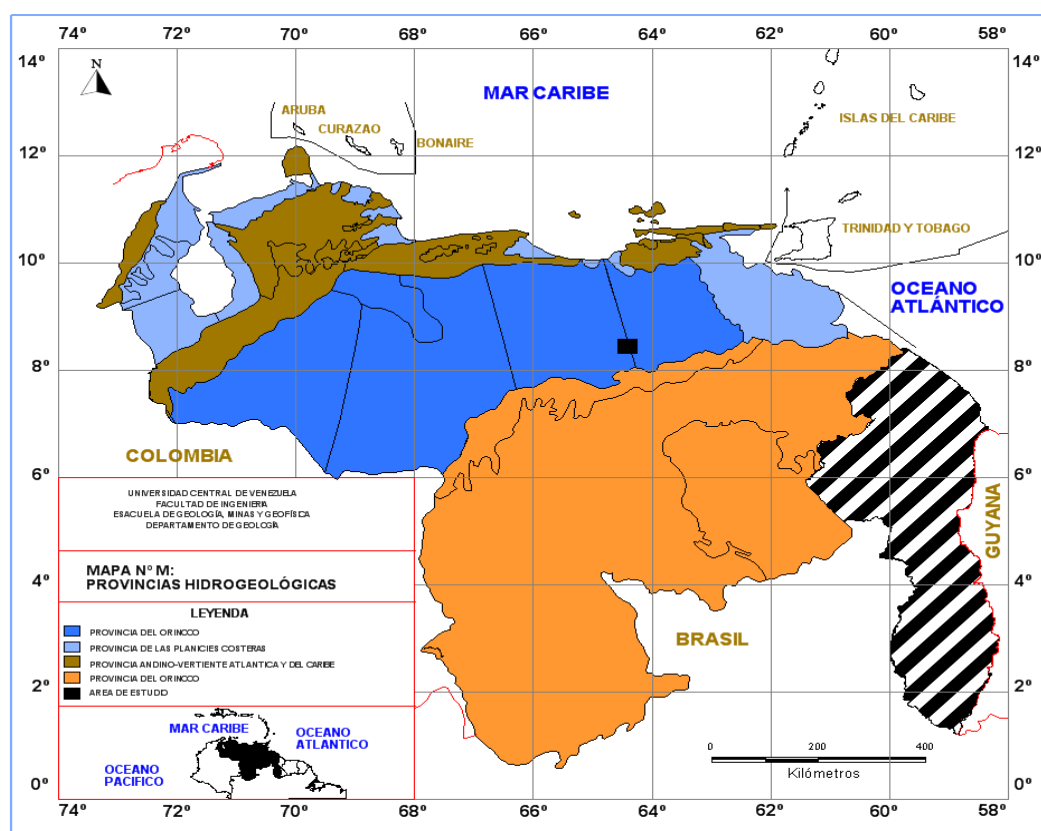


Figura 9. Mapa donde se muestran las cuatro Provincias Hidrogeológicas y la ubicación de la zona de estudio (Unesco, 1996).

3.4. Obras de captaciones

Son aquellas obras construidas para la extracción de un volumen controlado de agua de una formación acuífera definida, con el fin de satisfacer una demanda determinada. Estas obras de captación pueden ser pozos, aljibes, galerías filtrantes, o también pueden ser aprovechados los manantiales como surgencias naturales de agua (Figuera 2005).

Los pozos, son las estructuras perforadas por acción y fuerza mecánica, con un diámetro promedio de 30 a 40 cm. Estas estructuras perforadas obedecen generalmente a la profundidad en la que se encuentra el tope de roca impermeable, por el orden superior a los 35 m de profundidad y dependiendo de la profundidad del nivel freático. Otra condición pueden ser las estructuras litológicas que componen el material acuífero, un ejemplo de ello son los intervalos de areniscas y lutitas intercaladas que complican la perforación a mano.

Los aljibes, son los pozos excavados por acción y fuerza humana. Su diámetro promedio está por el orden del 1,5 m y su profundidad máxima generalmente llega a 30 m. Su construcción se realiza en materiales acuíferos poco o no consolidados y con niveles freáticos poco profundos.

Las galerías filtrantes o galería de captación es una galería subterránea construida para captar un acuífero. A diferencia de los pozos que se construyen con la misma finalidad, la galería filtrante es aproximadamente horizontal, en algunos casos, puede terminar en una cámara de captación donde generalmente se instalan las bombas hidráulicas para extraer el agua acumulada. En otros casos, la galería puede tener una finalidad mixta de captación y conducción prolongándose directamente hasta el lugar donde se va a aprovechar el agua.

Otra forma de obtener agua del suelo es a través de los manantiales, éstos son las surgencias naturales donde el agua subterránea alcanza la superficie del suelo, en la cual no es necesario realizar ningún tipo de excavación.

3.5. Determinación de la recarga

Para determinar la recarga se utilizarán los cálculos del balance hídrico de Thonrthwaite (1948), cuya aproximación a la realidad se considera aceptable. Para el cálculo del balance hídrico se requiere de lo siguiente:

La superficie de la zona de estudio es de 52,6 km² aproximadamente, lo que representa el área adyacente inmediata con un radio de 3,5 km del centro poblado de Santa Clara. Tomando en cuenta que la finalidad de la evaluación hidrogeológica es la dotación de agua para el consumo humano, se consideró la superficie de la poligonal urbana y sus inmediaciones inmediatas. La disponibilidad de agua subterránea está representada por la infiltración de agua al suelo procedente de la precipitación y los cursos de aguas permanentes presentes en zonas aledañas al área de estudio.

3.6. CARACTERISTICAS SOCIO – ECONÓMICAS

3.6.1. Aspecto económico

La principal actividad de la población de Santa Clara consiste en la ganadería, la agricultura y la avicultura.

3.6.2. Aspecto del desarrollo urbano

Santa Clara está constituida principalmente por tres comunidades y sus respectivas juntas comunales llamadas: El centro, El Bolivariano e Indígenas, las cuales presentan viviendas de tipo rural construidas por los mismos habitantes. Existen dos instituciones educativas ubicadas en el sector El centro y en El Bolivariano. El comercio que presenta la zona es de de víveres en pequeña escala.

3.6.3. Servicios básicos

Los servicios básicos disponibles a la población son el acueducto, la vialidad, asfaltada en algunos sectores, mientras que otras áreas se encuentran no pavimentados, la electricidad, el transporte y gas, todas éstas con funcionamiento irregular. No cuentan con servicios de drenajes y cloacas, según información suministrada por los mismos habitantes de la localidad.

3.6.4. Abastecimiento de agua

La fuente de abastecimiento de la población de Santa Clara, como se señaló previamente, principalmente proviene de captaciones superficiales ubicadas en los Morichales de Mapirito y Coporo respectivamente, también cuenta con una fuente alterna constituida por tres (03) pozos ubicados en el pueblo. El Morichal Coporo se recarga del bombeo proveniente desde el Morichal Mapirito a través de un impulsor de diámetro 4" en PVC. La principal fuente de abastecimiento de la población de Santa Clara es el morichal Mapirito, el cual consiste de una estructura de toma lateral que va hacia un desarenador sobre una cota de 145,14 m.n.s.m. en la entrada y que surte del agua cruda a través de una estación de bombeo al dique toma Coporo que está situado a unos 160,02 m.n.s.m. Luego, el agua es bombeada desde la estación de bombeo Coporo al estanque de almacenamiento ubicado en el sector Bolivariano, a una de cota de 198,66 m.n.s.m., para luego distribuirla al pueblo. El sistema existente es incapaz de mantener una producción de agua sostenida durante todo el día, por tanto no presta un servicio de agua potable satisfactorio a la comunidad (Hidrocaribe, 2009).

3.6.5. Consumo de agua

La información obtenida para el suministro de agua es importante para el diseño de los pozos. Las estimaciones de consumos de agua asignan cifras para las dotaciones de agua tomando en cuenta a la zona y las características de la población, expresándose el lps. Para determinar estos consumos per cápita se realizaron investigaciones sobre mediciones de

consumos de agua en comunidades con determinadas características, con el fin de realizar aproximaciones que posteriormente serán utilizadas para el diseño de abastecimiento de agua en las comunidades.

3.3.6. Proyección de población

De acuerdo al censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), (2001), el crecimiento de la población de Santa Clara se presenta en la tabla 1, donde se observa la proyección aritmética con una tasa de crecimiento de un 2,10%.

Tabla 1. Crecimiento de la población de Santa Clara. Datos del INE

Año	2.001	2.002	2.003	2.004	2.005	2.006	2.007	2.008	2.009	2.010	2.011	2.012
INE	2.042	2.088	2.131	2.174	2.216	2.258	2.299	2.340	2.381	2.422	2.462	2.502
Año	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	2.023	2.024
INE	2.543	2.582	2.622	2.661	2.699	2.737	2.774	2.811	2.846	2.882	2.916	2.951
Año	2.025	2.026	2.027	2.028	2.029	2.030						
INE	2.984	3.016	3.048	3.079	3.109	3.138						

La población de Santa Clara no presenta un plan urbanístico que permita conocer los posibles desarrollos que pudiera presentar la población en un futuro. Por esto, sólo se considera como importante el crecimiento poblacional sin considerar requerimientos industriales.

El cálculo de consumo de agua se define como el promedio aritmético de los consumos día a día de un determinado periodo y se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 1

$$Q = \frac{\text{población} \times \text{dotación}}{86.400}$$

Donde: Q: consumo en lps
Dotación: litros/personas/día
Población: número de habitantes

3.7. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

3.7.1. Características generales del agua.

El agua cubre el 75% de la superficie de la corteza terrestre, localizada principalmente en los océanos, donde se concentra el 95% del agua total. Su gravedad específica es: 1. Calor específico: 1. A presión atmosférica normal hierve a 100° C y se congela a 0° C. Alcanza su densidad máxima a los 4° C (un gramo por cm³), en las propiedades del agua se han basado múltiples medidas físicas, como la graduación del termómetro, el peso específico, el calor específico, entre otros.

Tratándose del agua destinada al abastecimiento humano, cuando ésta no es tratada se llama *agua natural* y el agua tratada se le llama *agua depurada*, también el agua potable no debe tener sabor ni olor extraños. No obstante, conviene que el agua contenga cierta cantidad de sal, ya que en caso contrario, resulta insípida. Debe ser inodora, tanto en fría como caliente desprende leve alcalinización, debe poseer un sabor agradable que le confieren las sales y gases disueltos en ella (Figuera, 2005).

3.7.2. Características físico-químicas del agua subterránea

El proceso de infiltración a través del suelo es muy importante para la composición química del agua subterránea. Con frecuencia gran parte de su componente geoquímico es adquirido por ella en los primeros metros de su recorrido, aunque después su recorrido se extienda por varios kilómetros. Esto se debe principalmente a que el agua en el suelo tiende a ser ácida por la reacción con el CO₂, una cantidad importante de este gas está contenido en los poros del suelo (Figuera, 2005).

La evolución físico-química depende de los minerales con los que entre en contacto y el tiempo del mismo contacto. Como regla general, a mayor tiempo de permanencia del agua

en el suelo mayor será su salinidad; sin embargo esto es relativo, por ejemplo, más salina será un agua que esté en contacto por horas con cloruro sódico que otra que esté muchos años en contacto con cuarzo y en casos particulares sustancias disueltas en ella tienden a disminuir más que aumentar.

Tanto la concentración mineral como de materia orgánica, en el agua subterránea, varía de manera natural de acuerdo con las características del suelo donde se infiltra o circula. Por otro lado, un mecanismo importante que altera las condiciones físico-químicas del agua en el subsuelo es la adición de material contaminante, biótico o abiótico, como consecuencia de las actividades humanas que incluye la sobre explotación de las capas acuíferas, así como las actividades agrícolas, industriales y mineras, los rellenos sanitarios o vertederos, los pozos sépticos o cuerpos de aguas que han sido contaminados por alguno de los anteriores (Figuera, 2005).

Más allá del proceso que intervino en la evolución físico- química del agua subterránea, su contenido mineral o de material orgánico, debe ser determinado con la mayor precisión mediante análisis de campo y laboratorio para poder recomendar sobre su uso más adecuado. Con el tiempo, mediante los estudios sobre la calidad del agua y sus efectos, se han ido estableciendo los valores de concentración de estos componentes disueltos o en suspensión en el agua, cuyo exceso restringe su aprovechamiento. Para el caso de nuestro país estos límites están establecidos en el Decreto N° 883, (Gaceta oficial n° 5021, 1995) en “Normas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos”.

Citando el Decreto 883, en el artículo 3°, son clasificadas las aguas de la siguiente manera:

- **Aguas tipo 1:** Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o un subproducto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él. Y a su vez se subdividen:
 - **Subtipo 1A:** Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionados con la sola adición de desinfectantes

- **Subtipo 1B:** Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
- **Subtipo 1C:** Aguas que pueden ser acondicionadas por procesos de potabilización no convencional.

CAPITULO IV

4. MARCO TEÓRICO

Seguidamente son desarrollados una serie de términos y conceptos que serán de utilidad en el sustento del presente Trabajo Especial de Grado. Es importante señalar que las fuentes de abastecimiento de agua constituyen la parte más importante de un acueducto y ésta debe seleccionarse de manera que sea capaz de abastecer una determinada población por tanto, previo a cualquier paso debe definirse su tipo, cantidad, calidad y ubicación. De acuerdo a la forma de aprovechamiento, son considerados dos tipos principales: aguas superficiales y aguas subterráneas.

4.1. Aguas superficiales

Son aguas continentales que se encuentran en la superficie de la tierra, constituidas por ríos, quebradas, y lagos, entre otros. Generalmente proceden directamente de las precipitaciones que caen de las nubes (Arocha, 2002).

4.2. Agua subterránea

Son aguas contenidas en los espacios vacíos o intersticios de los suelos y rocas de la corteza terrestre. Esta agua fluye a la superficie de forma natural a través de cauces fluviales, manantiales o bien directamente al mar. Se renueva constantemente por la naturaleza, ya que ellas constituyen una parte del ciclo hidrológico, de modo que para lograr su aprovechamiento, es necesario conocer su movimiento en el subsuelo y la magnitud de las cantidades aprovechables. Desde el punto de vista de las aguas contenidas en el subsuelo, se pueden diferenciar dos estratos: uno que se identifica como zona de aireación, la cual contiene humedad, agua gravitacional y agua capilar; y otra zona llamada zona de saturación, en la cual ubicamos las denominadas aguas subterráneas, una parte de las cuales conforma el volumen aprovechable por el hombre.

En la zona de saturación, los intersticios o poros pueden ser:

- a. *Primarios u originales*: los cuales se formaron en el mismo momento de formación de la roca, entre ellos se destacan los poros asociados a las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas.
- b. *Secundarios*: se trata de los intersticios o poros desarrollados por procesos que afectaron las rocas después de formadas, entre ellos las fracturas, aberturas por disolución y erosión (Arocha, 2002).

En este trabajo, solo se tomará en cuenta el aprovechamiento de las aguas contenidas en los intersticios originales desarrollados en secuencias sedimentarias.

4.2.1. Origen del agua subterránea

El ciclo hidrológico consiste en la continua circulación de humedad y de agua sobre nuestro planeta. Este concepto se puede describir a partir del agua de los océanos, los cuales cubren las tres cuartas partes de la superficie terrestre. La radiación solar lleva el agua de los océanos hasta la atmosfera por evaporación, el vapor de agua se eleva y luego se aglomera dando lugar a la formación de nubes. Bajo ciertas condiciones, la humedad contenida en las nubes se condensa y se precipita a tierra en forma de lluvia, granizo o nieve, elementos que constituyen las variadas formas de precipitación. Parte de la precipitación, una vez que ésta ha humedecido el follaje y el terreno, escurre sobre la superficie se concentra gradualmente hasta llegar a constituir los ríos. Otra parte se infiltra dentro del suelo. Una buena parte del agua que penetra dentro del suelo, se detiene en la zona radicular de las plantas y eventualmente es devuelta a la superficie por estas mismas, a través del proceso de evapotranspiración. Sin embargo, otra parte percola por debajo de la zona radicular y mediante la influencia de la gravedad, continúa su movimiento descendente hasta que llega al depósito subterráneo, el agua que ha percolado se desplaza a través de los poros de los materiales subterráneos. Las fuerzas involucradas en este proceso comprenden radiación, fuerza gravitacional, atracción molecular y capilaridad. Una partícula de agua necesita, para pasar a través de una o de varias fases del ciclo hidrológico, un tiempo que va desde unas pocas horas hasta algunos meses y en ocasiones siglos. La figura 10 muestra de manera esquemática el ciclo hidrológico y sus diversos componentes.



Figura 10. Ciclo hidrológico del agua. (Modificado de López et al., 2009)

4.2.2. Procesos que originan los acuíferos

Los procesos geológicos crean rocas y acuíferos, pero a su vez otros procesos posteriores los pueden destruir. Nuevas rocas se forman y se extienden sobre las anteriores en una sucesión de capas. Una vez que cualquier roca sedimentaria, ígnea o metamórfica queda constituida, los continuos eventos geológicos la alteran de varias maneras, lo que eventualmente mejora o daña sus propiedades acuíferas. Las rocas que forman la corteza terrestre se han venido acumulando desde tiempos inmemoriales. El agua subterránea tiene lugar en rocas de todas las edades, desde la más antigua denominada Precámbrica hasta la más joven que se clasifica dentro de la época Reciente, donde en términos generales, estos últimos constituyen mejores acuíferos que la correspondiente a los materiales antiguos. La razón consiste en que las rocas antiguas son más susceptibles de estar sepultadas, comprimidas y cementadas, procesos que han reducido su porosidad y permeabilidad (Johnson, 1975).

4.2.3. Función de un acuífero

Un acuífero realiza dos funciones importantes, a saber: almacenadora y transmisora. Éste almacena agua, sirviendo no solo como depósito sino que permite conducir agua como lo hace un conducto. Las aberturas o poros de una formación acuífera sirven tanto de espacio para almacenamiento como de red de conductos. El agua subterránea se mueve constantemente a través de distancias extensas y desde las áreas de recarga hacia las de descarga. El desplazamiento es muy lento, con velocidades que se miden en metro por día y a veces en metros por año (Johnson, 1975).

4.2.4. Acuíferos

Son formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de almacenar y permitir su movimiento a través de sus poros, cumpliendo dos funciones importantes: almacenar el agua y conducirla (Custodio y Llamas, 2009).

4.2.5. Acuitardos

Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella con dificultad; con frecuencia suelen denominarse formaciones semipermeables constituidos en general por materiales tipo limos, arenas limosas y arenas arcillosas, entre otras, y su capacidad de drenaje es de media a baja (Custodio y Llamas, 2009).

4.2.6. Acuicludos

Formación geológica que contiene agua en grandes cantidades, pero no tienen la posibilidad de transmitirla, asimismo drenan con mucha dificultad. El agua se encuentra encerrada en los poros de las formaciones y no puede ser liberada, tal es el caso de unidades constituidas por arcillas, arcillas plásticas, limos arcillosos, entre otras (Custodio y Llamas, 2009).

4.2.7. Acuífugos

Son formaciones incapaces de almacenar y transmitir el agua; están representados por rocas compactas, como granito y gneises, y a veces incluso calizas compactas sin carstificar. Son impermeables salvo que existan fracturas que pueden permitir flujos (Custodio y Llamas, 2009)

Los acuíferos se pueden clasificar en función de la presión hidrostática del agua contenida en ellos, como libre, confinado y semiconfinado (figura 11):

4.2.8. Tipos de acuíferos

Acuífero Libre

Los acuíferos libres son aquellos en los que el límite superior de la masa de agua forma una superficie real que está en contacto con el aire de la zona no saturada y por lo tanto, a presión atmosférica (figura 12). Cuando se perfora un pozo desde la superficie del terreno, el agua aparece en el pozo cuando se corta o alcanza el nivel freático, y se mantiene a esa profundidad. La recarga de este tipo de acuíferos se realiza principalmente por infiltración de la precipitación a través del suelo, o por infiltración de agua de ríos o lagos. (López et al., 2009).

Acuífero confinado

Los acuíferos confinados son aquellos donde existe un límite superior o techo, por lo que el agua está sometida a una presión superior a la atmosférica. Se comportan así los materiales permeables que están cubiertos por una capa confinante mucho menos permeable, tal es el caso de una capa arenosa bajo otra arcillosa (figura 12). Durante la perforación de los pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo de los mismos se observa un ascenso rápido del nivel del agua hasta estabilizarse en una determinada posición. El pozo será surgente cuando el nivel piezométrico esté situado a cota superior a la boca del pozo (López et al., 2009).

▪ Acuífero semi-confinado

El acuífero semi-confinado se encuentra completamente saturado de agua y están limitados ya sea por su base o por el techo, o por ambos, por una capa o formación semipermeable conocida como acuitardo (figura 12). Esta situación permite que exista un flujo entre acuíferos que se encuentren separados por un acuitardo, flujo que puede efectuarse en dirección de la diferencia de niveles piezométricos existentes entre los mismos (Vélez, 1999).



Figura 11. Tipos de acuíferos en función de la presión hidrostática del agua contenida en ellos (López et al., 2009).

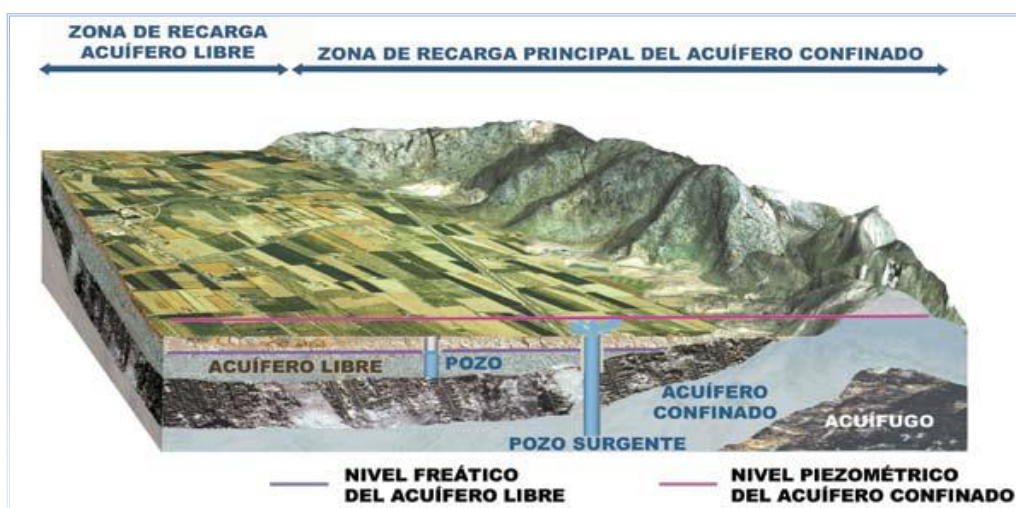


Figura 12. Tipos de acuíferos según su comportamiento (López et al. 2009)

4.2.9. Características de los acuíferos

La propiedad de los acuíferos de contener y conducir agua depende de varios factores, a saber: porosidad, permeabilidad, transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento. Estas características permiten realizar evaluaciones de la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro de agotarlo (Arocha, 2002).

4.2.10. Parámetros que definen la dinámica del agua subterránea

La ley de Darcy enuncia que el caudal de flujo de un fluido a través de un medio poroso, es directamente proporcional a la caída de potencial, e inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria recorrida por el flujo y directamente proporcional al coeficiente K.

El flujo de aguas subterráneas, para una diferencia de altura Δh se desplaza un caudal Q desde niveles de energía más altos a los niveles de energía más bajos, por diferencia de presión. Durante su desplazamiento experimenta una pérdida de energía por el rozamiento con las superficies a través de medios porosos por los que circula. Esta pérdida de energía por unidad de longitud de la distancia recorrida se denomina como gradiente hidráulico (S) y es proporcional a la velocidad (V) del agua subterránea. De esta manera, matemáticamente responde a la siguiente expresión:

Ecuación 2

$$Caudal = velocidad \times sección = constante \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot S$$

Que se escribirá de la siguiente forma, llamando K a la constante de proporcionalidad:

Ecuación 3

$$Q = v \times S = k \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot S$$

Debido que el producto $k \cdot \frac{\Delta h}{L}$ tiene dimensiones de velocidad, esta expresión se define como la velocidad de Darcy:

Ecuación 4

$$v = k \cdot \frac{\Delta h}{L}$$

Expresado en términos matemáticos la proporcionalidad entre el gradiente hidráulico y la velocidad permite obtener una ley que define el movimiento del agua en el subsuelo que se denomina Ley de Darcy. Para el movimiento, la relación de proporcionalidad del gradiente hidráulico y la velocidad se multiplica por una constante que señala la mayor o menor facilidad con que un medio permite que un fluido pase a través de él, conocida como conductividad hidráulica (K), la cual depende del tipo de material. La conductividad hidráulica representa la mayor o menor facilidad con que el medio deja pasar el agua a través de él por cada unidad de área transversal en la dirección del flujo (Custodio y Llamas, 2009).

4.2.11. Porosidad

La porosidad consiste de aberturas o poros; es decir, la proporción de su volumen no ocupado por material sólido. La porosidad es un parametro que indica cuánta agua puede ser almacenada en el material saturado. Generalmente se expresa como un porcentaje del volumen bruto del material. Aunque la porosidad representa la cantidad de agua que un acuífero puede almacenar, no obstante no indica cuánta ella puede ceder (Jhonson, 1975).

Cuando un material saturado drena agua mediante la fuerza de gravedad, únicamente cede una parte del volumen total almacenado en él. La cantidad de agua que un volumen unitario del material deja escapar cuando se le drena por gravedad, se denomina *porosidad eficaz*. Aquella parte del agua que no se puede remover por drenaje gravitacional, es retenida contra la fuerza de la gravedad por capilaridad y atracción molecular. La cantidad de agua que un volumen unitario de material retiene cuando se somete a drenaje por gravedad, se denomina *retención específica*. Tanto la porosidad eficaz como la retención específica se

expresan como fracciones decimales o porcentajes. El rendimiento específico y la retención específica, es igual a la porosidad.

Desde el punto de vista hidrogeológico se distinguen dos tipos de porosidades: la porosidad total y la porosidad eficaz, respectivamente expresadas como sigue:

Porosidad total: $m_t = \text{volumen de hueco/volumen total}$

Porosidad eficaz: $m_e = \text{Volumen de agua drenada por gravedad/volumen total}$

4.2.12. Permeabilidad

La permeabilidad se define como la capacidad de un medio poroso para transmitir agua. Asimismo, el coeficiente de permeabilidad K, según ley de Darcy es el volumen de agua libre que percola durante la unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie de una sección total de la capa acuífera bajo un gradiente hidráulico igual a la unidad. Se expresa de metros por segundos; no obstante, es frecuente que en estudios hidrogeológicos, cuando se trata de la facilidad a través de la cual se mueve el agua en un medio poroso, se refiere a permeabilidad (Castany 1975).

4.2.13. Transmisividad

La transmisividad o coeficiente de transmisividad (T) de un acuífero, es la razón a la cual fluye el agua en metros cúbicos por día a través de una franja vertical del acuífero de 1 m de ancho y de altura igual al espesor saturado del mismo, cuando el gradiente hidráulico es igual a 100% (Arocha et al., 1967). La unidad de transmisividad es $\text{m}^3/\text{d}/\text{m}$.

El coeficiente de trasmisividad y el de almacenamiento son muy importantes, porque ellos definen las características hidráulicas del acuífero.

El coeficiente de transmisividad indica cuánta agua se moverá a través de la formación; mientras que el coeficiente de almacenamiento, indica cuánta agua está almacenada en la formación con posibilidades de ser removida por bombeo o drenaje.

Cuando se perfora un acuífero, la transmisividad es un parámetro que da una idea de la productividad del acuífero; es decir, de la capacidad del mismo para permitir la extracción del agua en el pozo (Arocha et al., 1967). Este parámetro se expresa como sigue según la ecuación 5

Ecuación 5

$$T = K \times e$$

Donde: T = transmisividad
K = permeabilidad
e = espesor saturado del acuífero

4.2.14. Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento (S) de un acuífero, es el volumen de agua cedida o tomada del almacenamiento del mismo, por unidad de área superficial cuando se produce un cambio unitario de carga. El coeficiente de almacenamiento es un término adimensional (Arocha et al., 1967).

4.2.15. Nivel piezométrico

En un punto de un acuífero el nivel piezométrico es la altura que alcanza el agua, sobre una horizontal de referencia cuando se deja éste a la presión atmosférica (González De Vallejo et al., 2002).

4.2.16. Superficie piezométrica

La superficie piezométrica es el lugar geométrico de los puntos que indican la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero, referidas a una determinada

profundidad. Las superficies piezométricas se representan mediante curvas llamadas isopiezas o hidroisohipsas, que son líneas de igual altura piezométrica, que se asocian también a líneas equipotenciales. A partir de las líneas equipotenciales, se trazan las líneas de flujo o líneas de corriente que deben ser normales a las isopiezas (Custodio y Llamas, 2009). Ejemplo de ello se observa en la figura 13, en ella se muestra las diferentes geometrías que pueden adoptar las líneas de flujo.

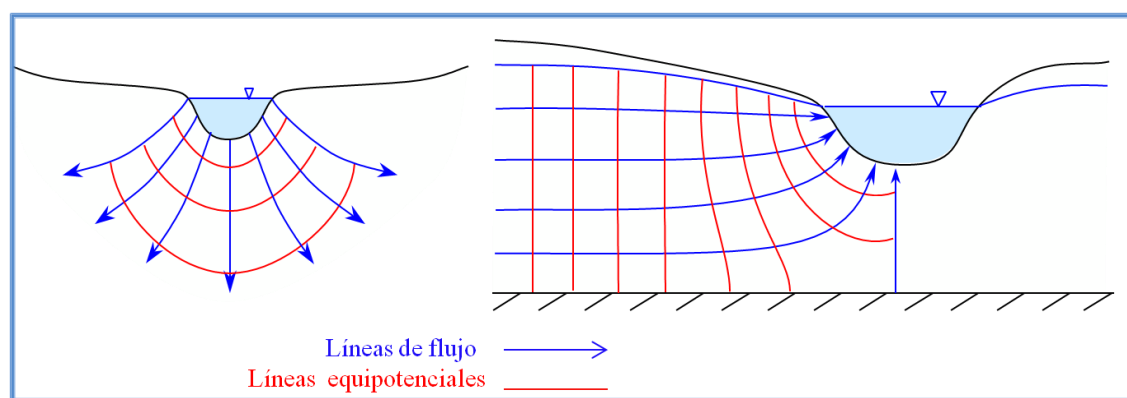


Figura 13. Esquema de superficie piezométrica (Custodio y Llamas, 2009)

Para elaborar los mapas piezométricos, se debe realizar un inventario de todos los puntos de extracción de agua. El nivel piezométrico se determina partiendo de la siguiente ecuación:

Ecuación 6

$$NP = CT - H$$

Donde: NP: Nivel piezométrico

CT: Cota del terreno

H: distancia vertical medida desde la superficie del terreno hasta el nivel del agua.

4.2.17. Gradiente hidráulico

El gradiente hidráulico es la variación del nivel piezométrico por unidad de recorrido en el sentido del flujo del agua subterránea (López et al., 2009). El gradiente representa la máxima pendiente de la superficie piezométrica.

4.2.18. Evapotranspiración

Es la consideración conjunta de dos procesos distintos: la evaporación y la transpiración. La primera es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor y la segunda es el fenómeno biológico por el que las plantas expulsan el agua a la atmósfera, la cual habían tomado a través de sus raíces. Como son difíciles de medir por separado, además en la mayor parte de los casos lo que interesa es la cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera sea del modo que sea, se consideran conjuntamente bajo el concepto mixto de evapotranspiración (Sánchez, 2010).

4.2.19. Balance hídrico

El balance hídrico consiste en aplicar el principio de la conservación de la masa, aunque se calcula en volumen tomando en cuenta constantes las densidades, a una región definida. La diferencia entre las entradas y las salidas del sistema que se ha definido, es igual a la variación de almacenamiento; es decir, debe existir un equilibrio entre las entradas, las salidas y las variaciones del sistema definido (Custodio y Llamas, 2009). El balance hídrico tiene como finalidad determinar el volumen de agua proveniente de la precipitación, que recarga a los acuíferos por efecto de la infiltración directa (Mosquera y Parravano, 2005). El balance hídrico se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 7

$$P = E + Esc + I$$

Donde:

- P: precipitación media anual (mm)
- E: evapotranspiración real media anual (mm)
- Esc: escorrentía superficial media anual (mm)
- I: Infiltración eficaz al manto acuífero

4.2.20. Flujo convergente

Cuando se comienza el bombeo en un pozo, el nivel de agua desciende en la vecindad del pozo bombeado. A ese descenso del nivel de agua se le llama **abatimiento**. La mayor cantidad de descenso o abatimiento tiene lugar en el propio pozo. El abatimiento es menor a mayores distancias desde el pozo, es así como existe un punto a cierta distancia de éste en que el abatimiento es casi imperceptible. Debido a que el nivel del agua es más bajo en el pozo que en cualquier punto de la formación a su alrededor, el agua se mueve desde la formación al pozo para reemplazar el agua que ha sido extraída por el bombeo. La fuerza o presión que impulsa el agua hacia el pozo, es la diferencia de carga entre el nivel de agua dentro del pozo y el nivel del agua en la formación (Jhonson, 1975).

El agua fluye a través de la formación desde cualquier dirección hacia el pozo. Al moverse el agua cada vez más cerca al pozo, pasa a través de secciones cilíndricas cada vez más pequeñas en áreas. En consecuencia la velocidad del agua aumenta a medida que se acerca al pozo. Un ejemplo puede ser observado en la figura 14, donde A_1 representa el área lateral de un cilindro a 100 metros del centro del pozo, y A_2 representa el área lateral de un cilindro a 50 metros del centro del pozo. Claramente, se observa que A_1 tiene el doble del área que A_2 . Debido a que la misma cantidad de agua está fluyendo hacia el pozo bombeado a través de las áreas A_2 y A_1 , la velocidad V_2 debe ser el doble que V_1 .

La ley de Darcy indica que el flujo a través de medios porosos, el gradiente hidráulico varía directamente con la velocidad. De este modo, cuando ésta crece el gradiente hidráulico aumenta a medida que el flujo converge hacia el pozo. Como resultado de lo anteriormente señalado, la superficie líquida que ha descendido desarrolla una pendiente cada vez más pronunciada hacia el pozo. La forma de esta superficie es similar a una depresión cónica, por lo que es llamado *cono de depresión*.

Cualquier pozo que se encuentre bombeando, queda rodeado por un cono de depresión. Estos conos difieren en tamaño y forma, dependiendo del caudal de extracción, extensión del período de bombeo, características del acuífero, inclinación de la superficie freática y

recarga que tenga lugar dentro de la zona de influencia del pozo. La cantidad de descenso del nivel original del agua o superficie de presión, desciende en cualquier punto de la base del cono y dentro del pozo mismo, denominándose **abatimiento** en ese punto. La figura 15 muestra una sección de cómo se distribuye el abatimiento o curva de abatimiento dentro del cono de depresión y a un lado del pozo de bombeo (Jhonson, 1975).

4.2.21. Radio de influencia

Es la distancia desde el centro del pozo hasta el límite del cono de depresión.

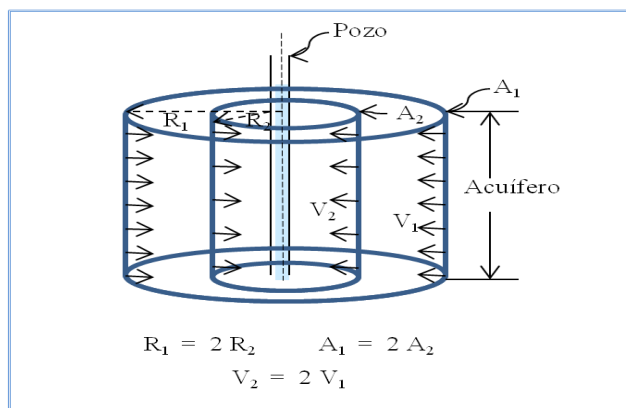


Figura 14. Dibujo esquemático de flujo convergente hacia el pozo, pasando a través de superficies cilíndricas imaginarias que van siendo menores a medida que se aproximan al pozo (Johnson, 1975)

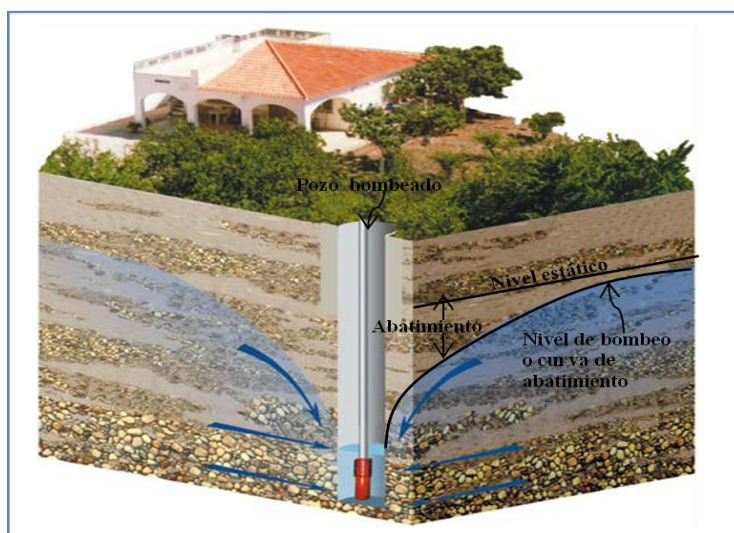


Figura 15. Esquema del nivel de agua de un pozo bombeado. (Modificado de López et al., 2009).

4.2.22. Interferencia entre pozos

Como se señalo en párrafos anteriores, cuando se bombea un pozo, desciende el nivel de agua en el mismo y en sus alrededores. El descenso es mayor en el punto de bombeo, disminuyendo a medida que nos alejamos de él, formando una zona drenada llamada cono de influencia. El radio de influencia es el causante de que pozos próximos se afecten entre sí cuando se bombean. El efecto del abatimiento de un pozo se superpone con abatimiento en el otro y se genera un sobre – abatimiento en la zona. La influencia entre pozos es recíproca, en la figura 16 se muestra de manera ilustrativa lo que ocurre entre pozos muy cercanos.

El radio de influencia viene dimensionado no sólo por el caudal bombeado y el tiempo de bombeo, sino por las características hidráulicas del acuífero tales como permeabilidad, transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. Así en los acuíferos libres, el cono es profundo y de diámetro reducido, mientras que en los acuíferos confinados suele ser extenso y aplanado. Por esta razón y al margen de otras consideraciones, la posibilidad de interferencia directa entre pozos es mayor en el caso de acuíferos confinados que en acuíferos libres (López et al., 2009).



Figura 16. Ilustración de la interferencia entre pozos cercanos. (López et al., 2009)

4.2.23. Nivel estático (NE)

Es la profundidad desde la superficie del terreno al nivel de agua en el pozo cuando no se le bombea o no está afectado por el bombeo de otros pozos. El nivel estático puede variar debido a sequías, lluvias excesivas, presión barométrica y de mareas y otros efectos de cargas (Arocha, 1967)

4.2.24. Agua subterránea en formaciones sedimentarias

Las arcillas, limolitas, argilitas y otra serie de rocas detríticas de grano fino, representan aproximadamente el 50% de todas las rocas sedimentarias. En importancia le siguen las areniscas, luego los conglomerados, el yeso, el chert, las tilitas y las diatomitas. Toda esta roca, de forma característica, son porosas y permeable, en grado diferentes.

El espesor medio de los estratos de las formaciones sedimentarias suele estar comprendido entre unos pocos centímetros y algunos metros. Aunque la alternación de capas de arcilla, caliza y arenisca, suele ser la secuencia estratigráfica más frecuente, puede ocurrir que cada estrato individual sea tan potente, que los pozos no lleguen a atravesar más que un solo tipo de roca, a pesar de que pueden tener profundidades mayores de 100 m. La mayor parte de las rocas detríticas de grano fino poseen porosidades altas, pero bajas permeabilidades. Frecuentemente, este tipo de rocas constituye barreras para el movimiento del agua, sin embargo, es un error común creer que a través de estos lechos confinantes no hay ningún desplazamiento de agua. El gran volumen que ocupa los espacios porosos de las rocas de grano fino permite el almacenamiento de grandes cantidades de agua. Aunque de los pozos situados en ellas, no se puedan extraer grandes volúmenes de agua, a veces es posible provocar un drenaje a través de ellas hacia los acuíferos confinados. Por esta razón, el agua almacenada en arcillas y rocas afines debe ser tomada en cuenta, particularmente en los casos en que haya diferencias piezométricas importantes entre los acuíferos y las formaciones confinantes, permitiendo un drenaje vertical de estas últimas.

En las areniscas, la porosidad total varía entre un 5 y un 33% en el cual factor que más influye es el tipo de cemento. Las más comunes son la arcilla, la calcita, la dolomita y el cuarzo. La permeabilidad de las areniscas suele ser de una a tres veces menor que la permeabilidad de los correspondientes sedimentos no consolidados ni cementados; mientras que, la arena media tiene una permeabilidad entre 1 - 30 m/día, los valores para las areniscas correspondientes de grano medio varían entre 1 mm – 0,5 m/día. La permeabilidad en las rocas carbonatadas puede variar desde menos de un mm/día en el caso de las calizas ricas en minerales de arcilla, hasta varios miles de metros por día en el caso de brechas, apenas cementadas.

Posiblemente, la mayor transmisividad de casi todas las calizas es debida a la presencia de grietas y fracturas ensanchadas por efecto de disolución del agua. La mayoría de los pozos abiertos en rocas sedimentarias moderadamente compactadas, poseen caudales entre 0,05 y 30 lps. Las rocas de grano fino proporcionan caudales del orden de 0,5 lps, mientras que las areniscas entre 0,5 - 15 lps y las calizas entre 0,5 -1,5 lps. En rocas sedimentarias compactadas, las zonas más favorables para la explotación de aguas subterráneas se sitúan a lo largo de zonas de falla y en regiones profundamente fracturadas (Vélez, 1999).

4.3. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA DEL SUBSUELO

Los métodos geofísicos de exploración tienen el objetivo de investigar la estructura del subsuelo, mediante mediciones realizadas en la superficie de ciertas propiedades físicas de los materiales constitutivos. En la exploración hidrogeológica, las técnicas geofísicas que mayormente se utilizan son los métodos eléctricos y el método de sismica de refracción (Arocha, 1967). En este caso, sólo se estudiará el método eléctrico.

Generalmente, la aplicabilidad del método eléctrico viene controlado por factores topográficos, geológicos y físicos. En todos ellos, la parte de resolución irá disminuyendo a medida que se aleja de la condición ideal; es decir, en función de que el subsuelo fuese un medio isotrópico y homogéneo. El factor topográfico será siempre un factor limitante, por cuanto se requiere un espacio físico, una extensión de terreno sobre el cual poder efectuar

las observaciones y mediciones, que casi invariablemente se realizan a lo largo de líneas o “tendidos” (Arocha et al., 1967).

La condición ideal consistirá en que todos los puntos de observación estén sobre un mismo plano horizontal, situación que está muy lejos de ser en áreas montañosas o de topografía muy ondulada, donde generalmente el investigador se abstiene de efectuar levantamientos geofísicos (Arocha, 1967).

Desde el punto de vista geológico, las rocas sedimentarias que tienen la propiedad de disponerse en estratos son las que presentan mayor aproximación con las condiciones teóricas, aunque los estratos se encuentren inclinados, siempre será posible disponer los “tendidos”. En cuanto al factor físico, el más importante es el llamado “contraste” que debe existir entre las propiedades físicas del cuerpo, estrato o contacto que se desea delimitar en el subsuelo y las propiedades físicas del medio que le rodea (Arocha, 1967).

4.3.1. Resistividad eléctrica

El método de resistividades se basa en medir desde la superficie del terreno, los cambios de resistividad de los diferentes estratos o unidades geológicas que constituyen el subsuelo, en función de sus espesores y resistividades verdaderas al variar la profundidad de penetración de una corriente eléctrica introducida artificialmente desde la superficie (González De Vallejo et al., 2002).

El procedimiento general que se sigue para medir la resistividad del subsuelo, es enterrar cuatro electrodos (barras de hierro) según un alineamiento y un espaciamiento determinado de forma tal, que por ellos se haga circular una corriente. Al ir aumentando progresivamente la separación de los electrodos de corriente, se obtiene una mayor penetración de la misma y un valor de resistividad aparente en cada caso.

Durante la aplicación del método de resistividad, se acostumbra a dibujar una gráfica sobre ejes de coordenadas llevando en la abscisas los valores de resistividad aparente y en las

ordenadas la profundidad o penetración de corriente, con lo cual se obtiene una curva de resistividad aparente de cuyo análisis y adecuado tratamiento matemático, es posible establecer la distribución de resistividades verdaderas en el subsuelo lo que permite traducir estos datos a términos geológicos, que es lo que se denomina “interpretación”. El parámetro físico que se controla es la resistividad (ρ) y la interpretación final se hace en función de las características geológicas de la zona en que se aplican. La resistividad es una propiedad intrínseca de las rocas y depende de la litología y de estructura interna, así como en particular de su contenido en agua (González De Vallejo et al., 2002).

La resistividad (ρ) es una característica propia de un material, el cual indica que tanto se opone el material al paso de la corriente. En la exploración hidrogeológica es frecuente encontrar materiales porosos que se comportan según la conductividad iónica. El inverso de la resistividad es la conductividad (σ), donde la resistividad se mide en ohm-m y se expresa como:

Ecuación 8

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

Donde: A: es el área del conductor
 L: longitud del material medidos en metro
 R: valor de la resistencia eléctrica

En general a los electrodos que inyectan corriente se les llama A y B, mientras que los que miden el potencial son denominados M y N.

4.3.2. Resistividad aparente (ρ_a)

Para un terreno no homogéneo, se obtiene un valor diferente de resistividad cada vez que se varíe el espaciamiento de los electrodos, ya que la magnitud está estrechamente relacionada con el arreglo de los electrodos. Esta cantidad medida es conocida como resistividad aparente (ρ_a), quien pesar de ser una medida diagnostica de la resistividad verdadera en la

vecindad del arreglo de electrodos, este no es un valor promedio y solo en el caso de un subsuelo homogéneo es igual a la resistividad verdadera (Teldorf et al., 1990).

4.3.3. Variaciones de la resistividad de las rocas

La resistividad de las rocas es en general elevada, del orden de 100.000 veces mayor que la de los metales puro. Los minerales que constituyen las rocas, a excepción del grafito o sulfuros metálicos, son aislantes perfectos. La resistividad de las rocas depende esencialmente de su contenido de agua y de la composición química del agua. Sin embargo, la estructura de una roca, la cual condiciona su contenido en agua, es función de su naturaleza litológica; es decir, la resistividad del terreno depende de tres factores, a saber: naturaleza litológica de la roca, contenido de agua y composición química del agua (Castany 1975).

La naturaleza litológica de las rocas:

La tabla 2 muestra los valores de resistividades de algunas rocas. Obsérvese que los mayores valores se encuentran en rocas con mayor resistividad.

Tabla 2. Resistividades de algunas rocas. (González De Vallejo et al., 2002)

Materiales	Resistividad ρ (Ω m)
Margas	50 - 5.000
Calizas	300 - 10.000
Pizarras	100 - 1.000
Granito	300 - 10.000
Arcillas	1 - 20
Arenas	50 - 500
Conglomerados	1.000 - 10.000
Areniscas	50 - 5.000
Aluviones	50 - 800

El contenido de agua

La resistividad específica ρ , es función del volumen de agua contenida por unidad de volumen. Por ejemplo: una arena seca en principio es no conductor, ya que está constituida por granos aislados (cuarzo o calcita). Pero en condiciones naturales una roca nunca está completamente seca ya que contiene agua retenida. Por su parte, una arena húmeda tiene una resistividad elevada debido a que la corriente sólo circula por medio del agua de retención, y una cierta parte de los vacíos está ocupada por aire. Esta resistividad varía entre 60 y 20000 $\text{ohm}\cdot\text{m}$. Asimismo, una arena saturada de agua tiene una baja resistividad que está entre 5 a 100 $\text{ohm}\cdot\text{m}$.

Composición química del agua

La resistividad del agua es una función de su concentración de sales disueltas, las cuales actúan sobre la ionización y por tanto sobre la conductividad electrolítica.

4.3.4. Conductividad electrolítica

La conductividad de las rocas es del tipo electrolítica, donde la corriente se propaga en forma de iones, pues es función del contenido de agua presente en las rocas. Es por ello que el método de las resistividades, está particularmente adaptado a las prospecciones hidrogeológicas. La unidad de resistividad utilizada para la prospección es el $\text{ohm}\cdot\text{m}$. Es la resistividad de un prisma de roca de un metro de altura y un metro cuadrado de sección (Castany 1975).

4.3.5. Teoría del sondeo eléctrico vertical (SEV)

El sondeo eléctrico vertical (SEV) consiste en separar sucesivamente los electrodos de corriente A y B del punto central, siguiendo una línea recta que le permite medir la resistividad en cada disposición. La resistividad aparente calculada será por tanto, la correspondiente a mayores espesores según se van separando los electrodos. Generalmente, durante la aplicación de este método Schlumberger (figura 17). El resultado que se obtiene

del SEV es la variación de la resistividad (ρ) con la profundidad en el punto central del perfil investigado (González De Vallejo et al., 2002).

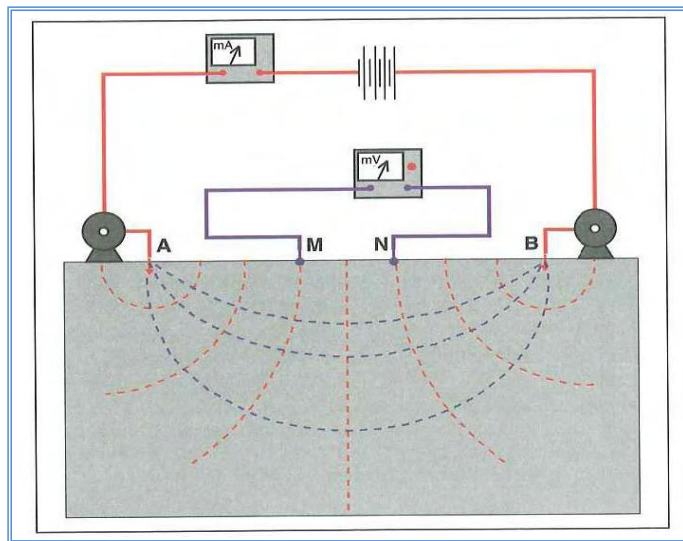


Figura 17. Medida de resistividades del terreno (González De Vallejo et al., 2002)

4.3.6. Sondeos eléctricos verticales (SEV)

Según tendidos lineales y sin abandonar la simetría de los electrodos con respecto a un punto central (estación de observación), se efectúan una serie de mediciones expandiendo progresivamente la separación de los electrodos, con lo cual van obteniéndose cambios en las resistividades aparentes debidos a una penetración cada vez mayor de la corriente, esto relacionados con la variación de la resistividad verdadera y el espesor de los estratos que sucesivamente atraviesa la corriente.

Mediante los SEV se determinan las resistividades de las distintas capas horizontales o sub-horizontales del subsuelo, midiendo diferencias de potencial conociendo que la resistividad es un coeficiente que depende de la naturaleza y estado físico del cuerpo considerado. Es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso en un material determinado.

Los métodos geoelectricos estudian fundamentalmente la distribución de las propiedades eléctricas en el subsuelo bien sea por pasar por el subsuelo una corriente eléctrica, o por una corriente natural de los mismos.

Los resultados de la interpretación de un perfil de SEV se suelen representar gráficamente en forma de “cortes geoelectricos” que son cortes o secciones que muestran la distribución de resistividades en el subsuelo (Paragnis, 1971).

La movilidad de las aguas subterráneas se ve influenciada por el tipo de rocas en el subsuelo, como es el caso de los suelos conformados por arenas, gravas, calizas o basaltos las cuales son más permeables que las arcillas, pizarras, morrenas glaciales y limos que tienden a reducir el flujo del agua subterránea (Paragnis, 1971).

Para la aplicación del sondeo eléctrico vertical (SEV) es necesario que la topografía del terreno sea relativamente suave, en especial para investigaciones someras, esto permite que el objetivo tenga una posición aproximadamente horizontal, y su extensión en dicho sentido, no sea inferior respecto de su profundidad; asimismo, es importante que las formaciones geológicas sobre las que se efectúa el SEV, presenten una razonable homogeneidad lateral (Paragnis, 1971).

El objeto del sondeo eléctrico es deducir la variación de la resistividad eléctrica con la profundidad bajo un punto determinado de la superficie terrestre, relacionarla con los datos geológicos disponibles para inferir con mayor precisión, su distribución en el subsuelo. El principio básico del método es que la corriente introducida en el subsuelo que penetra por debajo de cierta profundidad, aumenta con la separación de los electrodos de corriente (Paragnis, 1971).

4.3.7. Dispositivo de medida

El dispositivo utilizado del tipo Schlumberger es mostrado en la figura 18. Éste dispositivo AMNB con $AB > MN$, el sondeo consiste en separar progresivamente los electrodos A y B

dejando los electrodos detectores M y N fijos en un punto central “O”. Una línea de emisión permite, entre dos electrodos A y B, ubicados en el suelo hacer pasar una corriente de intensidad I. Se mide la diferencia de potencial ΔV entre dos electrodos M y N que constituyen la línea de recepción. Los electrodos A y B, M y N están dispuestos simétricamente en relación al centro O del dispositivo. El volumen de terreno a través del cual la corriente circula, es proporcional a la distancia entre los cuatro electrodos. Esto implica que la profundidad del terreno incluido en la medición es proporcional a la distancia entre los electrodos (Castany 1975).

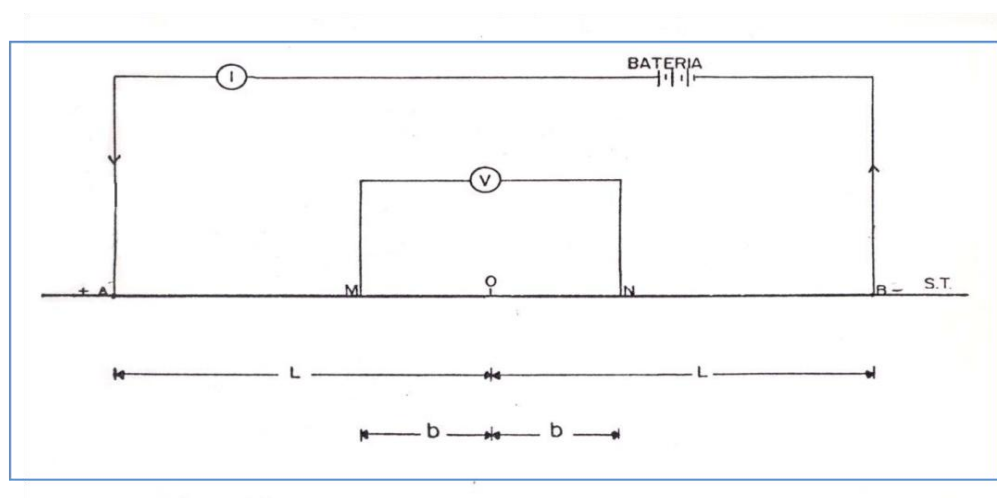


Figura 18. Esquema del dispositivo tipo Schlumberger

4.3.8. Curvas de SEV

Los datos de resistividad aparente contenidos en cada SEV se representan por medio de curvas en función de las distancias entre electrodos. Dichas distancias estarán condicionadas a la geometría del dispositivo electródico; en ese sentido, el dispositivo Schlumberger las resistividades aparentes se grafican en las ordenadas y en las abscisas las distancias $AB/2$ con ambos ejes en escala logarítmica. Para caracterizar el subsuelo en los puntos sondeados, se establece la profundidad, los espesores y las resistividades verdaderas en cada sector, denominándose capa o unidad geoelectrica (Orellana, 1982).

CAPITULO V

5. MARCO METODOLÓGICO

La metodología diseñada para este estudio, involucró tres (03) etapas; las cuales una vez ejecutadas permitieron alcanzar el objetivo propuesto.

5.1. Metodología

5.1.1. Etapa 1

Ésta etapa involucró la recopilación de información bibliográfica y geológica existente que facilitó la planificación del trabajo de campo. Esto permitió además, establecer un cronograma óptimo para el desarrollo del proyecto a ejecutar. En ese sentido, seguidamente se indican las actividades que se desarrollaron, las cuales fueron:

1. Recopilación, procesamiento, revisión y reinterpretación de la información bibliográfica publicada en Trabajos Especiales de Grado, informes suministrados por la empresa Hidrocaribe e información suministrada por PDVSA (Faja Petrolífera del Orinoco).
2. Actualización la información referida a la ubicación, profundidad y capacidades de producción de pozos existentes en la zona de estudio con la documentación obtenida por el INAMEH.
3. Revisión detallada de la hidrografía característica del área contenida en la hoja cartográfica 7241 San Diego de Cabrutica a escala 1:100.000, elaborada por el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar, donde se delimitó la zona de estudio y se digitalizó el mapa base a través del programa MapInfo Profesional 10.5.

4. Identificación de las formaciones preente mediante la hoja geológica NC-20-III Ciudad Bolívar (1976) del Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Se delimitó el área de estudio y se procedió a la digitalización del mapa geológico y las formaciones presentes en la zona de estudio con el programa MapInfo Profesional 10.5.
5. Revisión del mapa hidrogeológico de Venezuela a escala 1:500.000, NC-20-III Ciudad Bolívar (1972) del Ministerio de Minas e Hidrocarburos y se digitalizó el mapa hidrogeológico delimitando la zona de estudio por medio del programa MapInfo Profesional 10.5.

5.1.2. Etapa 2

Esta etapa implicó el reconocimiento de campo de la zona de estudio, la observación de la litología tipo presente y la aplicación de los métodos geofísicos como los S.E.V. No obstante, seguidamente se detallan las actividades a desarrollar:

1. Reconocimiento de la zona de estudio mediante la combinación de la observación directa y la determinación de las características litológicas.
2. Estudio geológico de superficie, para establecer las características litológicas, buscar evidencias de los controles estructurales y climáticos que influyen en la recarga del acuífero.
3. Actualización del inventario de pozo en los alrededores la zona de estudio.

Como consecuencia de la última actividad, se inventariaron un total de 6 pozos en y alrededor de la zona, de los cuales tan sólo 2 están en funcionamiento con sus respectivas bombas y 3 en abandono. En cuatro de esos pozos se logró medir el nivel del agua, utilizando una sonda multiparamétrica, cuyo resultado se indican a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Datos obtenidos de los pozos ubicados en el centro poblado.

Pozos	Norte	Este	Nivel freático
El Bolivariano	322382.0	939934.7	37,67 *
El Pilón 1	322482.4	939986.8	32,02
El Pilón 2	322473.1	939785.8	21,28
Pozo 4 (Oripopo)	322291.5	940221.1	***
Pozo 5	322291.5	940221.10	***
Pozo 6	322181.3	940650.6	4,7 **

* La bomba del pozo se encontraba encendida al momento de realizar la medición

** Se encontraba abandonado

Seguidamente se realizó la medición de conductividad y temperatura, empleando la mima sonda multiparamétrica. Para el caso de las aguas subterráneas se multiplica la conductividad por un factor que varía entre 0,55 y 0,75, (Johnson, 1975).

Asimismo, se realizó el cálculo de caudal a 2 pozos a través del método de aforo volumétrico el cual consiste en mantener abierta la llave de distribución del pozo, luego se tomó el tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido y se dividió el tiempo medido entre el volumen para así obtener un caudal promedio el cual fue aproximadamente de 0,5 lps.

4. Se realizó un reconocimiento de campo a fin de seleccionar los sectores más adecuado para ejecutar lo SEVs. Este reconocimiento consistió en ubicar áreas en terreno plano y de poca pendiente.

Dicho estudio geofísico se realizó para la búsqueda de las aguas subterráneas en aluviones con la finalidad de evaluar el potencial de los recursos hídricos y localizar áreas propicias para la ubicación de nuevos pozos de aguas.

Para la ejecución de los SEV, se procedió de la siguiente manera:

▪ *Ubicación de los SEVs*

Se realizó una programación detallada del trabajo de campo tomando en cuenta la topografía del terreno en el sector para así seleccionar y orientar los sitios de los SEVs. Posteriormente, se realizó el tendido eléctrico y posiciones de los electrodos, los cuales fueron ubicados en áreas planas lo que permitió obtener una visión global de las características litológicas del subsuelo. En la siguiente tabla 4 se observan las coordenadas geográficas de los SEVs.

Tabla 4. Ubicación geográfica de los SEVs

Población	Municipio	N° de SEV	Coordenadas geográficas		Elevación msnm
			Latitud	Longitud	
Santa Clara	José Gregorio Monagas	1	8°29'50"	64°37'14"	211
		2	8°29'50"	64°37'11"	214
		3	8°29'47"	64°37'08"	211
		4	8°30'12"	64°36'53"	213
		5	8°30'11"	64°36'58"	213
		6	8°30'10"	64°36'59"	210

En la figura 19 se presenta una imagen de Google Earth de la zona de estudio que muestra la ubicación de los SEVs.

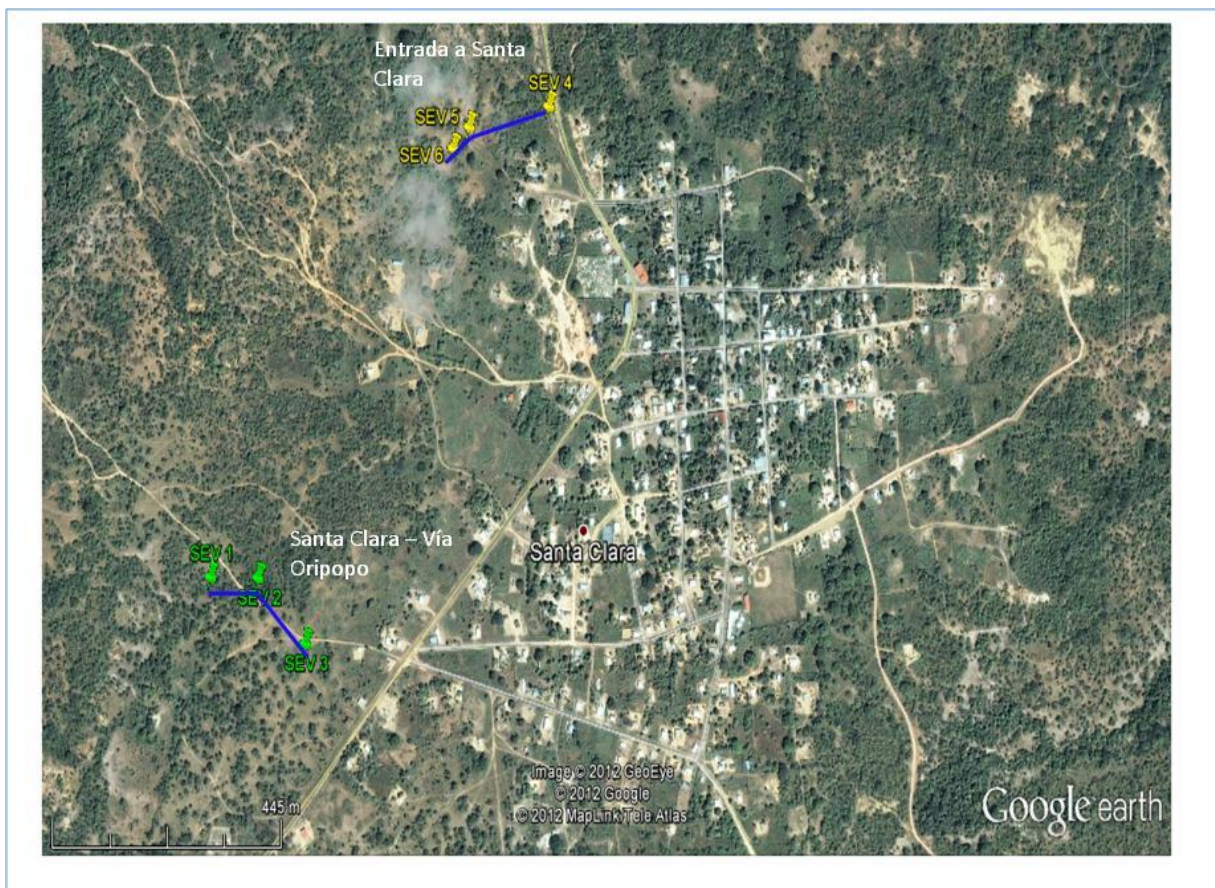


Figura 19. Imagen donde se observa la ubicación de los SEVs en el área de estudio. (Modificado de Google Earth 2005)

Equipos y herramientas utilizadas en campo:

- Unidad principal, equipo SARIS. Instalado en un punto central con su respectivo tendido en las zonas seleccionadas, utilizando cintas métricas, se colocaron los electrodos a lo largo de una línea recta de acuerdo al dispositivo Schlumberger. El equipo consiste de un sistema de resistividad para la exploración de aguas subterráneas, de marca Scintrex Ltd., llamado SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System) (figura 20). Este equipo consiste de una consola electrónica y de la fuente de poder.

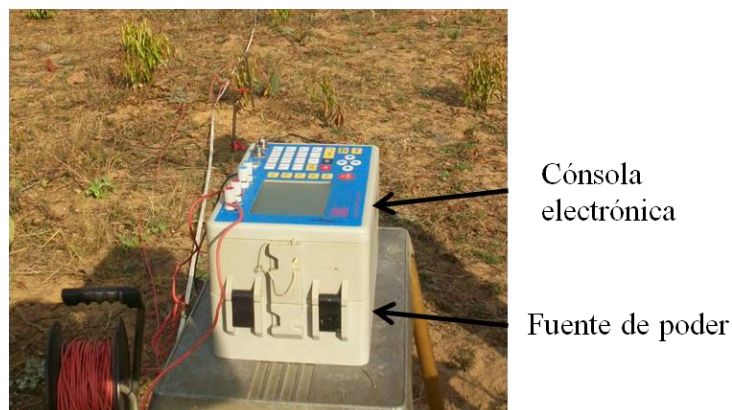


Figura 20. Foto del equipo SARIS utilizado para los SEVs

- Dos carretes de cables de 200 metros cada uno
- 2 cintas métricas
- 6 electrodos de cobre
- 2 caimanes de cobre
- 3 mandarrias
- 1 mesa portátil y planillas de registro para los datos emitidos por el equipo

Ejecución del estudio:

- En los lugares seleccionados para los SEVs, se geoposicionaron con el GPS los puntos de adquisición referenciado al huso 20. Se realizó el tendido hacia ambos lados una distancia de 100 metros cada uno (figura 21), y luego se procedió a ubicar los electrodos de potencial M y N, iniciando en el punto central del SEV mediante las cintas métricas y los cables amarrados a los electrodos centrales (M y N).

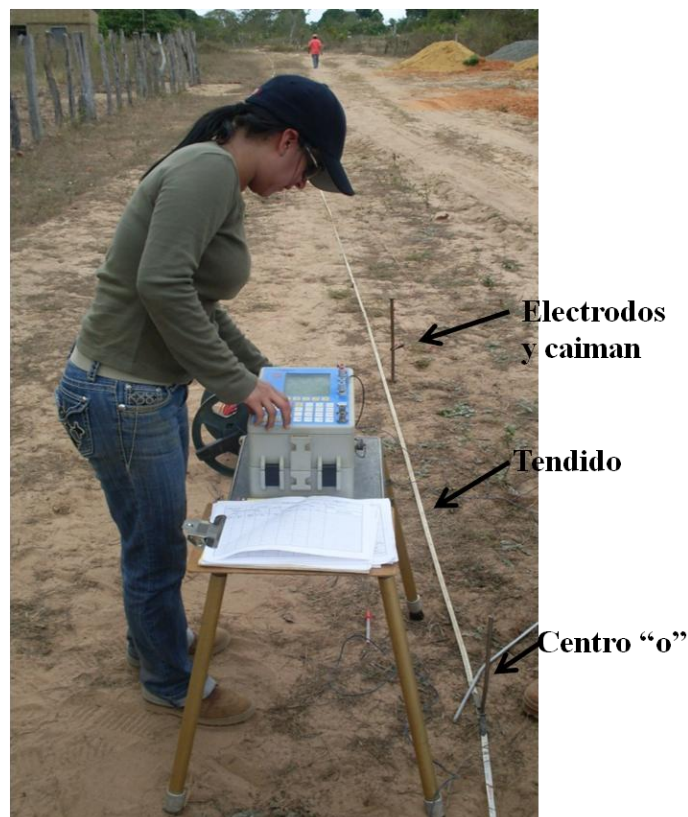


Figura 21. Distribución para la ejecución de los SEVs

- Se obtuvo un total de seis (06) sondeos eléctricos verticales con la configuración Schlumberger. Los valores emitidos por el equipo fueron la resistividad aparente (pa), potencial espontáneo (SP), diferencia de potencial (ΔV), corriente transmitida (Txi) y desviación estándar (SD).

Las mediciones y los datos obtenidos de cada uno de los estudios, fueron realizados y registrados por el INAMEH.

5.1.3. Etapa 3

Por su parte, la etapa de post – campo, involucró todo el trabajo a ser desarrollado a nivel de oficina, detalladamente se mencionaran los siguientes aspectos:

1. Evaluación de las condiciones naturales de la región a ser estudiada, con el propósito de proponer la ampliación de la red de pozos que permitan un aprovechamiento óptimo de los acuíferos de la zona, utilizando para ellos los datos suministrados por el inventario de pozos, así como la información recopilada de trabajos anteriores realizados en dicha zona.
2. Con la información suministrada por el INAMEH, se obtuvo información de las estaciones de Santa Clara, TIGRE – CIA – GUANIPA lo cual permitió generar los datos de precipitación, temperatura y evaporación para así obtener valores promedio de cada uno (tabla 5 y 6), donde la precipitación sería un dato para calcular el balance hídrico.

Tabla 5. Datos climatológicos promedio

Datos climáticos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Estación
PP	10,0	8,4	10,5	31,9	73,5	159,8	175,4	Santa Clara
TEMP	25,8	26,3	26,8	27,0	26,7	25,8	25,7	TIGRE-CIA-GUANIPA
EVP	222,1	236,8	305,3	287,6	260,9	185,8	182,6	TIGRE-CIA-GUANIPA

Tabla 6. Datos climatológicos promedio

Datos climáticos	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Estación
PP	172,8	114,9	96,3	46,1	25,6	923,3	Santa Clara
TEMP	26,0	26,2	26,4	26,2	25,7	26,2	TIGRE-CIA-GUANIPA
EVP	186,6	190,2	196,0	186,2	186,6	2626,63	TIGRE-CIA-GUANIPA

Seguidamente, se realizó el cálculo del balance hídrico, tomando como precipitación los datos suministrados por el INAMEH, y la ETP por el Ministerio del Ambiente y de los recursos Naturales Renovables por medio del método de Penman – Monteith, el cual se considera como un método estándar para estimar la evapotranspiración. El periodo de referencia para calcular el balance hídrico fue mensual, por medio de la clasificación climática de Thornthwaite (1948) y así obtener la dinámica de las reservas de agua y la infiltración en la zona.

3. Con la información obtenida a partir del inventario de pozos suministrada por el INAMEH y con los datos obtenidos del levantamiento en campo, se procedió a la elaboración del mapa piezométrico del área por medio del programa Golden Software Surfer 8.0. Dicho mapa contiene la curva isopiezométricas o isopiécicos, así como las direcciones de flujo preferencial del agua subterránea y los gradientes hidráulicos.

Para trazar las curvas piezométricas, se utilizaron los niveles estáticos en metros de 4 (cuatro) pozos ubicados dentro de la poligonal urbana y niveles estáticos de 3 pozos obtenidos de la base de datos del INAMEH ubicados alrededor del centro poblado, para mejorar la interpretación de las curvas piezométricas. Los niveles estáticos son restados a la altitud a la cual se encuentra el pozo y el resultado es lo que se conoce como nivel piezométrico; es decir, el nivel del agua del pozo referido a la altura sobre el nivel del mar. Esto se realizó para cada pozo y con estos datos fueron interpoladas las curvas piezométricas.

Por medio del mapa piezométrico, se trazaron líneas perpendiculares a las curvas piezométricas, la cual representan las líneas de flujo lo que determina la dirección del movimiento del agua subterránea. Asimismo, a través del mapa piezométrico se calcula el gradiente hidráulico. Para ello, con el vector gradiente, se mide el comportamiento de la dirección del agua subterránea, este se obtiene mediante la diferencia entre el punto de máxima inclinación con el de mínima inclinación de las curvas piezométricas.

4. Interpretación de los datos adquiridos por los S.E.V.

La interpretación de un sondeo eléctrico resulta un poco ambiguo. Se deben buscar soluciones válidas que coincidan con los datos geológicos observados en la zona de estudio. Para la interpretación de los SEVs, se procedió a calcular la resistividad real a través del programa Ipi2win desarrollado por la Moscow State University Geological Faculty Department of Geophysics. El programa Ipi2win realiza interpretaciones 1D de las curvas graficadas a partir de los valores de $AB/2$ frente a Resistividad aparente, para así generar pseudo-secciones de resistividad aparente y

perfiles geoelectricos donde se esquematizan en profundidad la distribución vertical y espesor de las capas de resistividades interpretadas.

Con dicho programa se calcularon las resistividades aparentes (ρ_a), el cual llevó a generar curvas para ajustarlas mediante una curva teórica aportada por el programa, y así minimizar el margen de error por aproximación de la curva teórica con la curva práctica obtenida a partir de los datos adquiridos en campo. A esta curva práctica se le eliminó aquellos puntos anómalos que quedaban fuera de la tendencia general de la respectiva curva teórica, ajustada al comportamiento de la curva de campo de cada perfil. Finalmente, el programa generó valores de resistividad absoluta, número de capas, espesores, y profundidad de las mismas.

Seguidamente, los resultados obtenidos y la geología observada en campo, se relacionó con la tabla modificada de Falgas (figura 22), la cual muestra la resistividad frente a la conductividad, así como también una estimación litológica interpretada que puede presentar la zona.

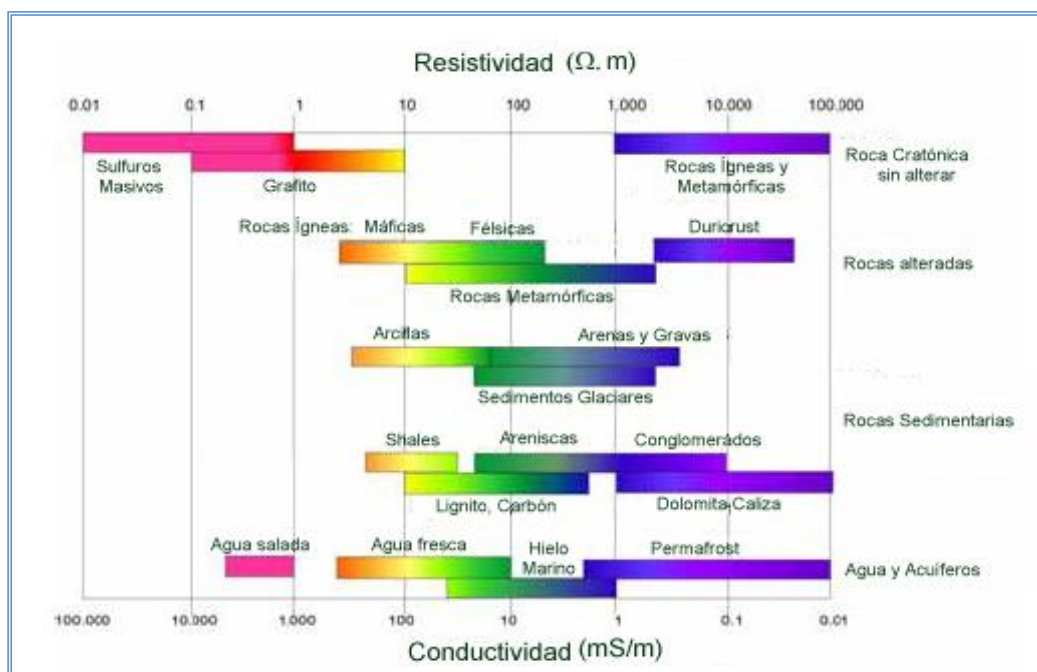


Figura 22. Rango de resistividades y conductividades verdaderas de sedimentos, rocas y fluidos. Modificado de Falgas, 2007.

Procesamiento de datos de los SEVs

Se realizaron seis (06) SEVs, en la población de Santa Clara, con un distanciamiento aproximado de 100 m cada uno para así cubrir el área de estudio y elaborar los perfiles de correlación geoelectrica en el sector y visualizar la continuidad de los espesores en las unidades geoelectricas. Con los resultados obtenidos a través del software Ipi2win se obtuvieron datos de campo que están representados por curvas en color negro, junto a curvas teórica en color rojo. A su vez se observan tablas adjuntas donde se encuentra la resistividad verdadera (ρ), el espesor (h) y el porcentaje de error, éste indica la diferencia que existe entre la curva teórica y la curva de campo de resistividad aparente. Seguidamente, se presentan las curvas interpretadas y los sondeos que se divididos por zonas, los cuales posteriormente serán explicados en el capítulo VI.

CAPITULO VI

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Evaluación geológica del área de estudio

En el área de estudio sólo es posible observar la Formación Mesa, que consiste de sedimentos recientes por aluvión de grano grueso a fino suprayacente a la Formación Las Piedras. Ésta no se observa en la zona de estudio y sólo se identifica a través de perforaciones. La litología de la Formación Mesa consiste de arenas de grano medio a fino muy compactas y duras de color blanco y amarillo (figura 23) con presencia de cemento ferruginoso, y de conglomerados, igualmente muy duras de color rojo y negro (figura 23 y 24), con gran afinidad a la litología anteriormente descrita en la formación descrita en los distintos textos consultados. Asimismo, se observa la presencia de arenas y gravas de grano medio, deleznable (figura 25).

La litología presente en la zona, en su mayoría se observa muy dura y compacta con un espesor aproximado de 50 m según resultados de los SEVs. Esto confirma la teoría de que la Formación Mesa reduce su espesor hacia el sur y posiblemente no supera los 80 m de espesor. Por consultas bibliográficas, la Formación Mesa presenta anticlinales, sinclinales y fallas de tipo normal las cuales se encuentran ubicadas en los ríos Pao, y Aribí y así como en las adyacencias de la zona, pero dichas estructuras geológicas, superficialmente no son visibles en la zona de estudio. El ambiente fluvio – deltaico de la Formación Mesa generó depósitos con gran variabilidad lateral.

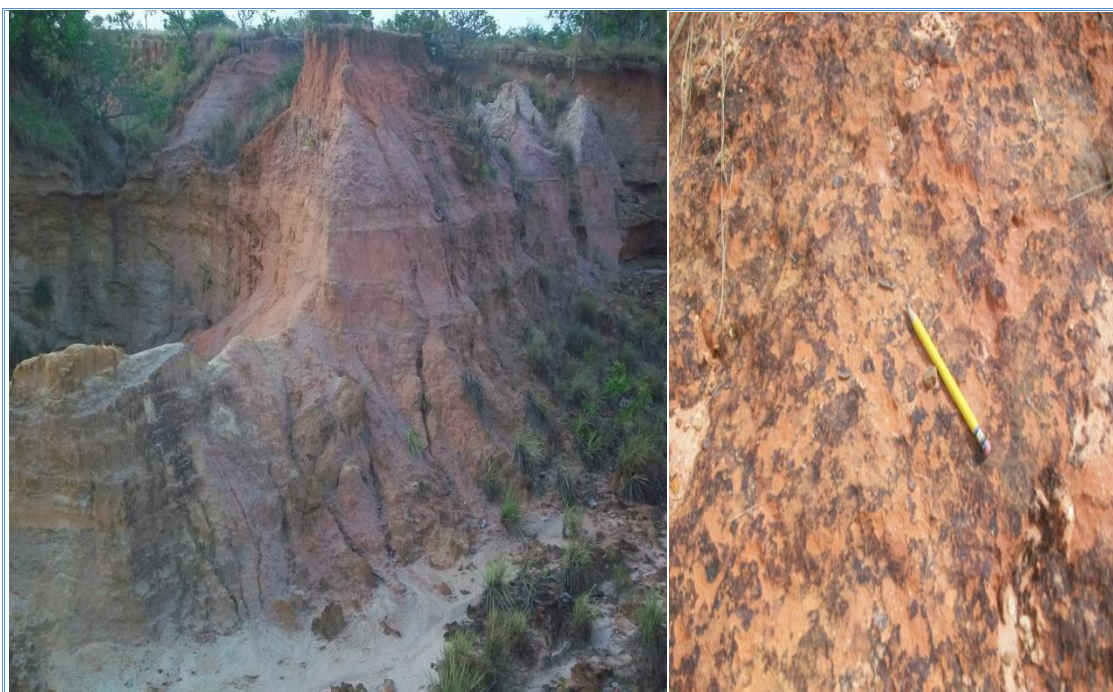


Figura 23. Foto donde se muestra la litología tipo de la Formación Mesa.

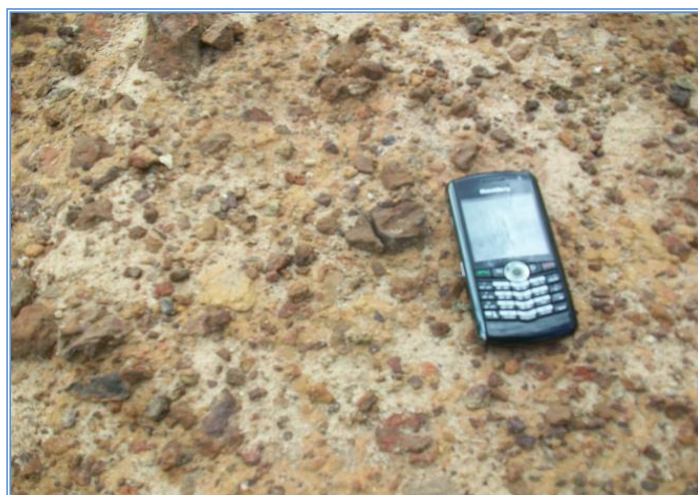


Foto 24. Conglomerados muy duros de color rojo oscuro



Figura 25. Muestra una sección de arenas y gravas poco consolidadas

6.2. Geomorfología

Para mejor visualización de la geomorfología, se realizó un modelo digitalizado del terreno a través del programa Surfer 8.0. Los principales rasgos geomorfológicos de la zona obtenidos en este estudio, permite señalar que la población de Santa Clara está ubicada en una zona de bajo relieve rodeado de mesas (figura 26). Estas mesas presentan una forma relativamente escalonadas con poca elevación. En su parte plana, se caracteriza por ríos dendríticos los cuales se encuentran interceptando éstas mesas. Debe resaltarse que para mejorar la visualización del modelo digital del terreno, fue necesario exagerar la escala de la figura, esto para obtener un mejor detalle de las mesas presentes en la zona.

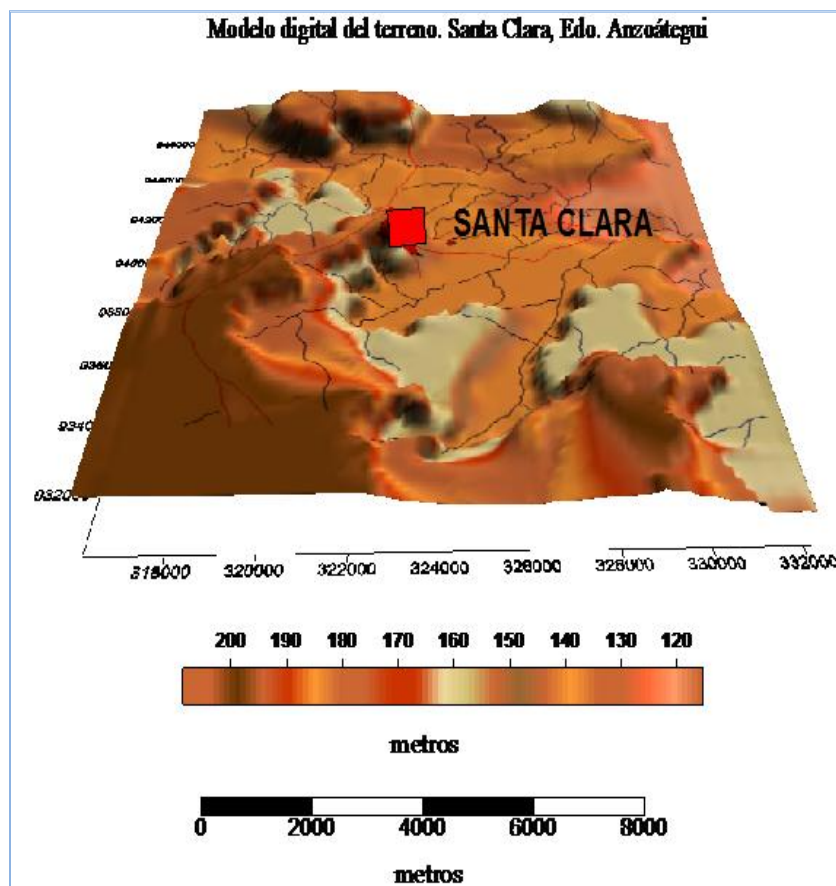


Figura 26. Geomorfología de la zona. Elaboración propia con datos obtenidos de las curvas topográficas de la hoja cartográfica 7241.

6.3. Características climáticas

Ésta zona de estudio se caracteriza por presentar un clima bosque seco tropical, (según Thonrwaite 1948), presentando una precipitación entre 800 y 1200 mm, una evaporación superior a 2000 mm al año y una temperatura media de 25,1 °C.

Según datos suministrados por el INAMEH, a partir de las estaciones de Santa Clara II y EL TIGRE-CIA-GUANIPA, se obtuvieron los datos climatológicos del área de estudio. En los registros de precipitación que tiene la zona se observa un periodo de transición para el mes de mayo el cual marca un máximo de precipitación para los meses de junio, julio y agosto con 175,4 mm para el mes de julio y un registro mínimo para el mes de octubre con

96,3 mm. Para los meses de noviembre hasta abril corresponde a un periodo seco donde se registra el máximo de lluvias para el mes de noviembre con 46,1 mm y un mínimo de 8,4 mm para el mes de febrero (figura 27).

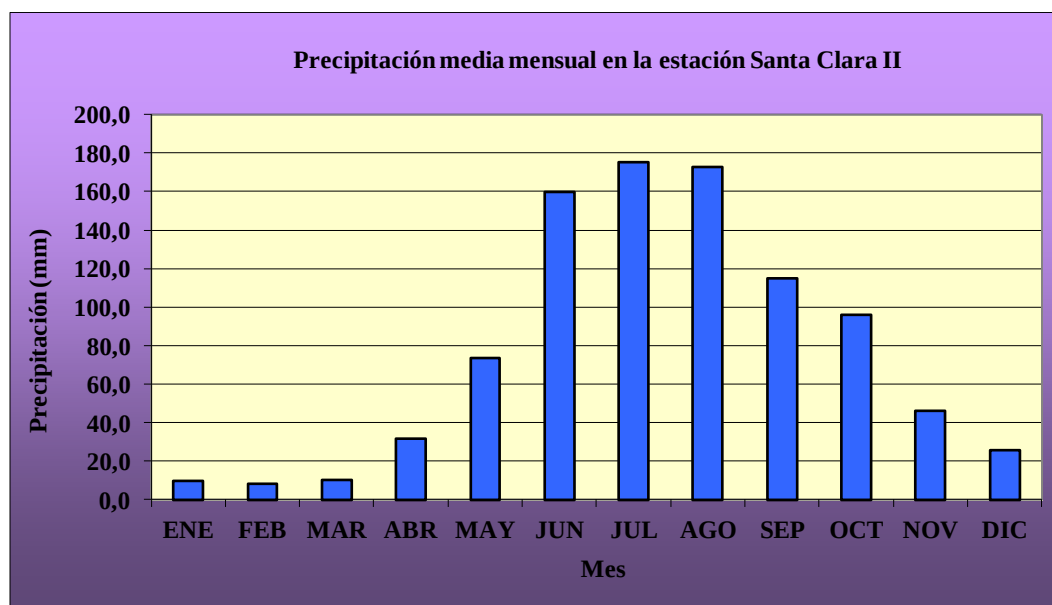


Figura 27. Gráfico de la precipitación promedio de la zona de estudio. Base de datos Inameh. Elaboración propia.

En cuanto a la temperatura según estación EL TIGRE-CIA-GUANIPA, se observa que para el mes de abril existe una temperatura máxima de 26,9°C y una mínima para los meses julio y diciembre de 25,7°C, con una temperatura promedio de 26,2°C (figura 28).

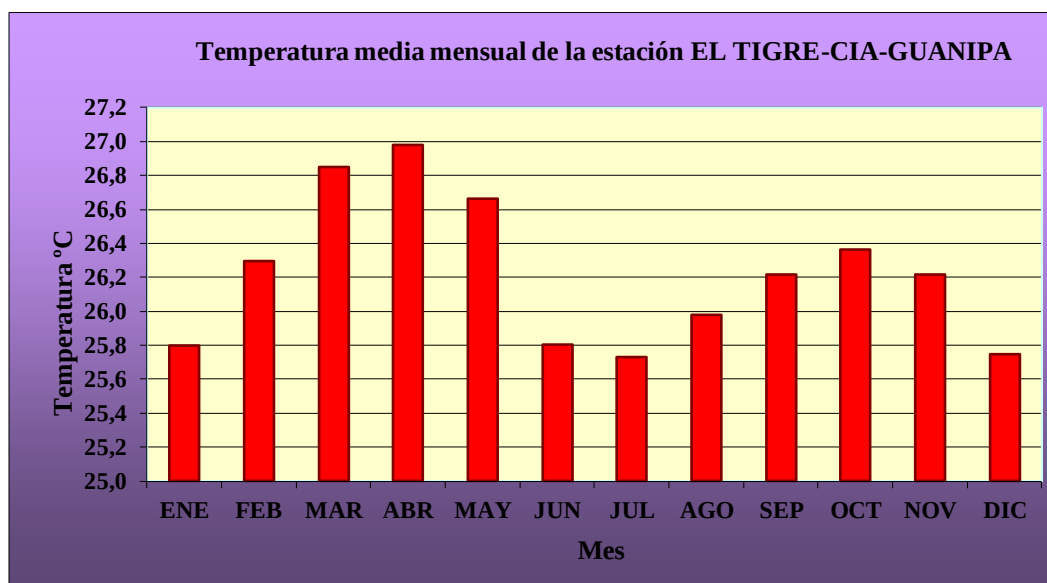


Figura 28. Gráfico de la temperatura promedio del área de estudio. Base de datos Inameh. Elaboración propia.

La evaporación en la zona de estudio alcanza sus máximos valores en los meses de abril hasta mayo con 250 mm. Sin embargo, como se puede observar en el figura 29 existe una evaporación que ocurre en los meses de junio hasta febrero con un promedio de 197 mm.

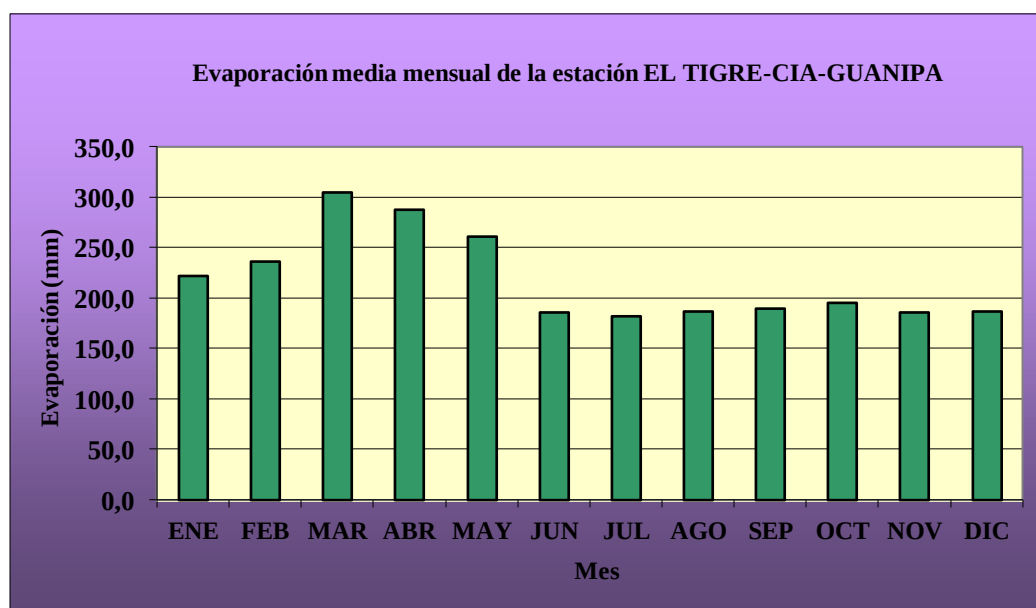


Figura 29. Gráfico de la evaporación promedio de la zona de estudio. Base de datos Inameh. Elaboración propia.

Nótese que en el periodo de mayor temperatura de febrero a mayo coincide con los mayores valores de evaporación medidos, lo que indica la relación directa entre ambos parámetros y de la dependencia de la evaporación con respecto a la temperatura.

Seguidamente, se estableció una comparación entre la precipitación y la evapotranspiración, el cual muestra una notable diferencia, donde la ETP > PP. Esto señala que existe poca precipitación y posiblemente la zona tiene poca capacidad de infiltración (figura 30). Para los meses de junio hasta agosto, se observa que la precipitación supera la evapotranspiración, probablemente para estos meses pueda existir mayor infiltración en el terreno, contribuyendo con una mayor recarga efectiva hacia los acuíferos.

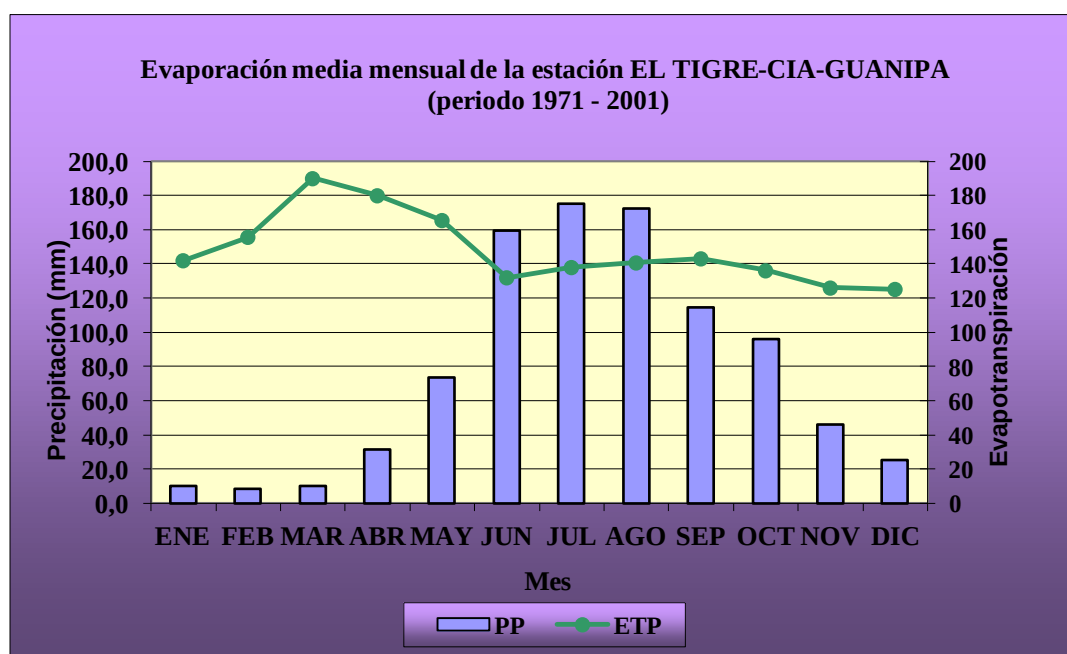


Figura 30. Gráfico de la precipitación relacionada con la evapotranspiración. Base de datos Inameh y Ministerio del Ambiente y de los recursos Naturales Renovables. Elaboración propia.

6.4 Unidades hidrogeológicas

Mediante la información geológica e hidrológica suministrada por el INAMEH, y basado en el mapa hidrogeológico de Venezuela a escala 1:500.000 (figura 32) se logró la identificación de las principales unidades hidrogeológicas de la zona de estudio, a saber:

unidad litológica de sedimentos pocos o no consolidados, unidad litológica de sedimentos consolidados con porosidad intergranular y/o por fisuración o fracturamiento y unidad litológica de sedimentos prácticamente impermeables. De acuerdo a las características hidrogeológicas y su capacidad como reservorio de aguas subterráneas el área de estudio puede ser clasificada en las siguientes unidades.

Unidad litológica de sedimentos pocos o no consolidados, con porosidad intergranular.

La unidad está conformada por los sedimentos constituidos principalmente por arenas de grano grueso y gravas no compactadas con permeabilidad de alta a media las cuales pueden dar origen a acuíferos continuos de extensión considerable; además existen lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita, con permeabilidad de baja a media, pertenecientes a la Formación Mesa.

Unidad litológica de sedimentos consolidados con porosidad intergranular y/o por fisuración o fracturamiento.

Comprendidas las arenas de grano grueso y gravas, con cementos ferruginosos cementados y muy duros al sur de la Mesa de Guanipa perteneciente a la Formación Mesa. Se incluye en esta unidad las areniscas compactas micáceas, friables, de grano fino del tope de la Formación Las Piedras, con permeabilidad de baja a media, que infrayace a la Formación Mesa, las cuales en condiciones favorable pueden dar lugar a acuíferos de rendimientos medios.

Unidad litológica de sedimentos prácticamente impermeables.

En esta unidad están incluidas los estratos de areniscas compactas, interlaminada con lutitas gris a verdoso, arcilitas sideríticas, grises, lutitas ligníticas y lignitos en el tope de la Formación Las Piedras.

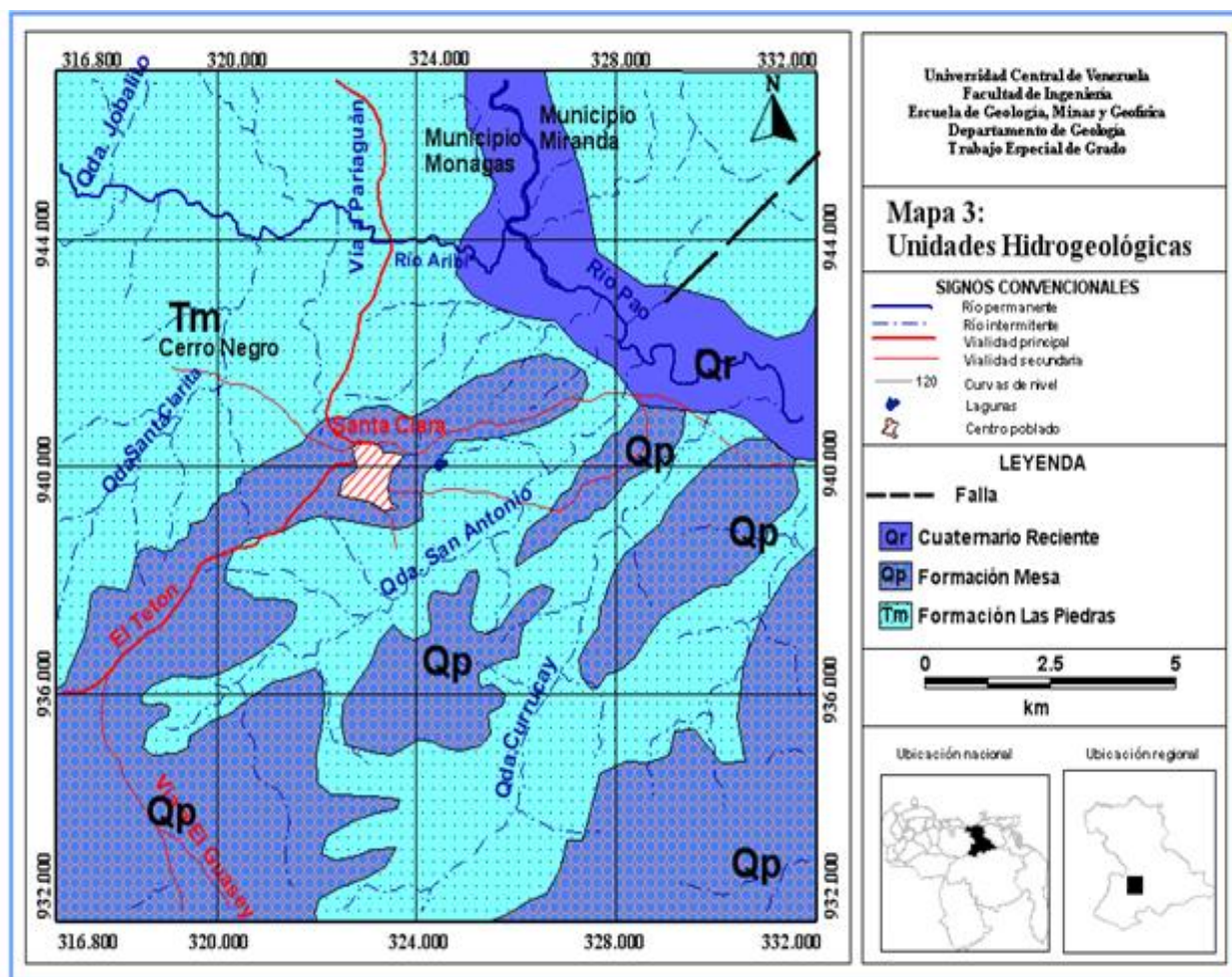


Figura 31. Mapa donde se muestran las unidades hidrogeológicas del área de estudio (Ministerio de Minas e Hidrocarburos, 1976).

6.5. Comparación entre acuíferos

Las mediciones de niveles estáticos realizados en el área de Santa Clara, indican que existe una capa acuífera alrededor de 30 m de profundidad sin poder determinar su espesor total, debido a que no se tienen los datos de construcción y posición de los filtros. Según la información obtenida de la población residente, los pozos tienen aproximadamente 100 m de profundidad y ninguno de ellos posee un caudal de más de 0,5 lps. Esto indica que es muy probable que las capas acuíferas captadas no posean un espesor que permitan la extracción de caudales mayores o existe la posibilidad que los sedimentos que componen las capas saturadas disminuyan la permeabilidad que puedan presentar en otras áreas o que

también en el diseño y construcción de los pozos se hayan incurrido en errores que determinan esos bajos rendimientos.

La capa acuífera mencionada anteriormente, si bien no pudo ser determinado su espesor en el área de estudio, se ha obtenido información de pozos tanto al este como al oeste de Santa Clara que permiten inferir la profundidad de su base. Al este, el *Proyecto de Exploraciones de Aguas Subterráneas Cuencas del Río Pao y del Caris*, existe la descripción de cinco 5 pozos de observación. De acuerdo con esta información, existe una primera capa acuífera de aproximadamente 25 m, con variaciones de profundidad de la base y tope de la capa, la profundidad promedio del tope está cerca de los 40 m aumentando y la base aproximadamente a los 65 m, disminuyendo espesor y profundidad a medida que se acerca al Río Orinoco. Existe además una segunda capa de un aproximado de 20 m de espesor, con el tope cercano a los 100 m y base 120 m.

De igual manera al oeste del área de estudio, existen datos de medición de niveles de dos pozos que corroboran en parte la información anterior, esta información fue obtenida a partir del *Mapa de Rendimiento de Pozos* en el cual la profundidad de los niveles están por el orden de los 30 m (figura 32).

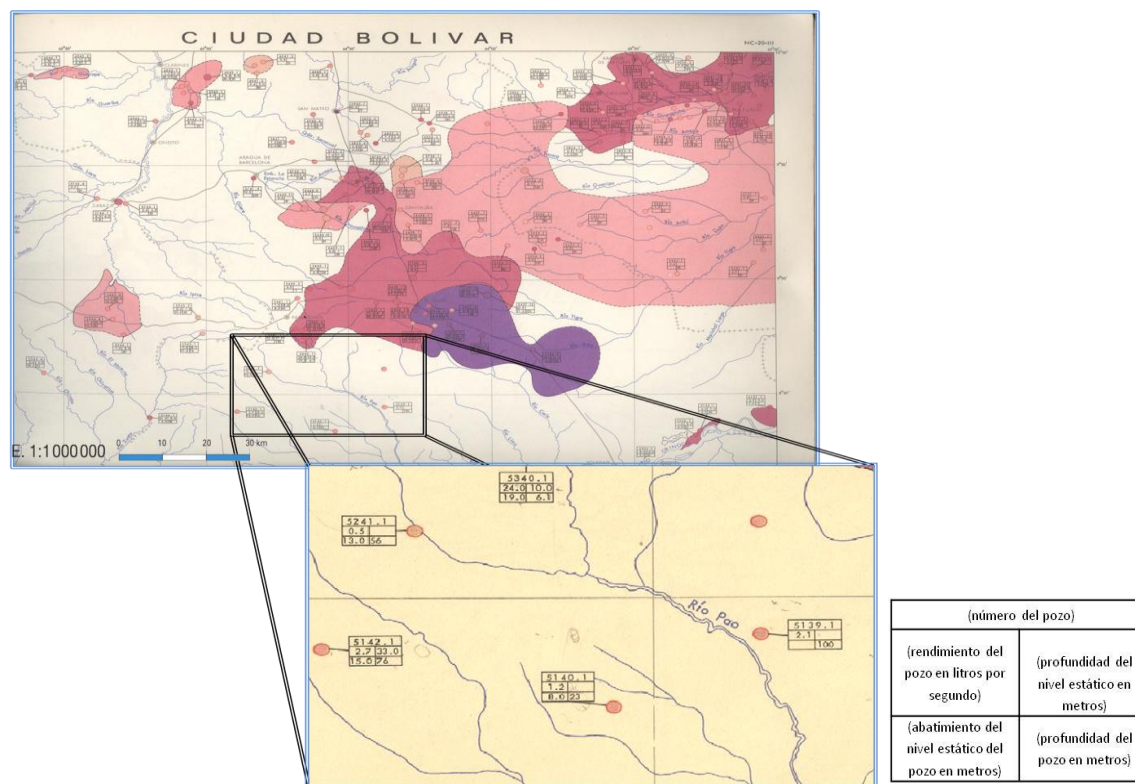


Figura 32. Muestra información de pozos existentes al este y oeste de la zona

Cabe destacar que con las mediciones de niveles en los pozos de Santa Clara y los datos obtenidos de los pozos al este y oeste del centro poblado, permiten inferir que existe una forma de ocurrencia similar de agua subterránea en el área de estudio; sin embargo, hay que tomar en cuenta que al no ser determinado las capas acuíferas en el sitio, se puede incurrir en errores en cuanto al número y profundidad de ellas. No obstante, las características de los pozos permiten establecer con cierto nivel de confianza que existen características acuíferas similares en el área de estudio.

6.6. Obras de captación

En el caso concreto de Santa Clara, los resultados obtenidos del levantamiento de información de campo, arrojaron que dentro de la poligonal urbana existen 6 pozos, de los cuales no se pudo obtener información en cuanto a su construcción, a 3 de ellos se le pudo medir el nivel estático, sin embargo, a dos de ellos no se pudo obtener información debido a

que se encontraban no operativos. Asimismo se les calculó el caudal mediante el método volumétrico a dos que estaban operativos (tabla 7). En la entrada antes de llegar al pueblo y en la salida se encontraron dos pozos, ambos no operativos.

De acuerdo con la información suministrada por la Ing. Yajaira Martínez, Coordinadora de Proyectos de la empresa HIDROCARIBE, los pozos dentro del pueblo tienen una profundidad de aproximadamente 100 m, pero esta información no pudo ser corroborada con mediciones y/ o documentos de construcción. Los aforos realizados a los pozos dieron como resultado menos de medio litro por segundo, (**< 0,5 lps**) lo que indica que el acuífero captado posee bajo rendimiento, por lo menos en esa zona.

Tabla 7. Datos de pozos obtenidos en campo y dato teórico

Pozos	Este	Norte	Nivel freático	Funcionamiento
El Bolivariano	322382.02	939934.71	37,67	Operativo
El Pilón 1	322482.47	939986.85	32,02	No operativo
El Pilón 2	322473.11	939785.87	21,28	Operativo
Pozo 4	322291.5	940221.10	***	No operativo
Sector Oripopo	319110.09	937725.77	***	No operativo
Pozo 6	322181.3	940650.6	4,7	No operativo
Pozo 7	322721	940059	22	***

6.7. Morfología piezométrica

La forma de las curvas piezométricas, muestra que existe en el área que abarca la poligonal urbana, un abatimiento importante, evidenciado por el estrechamiento entre las curvas piezométricas y aumento del gradiente hidráulico. Esto ocurre por la influencia ejercida por la cercanía entre los pozos productores, probablemente también a que en el área de Santa Clara esa capa acuífera posee una permeabilidad de media a baja. Al salir de la poligonal urbana el distanciamiento entre las curvas aumenta de manera gradual disminuyendo el gradiente hidráulico debido a que no existen pozos productores, sólo existe un pozo ubicado al sur del centro poblado pero no está operativo (Figura 33).

La dirección de flujo preferencial evidentemente es hacia el centro poblado, sin embargo, en el área externa a la poligonal urbana la dirección es desde el sur hacia el noroeste, la misma de los cursos de aguas cercanos a Santa Clara.

Este comportamiento de las curvas piezométrica indica que dentro de la poligonal urbana no es recomendable construir más pozos con condiciones similares a los existentes. No obstante, como no se ha podido evaluar las capas permeables ubicadas a mayores niveles de profundidad, es probable que si se construyen pozos que penetren aún más las secuencias sedimentarias del sector, los rendimientos puedan mejorar.

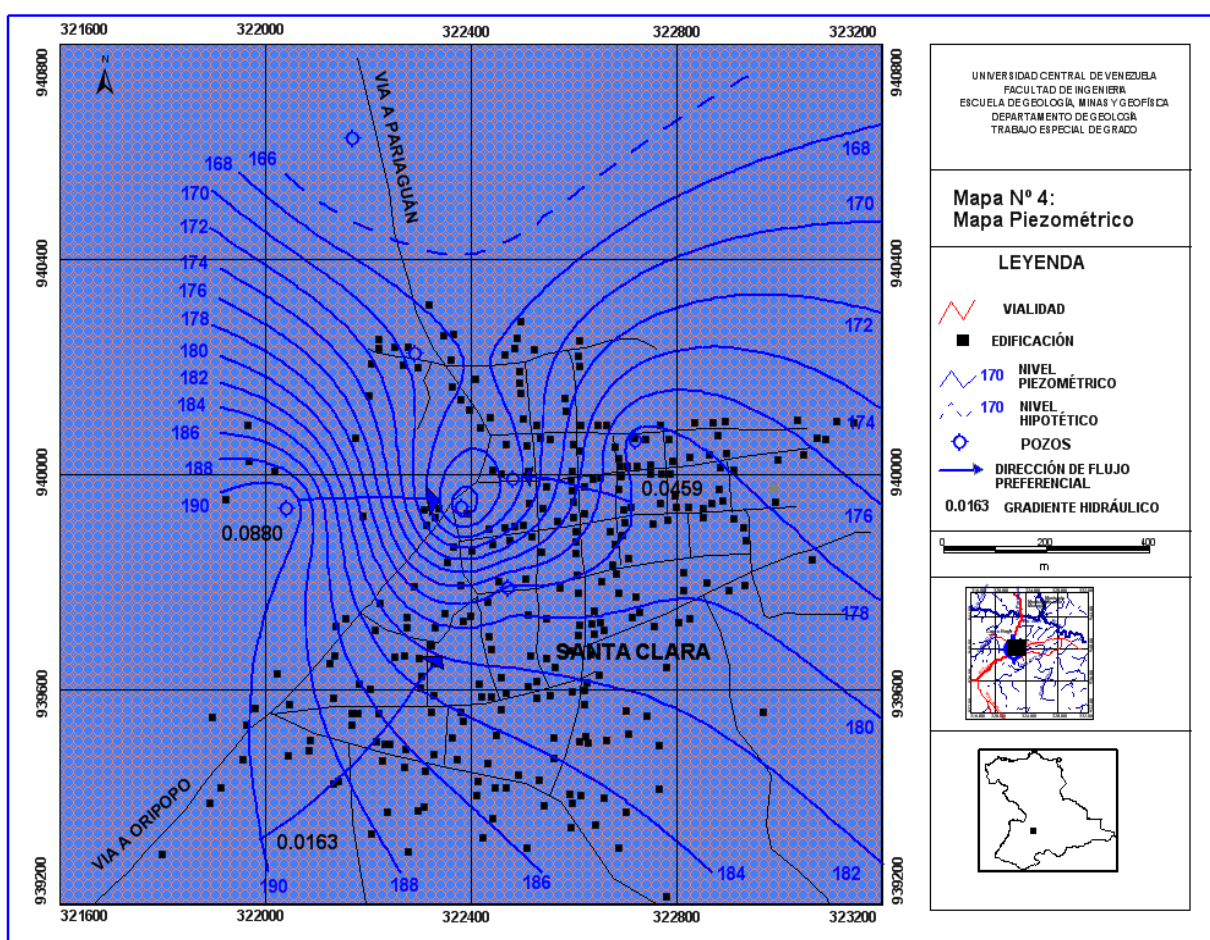


Figura 33. Mapa piezométrico

6.8. Dinámica de recarga

La recarga en los acuíferos se atribuye principalmente a la infiltración directa de las precipitaciones; sin embargo la alimentación de los acuíferos, directamente por infiltración de agua de lluvias, no ocurre en el sector de Santa Clara. Esta afirmación se basa en el balance hídrico realizado para el área de estudio, que dio como resultado de infiltración 8,65 mm de agua y ocurre sólo en el mes de agosto. Esta cantidad representa unos 454.990 m³, para el área de 52,6 km², en un año hidrológico (tabla 8).

Este resultado permite inferir que esta cantidad de agua infiltrada sólo alimenta principalmente las capas permeables localizadas en los primeros 10 metros de profundidad, La existencia de estas capas se puede evidenciar con el pozo n° 6 (tabla 7) cuyo nivel estático es de 4,7 m. Es muy probable que esta capa posea pocos metros de espesor y que no se aprovecha con los pozos profundos de abastecimiento, con base a dar cumplimiento de la norma de construcción de pozos para consumo humano, de captar las capas por debajo de 10 metros. Este intervalo de suelo cumple con el rol de sello sanitario.

La posibilidad de recarga que queda para los acuíferos de las adyacencias inmediatas de Santa Clara, son los aportes laterales y la infiltración desde los cursos de aguas permanentes más cercanos al centro poblado. Esto corresponde al agua subterránea que fluye desde otros acuíferos ubicados al norte del área de estudio, tomando en cuenta que la dirección de flujo subterráneo a nivel regional es en sentido sureste hacia el Río Orinoco.

A continuación se presenta el balance hídrico climático calculado:

Tabla 8. Cálculo del balance hídrico

Mes	PP	ETP	PP-ETP	Alma	ETR	Def.	Ecx.	Infilt.	Escor.
Ene	10.0	142	-132	0	10	132	0	0	0
Feb	8.4	155.7	-147.3	0	8.4	147.3	0	0	0
Mar	10.5	190	-179.5	0	10.5	179.5	0	0	0
Abr	31.9	180	-148.1	0	31.9	148.1	0	0	0
May	73.5	165.5	-92	0	73.5	92	0	0	0
Jun	159.8	132	27.8	27.8	132	0	0	0	0
Jul	175.4	138	37.4	37.4	138	0	0	0	0
Ago	172.8	140.7	32.1	14.8	140.7	0	17.3	8.65	8.65
Sep	114.9	143.1	-28.2	-28.2	143.1	0	0	0	0
Oct	96.3	136.1	-39.8	-39.8	136.1	0	0	0	0
Nov	46.1	126	-79.9	-12	58.1	67.9	0	0	0
Dic	25.6	125.2	-99.6	0	25.6	99.6	0	0	0
Total	925.2	1774.3			907.9	866.4	17.3	8.65	8.65

Fórmulas de control

$$\Sigma PP = \Sigma ETR + \Sigma Exc ;$$

$$\Sigma PP = 925.2; \Sigma ETR = 907.9; \Sigma Exc = 17.3$$

$$925.2 = 907.9 + 17.3; \quad 925.2 = 925.2$$

$$\Sigma ETP - \Sigma ETR = \Sigma Def:$$

$$\Sigma ETP = 1774.3; \Sigma ETR = 907.9; \Sigma Def = 866.4$$

$$1774.3 - 907.9 = 866.4 \quad ; \quad 866.4 = 866.4$$

Donde: PP: Precipitación
 ETR: Evapotranspiración real
 ETP: Evapotranspiración potencial

De acuerdo con los resultados del balance se obtiene:

La infiltración promedio anual calculada para el área de estudio corresponde a 8.65 mm año, por lo tanto, 8.65 mm es igual a 8.65 litros de agua por metros cuadrados.

En relación a la superficie del área evaluada, de 52.6 km² se tiene que:

52,6, km² es igual a 52.600 m² por lo tanto se puede calcular un promedio anual de precipitación en toda el área.

$$8,65 \text{ l} \times 52600000 \text{ m}^2 = 454990000 \text{ l/m}^2$$

Esto equivale a 454990 m³ anuales en promedio.

Para el área específica de la población de Santa Clara, se tiene:

El área de la poligonal del centro poblado abarca aproximadamente 1.5 km², por lo tanto de acuerdo con los resultados del balance hídrico, la cantidad de agua infiltrada que recarga al acuífero en esa superficie, será igual a:

$$8,65 \text{ l} \times 1500000 \text{ m}^2 = 12975000 \text{ l/m}^2$$

Esto representa un total de 12975 m³ anuales en promedio

Dentro de la poligonal urbana es donde se encuentran contruidos los pozos de abastecimiento, por lo tanto la cantidad de agua que está siendo aprovechada sólo cuenta con un poco más de 12975 m³ anuales para ser repuesta de manera directa por la lluvia, lo que evidentemente es una cantidad de agua insuficiente para dotar a la población durante un año en promedio. Para aprovechar los 454990 m³ tendría que ser construido una batería de pozos y ser distribuida en los 52,6 km², lo que resultaría en una inversión de recursos demasiado alta para el municipio José Gregorio Monagas, por lo que es necesario el aprovechamiento de acuíferos más productivos que optimicen la inversión de recursos.

El cálculo del balance hídrico muestra que la cantidad de agua que se infiltra de manera directa en promedio anual no es muy significativa en las áreas adyacentes a Santa Clara, de igual manera la escorrentía de los cursos de agua sólo se evidencia en la época de máxima precipitación, por lo que la infiltración por curso de agua también es reducida. Esto indica que una cantidad importante de agua contenida en las capas acuíferas de mayor profundidad en el área de estudio proviene de flujos subterráneos, desde acuíferos adyacentes, los cuales de acuerdo a la dirección de flujo regional del agua subterránea hacia el Río Orinoco constituye la recarga de mayor importancia.

A continuación, en la figura 34 se muestra gráficamente la variación mensual de la precipitación, evapotranspiración de las estaciones, obtenidas del balance hídrico. El déficit

que existe en la población está marcado por las curvas entre ETP y ETR. Si la curva de la PP se encuentra por encima de la curva ETR señala almacenamiento en Reserva + exceso. Cuando la curva ETR está por encima de PP, indica el uso del agua de la reserva del suelo. Se muestra un déficit para los meses de enero hasta junio y para octubre hasta diciembre y sólo existe almacenamiento entre los meses de junio – septiembre. Esto se vincula con las graficas anteriormente descritas, es de notar que existe poco almacenamiento para la zona con respecto a la precipitación.

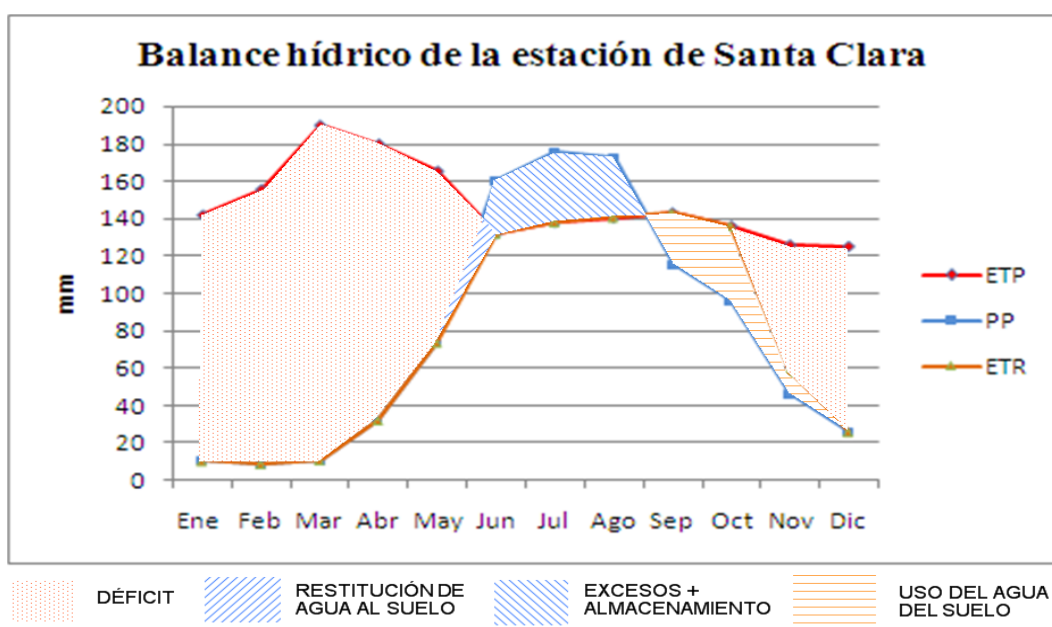


Figura 34. Gráfico del balance hídrico calculado para la zona de estudio

6.9. Dinámica hidrogeológica

De acuerdo con las investigaciones realizadas en campo, así como con la información bibliográfica consultada, es probable que existan dos (2) acuíferos, uno somero que se encuentra aproximadamente entre los 20 y 80 m de profundidad, perteneciente a la Formación Mesa; y otro cuya profundidad oscila entre 120 y 150 m correspondiente a la Formación Las Piedras.

La disminución del espesor en la Formación Mesa, se debe probablemente al acuífamiento que ocurre en dirección al sur, debido a que los sedimentos aluviales que provenían de la Cordillera Interior Central y Oriental se fueron reduciendo a medida que se fue depositando hacia ese sector. El pozo El Bolivariano (figura 35), tiene una profundidad aproximada de 100 m, con un caudal probablemente un poco mayor a los 0,5 lps ya que dicho pozo alimenta tanto al tanque elevado (figura 36) como a la población. Con una permeabilidad de media a baja, posiblemente conformada por una mezcla de arcilla y arena, esto permita explicar su bajo rendimiento. Se presume que dicho pozo esté captando el acuífero somero. Igualmente, el pozo Pílon 2 posiblemente esté captando el mismo acuífero, ya que tiene un rendimiento $<0,5$ lps.



Figura 35. Foto donde se observa la condición del pozo El Bolivariano



Figura 36. Tanque elevado. Ubicado en el sector Bolivariano.

Por su parte, el acuífero correspondiente a la Formación Las Piedras de sedimentación deltaica transgresiva, es probable que tenga un mayor rendimiento. Debido a su profundidad y a la falta de equipos, no fue posible evaluar dicha formación.

6.10. Proceso de recarga

Para el proceso de recarga es importante señalar dos aspectos importantes, como es la infiltración y la dirección del flujo. La infiltración se determinó en función de cálculos basados en los resultados del balance hídrico, el cual muestra que probablemente los 8,65 mm de infiltración calculada esté impactando sobre los primeros 10 m y adicionalmente exista una recarga lateral con sentido noreste que pueda permitir la acumulación de agua en el acuífero.

$$8,65 \text{ l} \times 1500000 \text{ m}^2 = 12975000 \text{ l/m}^2$$

Esto representa un total de 12975 m³ anuales en promedio

En atención a los 2 pozos en funcionamiento, cuya distancia entre ellos es de aproximadamente 150 m, se observa a través del mapa piezométrico que debido a la cercanía entre ellos, puede existir una interferencia, debido a que el cono de influencia de un pozo está afectando al pozo vecino. Es importante señalar que también se debe tomar en

cuenta las condiciones hidrogeológicas, ya que la permeabilidad en el sector de media a baja y permite que el gradiente hidráulico sea creciente hacia la zona, por lo que es posible que éste sea otro factor que actualmente se tenga un bajo rendimiento en los pozos de la población, que a su vez no permita diseñar nuevas obras de captaciones en el centro poblado de Santa Clara.

Con respecto a los pozos que no se encuentran operativos, vale señalar que el pozo n° 6 presenta una profundidad del nivel freático de 4,7 m debido a que está captando a la capa acuífera más superficial. Dicha obra de captación no puede ser aprovechada ya que por normas de sanidad en cuanto a pozos destinados a abastecimiento humano, no está permitido extraer agua en pozos con profundidades entre los primeros 10 a 15 m de profundidad. Esto debido a que se ha establecido que no pueden ser construidos pozos que estén cercanos a la superficie como consecuencia de ser más susceptibles frente a los procesos de contaminación; además que en el proceso de diseño de pozos estos primeros metros de profundidad están destinados como sello sanitario natural que no permita la interferencia con la captación del agua y evitar la contaminación.

Por otro lado, el pozo ubicado en Oripopo está aproximadamente unos 3,5 km de la zona de estudio, éste pertenecía a una comunidad que se dedicaba a la cría de ganado porcino, no obstante, fue abandonada, tanto el pozo como las actividades ahí realizada, encontrándose la misma con una vegetación tupida de maleza, por ende no fue posible la entrada para la toma de datos (figura 37). Sin embargo, según información verbal del Dr. Hervet Jegat, quien realizó estudio en la zona, dicho pozo presentaba un rendimiento de 8,0 lps, información que no pudo ser corroborada.



Figura 37. Pozo sellado ubicado en el sector Oripopo

6.11. Abastecimiento de agua para la población de Santa Clara

Una vez obtenida la información en campo tanto del aspecto físico geográfico como los socio – económicos, se pudo determinar el requerimiento de agua para la población residente. Para ello fueron tomados en cuenta los siguientes aspectos: población, requerimiento de agua para la población, cantidad de agua que tiene la población la disponibilidad y calidad del agua.

Para determinar el consumo medio de agua de la población, se tomaron las cifras obtenidas por el I.N.E. en el año 2001, asimismo se tomó en consideración la dotación según datos obtenidos de la empresa HIDROCARIBE, la cual consta de 200 lps. Según esta cifra, el consumo de agua potable que actualmente la población de Santa Clara necesitaría de 5,76 lps.

6.12. Población residente

Según datos obtenidos del INE (2001) la proyección poblacional para el 2012 para Santa Clara es de aproximadamente 2.502 habitantes, es de resaltar que se está utilizando ésta información debido a que no se dispone de una más actualizada del nomenclador de centros poblados del censo realizado para el presente año. Asimismo atendiendo a los datos

suministrados por la empresa HIDROCARIBE, la población requiere una dotación de agua potable de 200 lps. Adicionalmente, según el INE (2001) la población tiene un crecimiento poblacional del 2,10% lo que refleja un crecimiento aproximado de 53 personas, esto conlleva que el consumo de agua podría incrementarse según los cálculos siguientes en:

$$53 \times 200 \text{ lps} \times 365 = 3869000 \text{ l/año}$$

$$\text{Equivale a } 3869 \text{ m}^3 *$$

*Se recomienda realizar estos cálculos tomando en cuenta resultados del censo 2012, ya que para el presente trabajo no se disponía del nomenclador de centros poblados actualizado.

6.13. Requerimiento de agua para la población

Conforme al artículo 40 de la Ley Orgánica para la Prestación de los Servicios de Agua Potable y de Saneamiento según Gaceta Oficial N° 5568 (2001), en el capítulo 2 dicha gaceta se señala que para los acueductos rurales, los servicios de agua potable y/o saneamiento deben atender un mínimo de doscientos (200) y un máximo de dos mil quinientos (2.500) habitantes, intervalo en el cual se encuentra la población de Santa Clara. Igualmente, información considerada por HIDROCARIBE, la población requiere una dotación de 200 l/p/d para el abastecimiento de agua en comunidades rurales.

Para determinar el consumo medio de la población se tomó el valor aportado por el INE (2001) para una población aproximada de 2.502 habitantes, obteniéndose los siguientes resultados:

$$200 \text{ lps} \times 2.502 \times 365 \text{ año} = 182646000 \text{ l/año}$$

$$\text{Equivale a } 182646 \text{ m}^3 *$$

Promedio anual que requiere la población

*Se recomienda realizar estos cálculos tomando en cuenta resultados del censo 2012, ya que para el presente trabajo no se disponía del nomenclador de centros poblados actualizado.

En ese sentido para una población cuyo crecimiento es de 2.10% se tiene que

$$41 \times 200 \text{ lps} \times 365 = 2993000 \text{ l/año}$$

*Lo que equivale a 2993 m³ **

*Se recomienda realizar estos cálculos tomando en cuenta resultados del censo 2012, ya que para el presente trabajo no se disponía del nomenclador de centros poblados actualizado.

Significa que se requiere de un aumento anual del recurso de 2993 m³ para un 2,10% de crecimiento anual de la población, esto extrapolado para los años sucesivos. Por lo tanto, para el abatecimiento de agua hay que tomarla en función de la población actual más el porcentaje de crecimiento poblacional anual.

6.14. Cantidad de agua que dispone la población

Actualmente la población de Santa Clara tiene dos pozos en funcionamiento, con un rendimiento aproximado de 0,5 lps cada uno y una extracción de 12 h/d, lo cual representa con un consumo anual de:

$$(1 \text{ lps} \times 86400 \text{ s} \times 365)/2 = 15768000 \text{ l/años}$$

Lo que equivale a un promedio anual de 15768 m³

En ese sentido. Se puede señalar que esta cantidad de agua abastece a las comunidades de El Centro y El Bolivariano, lo que significa de un 50 a 60% aproximadamente de la población. Para el diseño de nuevas obras de captación hay que garantizar que el restante 40% de la población pueda ser abastecida.

6.15. Disponibilidad anual de agua

La localidad de Santa Clara presenta dos fuentes de abastecimiento. La primera que consta de los morichales Mapirito y Coporo ambos recargados por flujos de agua subterránea.

Actualmente no se conoce el caudal que se extrae de los morichales hacia el estanque elevado, así como el caudal de dicho estanque y cuantos habitantes se abastecen del mismo.

La segunda fuente de abastecimiento de agua proviene de los pozos existentes en el centro poblado, de los cuales sólo dos están en funcionamiento y cuyo caudal como fue señalado es de 0,5 lps para cada uno; sin embargo, es posible que del pozo El Bolivariano se obtenga mayor caudal debido a que cuando se tomaron los datos, la bomba se encontraba en funcionamiento y es conocido que dicho pozo también alimenta al estanque elevado.

Si se activaran los pozos que no están en funcionamiento, bombeando a una relación similar a los pozos que se encuentran activos por 12 h y construyendo otro tanque de abastecimiento, es posible que se obtenga un caudal de 1,0 lps lo que en años representaría lo siguiente:

$$15768000 \text{ l/año el cual equivale a } 15768 \text{ m}^3$$

De 2502 habitantes que actualmente viven en Santa Clara, aproximadamente el 60% están abastecidos de manera directa. Por lo que el 40% restante que no está siendo abastecida representan aproximadamente 1000 habitantes lo que de acuerdo a los siguientes cálculos representa:

$$200 \text{ lps} \times 1000 \times 365 = 73000000 \text{ l/año}$$

$$\text{Equivalente a } 73000 \text{ m}^3*$$

*Se recomienda realizar estos cálculos tomando en cuenta resultados del censo 2012, ya que para el presente trabajo no se disponía del nomenclador de centros poblados actualizado.

Con la activación de los 2 pozos se tiene 15768 m³ y el 40% de la población restante requiere de 73.000 m³, lo que significa que existe un déficit para su abastecimiento de 57.232 m³ anual. Entonces;

$$\frac{73000 \text{ l}}{365} = 200 \text{ l/día}$$

Esto significa que para lograr abastecer al 100% de la población se necesita extraer de los pozos un caudal de 200 l/d.

6.16. Calidad del agua de los pozos estudiados

En el caso del centro poblado Santa Clara, durante el levantamiento de la información de campo, se contó con una sonda multiparmétrica que sólo mide conductividad, sólidos disueltos totales (SDT) y temperatura. Si bien no son parámetros suficientes para caracterizar el agua de los pozos, permite tener una clasificación inicial del tipo de agua de acuerdo con su SDT y conductividad. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla 9:

Tabla 9. Parámetros obtenidos de los pozos de Santa Clara.

Pozos	Temperatura °C	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	Sólidos disueltos totales (mg/L)
El Bolivariano	32,3	90	63
El Pilón 1	*	*	*
El Pilón 2	32,1	35,1	24, 57
Pozo 4	*	*	*
Pozo 5	29,0	70	49
Pozo 6	*	*	*

* No se midió, ya que no se pudo introducir el sensor en el pozo.

El Decreto 883, (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) indica que tanto las aguas Tipo 1A y Tipo 1B no deben exceder 1500 mg/L sólidos disueltos totales (SDT), por lo que de acuerdo con los valores medidos para este parámetro, las aguas en consideración caen dentro de la clasificación de aguas dulces Tipos 1A y 1B (tabla 10).

Cabe destacar que los análisis de laboratorio escapan al alcance de esta investigación, pero en trabajos realizados por la empresa Inversiones y Construcciones por HIDROCARIBE, quienes estudiaron las muestras de agua, provenientes de dos de los pozos del centro poblado, arrojaron los siguientes resultados mostrados en la tabla 10.

Los resultados indican que la mayor parte de los parámetros están dentro de los intervalos permitidos en el Decreto 883, (Gaceta Oficial N° 5021, 1995) para aguas tipo 1A, excepto

para la concentración de hierro cadmio y coliformes que entran en el rango de aguas tipo 1B.

Tabla 10. Parámetros excedidos para aguas tipo 1A y tipo B. (Fernández y Di Domenico, 2010).

Fuente	Fecha de captación	Parámetros					
		Cadmio		Hierro		Coliformes totales (NMP/100 ml)	
		Valor obtenido (mg/L)	Límites menor o igual	Valor obtenido (mg/L)	Límites	Valor obtenido (mg/L)	Límites
Pilón N° 1	23/04/2009	0,024	0,01	1,00	1,00	20	< 2,000
Pilón N° 2	29/05/2009	0,004	0,01	0,18	1,00	20	< 2,000

Asimismo los resultados presentados en la tabla 10 anterior muestran que sólo el pozo Pilón 1 se excede el límite elemento permitido por el Decreto 883 (Gaceta Oficial N° 5021,1995) para el cadmio; sin embargo, aún cuando el exceso no es significativo, puede ser difícil su eliminación con procesos de potabilización convencional. En general el agua de los pozos del área de estudio está dentro de la clasificación de agua potable pero debe ser tratada antes de llegar a entrar en contacto con la población. Con respecto al cadmio, es importante señalar la situación presentada en el pozo Pilón 1. Se requiere analizar un mayor número de muestra para verificar la presencia o no de este elemento.

6.17. Exploración geofísica

Tal como fue indicado con anterioridad, el proceso de exploración geofísica se llevó a cabo implementando en método de Schlumberger en los sectores Vía Oripopo y principal vía de acceso hacia la población.

Procesamiento de datos

Sector 1. Santa Clara – vía Oripopo

En el sector Santa Clara – Oripopo se realizaron tres (03) SEVs (figura 19), con un tendido de aproximadamente 100 m, permitiendo cubrir el sector en estudio. Los resultados obtenidos determinaron tres (03) unidades geoeléctricas a saber: A, B y C con una profundidad aproximada de 14 m. En las tablas 11, 12 y 13 se presentan los resultados de los sondeos 01, 02 y 03, aplicados en el sector considerado.

El SEV 01 (figura 38) penetró hasta una profundidad de 13,47, mientras que el SEV 02 (figura 39) fue hasta 26,37 m y el SEV 03 (figura 40) logró penetrar hasta 31,79 m. Con un error que varía entre el 8 y 12%. Es probable que debido a que las rocas que presenta el sector son muy resistivas, permitió alcanzar una mayor penetración de la corriente en el terreno. Seguidamente, en las tablas 11, 12 y 13 se representan los resultados obtenidos para cada sondeo realizado.

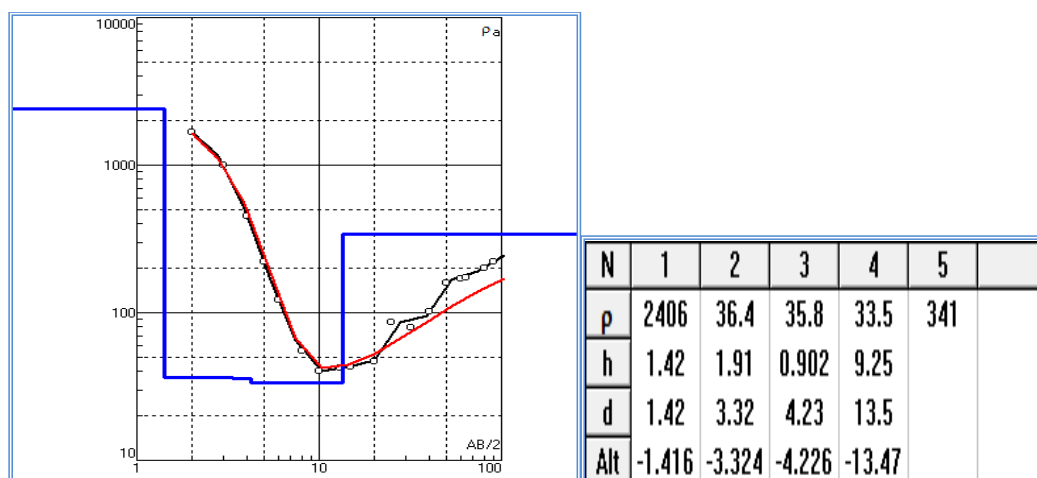


Figura 38. Curva del sondeo eléctrico vertical - 01

Tabla 11. Tabla interpretada del SEV 01, sector Santa Clara - vía Oripopo.

Unidad Geoelectrica	Resistividad ($\Omega.m$)	Espesor (m)	Profundidad de Investig. (m)	Unidad Litológica	Condiciones Acuíferas
A	2406	1,42	1,41	arenas muy compactas	
B	36.4	1,91	3,32	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas
C	35.8	0,902	4,22	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas
D	33.5	9,25	>13,47	arcillas finas arenosas	?

La profundidad de investigación del estudio alcanzó aproximadamente de 14 m.

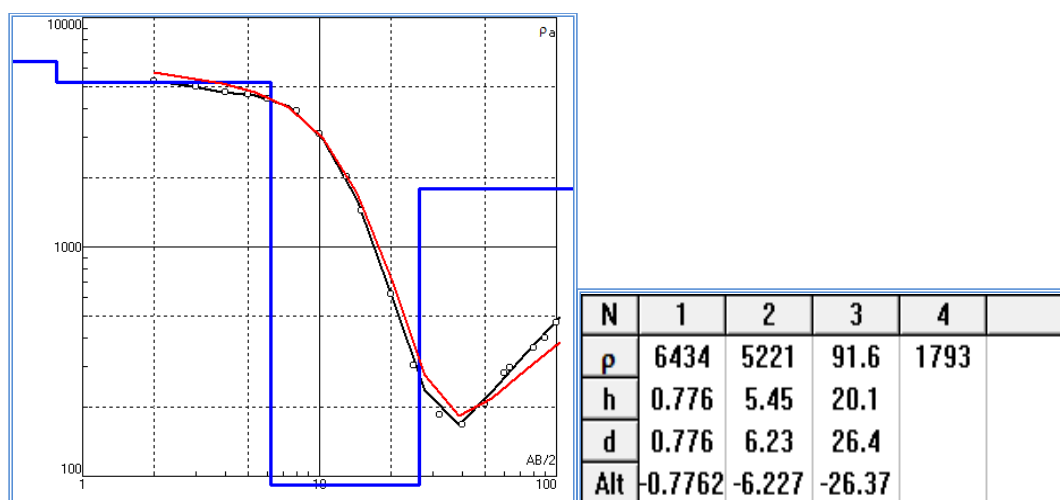


Figura 39. Curva del sondeo eléctrico vertical - 02

Tabla 12. Tabla interpretada del SEV 02, Sector Santa Clara - vía Oripopo.

Unidad Geoelectrica	Resistividad ($\Omega.m$)	Espesor (m)	Profundidad de Investig. (m)	Unidad Litológica	Condiciones Acuíferas
A	6343	0,776	0,77	arenas muy compactas	
B	5221	5,45	6,22	arenas muy compactas	
C	91.6	20,1	>26,37	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas

La profundidad de investigación del estudio alcanzó aproximadamente unos 26 m.

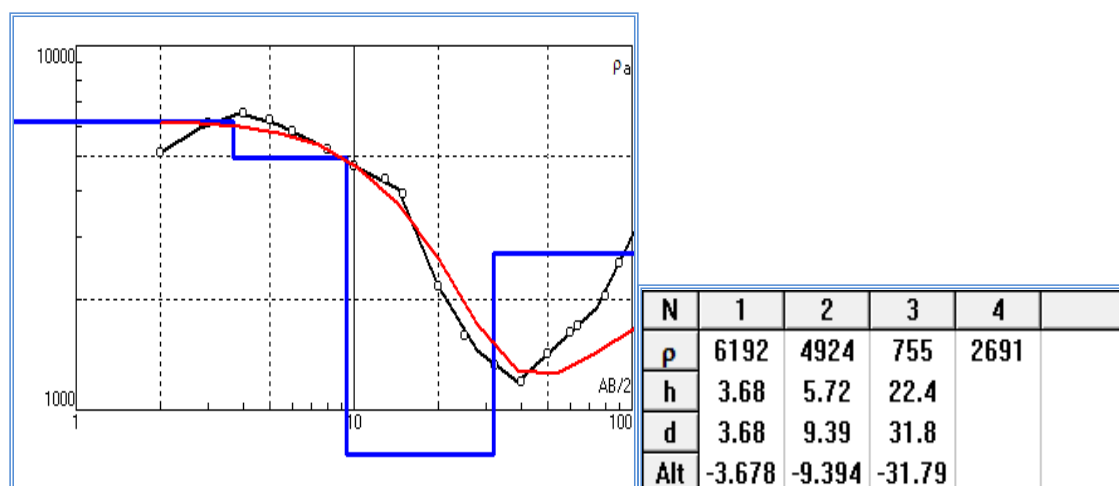


Figura 40. Curva del sondeo eléctrico vertical – 03

Tabla 13. Tabla interpretada del SEV 03, sector Santa Clara - vía Oripopo.

Unidad Geoelectrica	Resistividad ($\Omega.m$)	Espesor (m)	Profundidad de Investig. (m)	Unidad Litológica	Condiciones Acuíferas
A	6192	3,68	3,7	arenas muy compactas	
B	4924	5,72	9,39	arenas muy compactas	
C	755	22,4	> 31,79	arenas finas arcillosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas

La profundidad de investigación del estudio alcanzó aproximadamente unos 31 m.

A partir de ello, se lograron identificar 03 unidades geoelectricas A, B y C, de la cual la unidad (C), desde el punto de vista hidrogeológico, se consideró la más importante, debido a que se encuentra ubicada en los tres sondeos y a las características geológicas de dicha unidad; además y quizás considerado como el factor más importante, los intervalos de resistividad obtenidos que varían en el orden de 35,5 y 75532,1 $\Omega.m$, representado por capas de limo arcillosos con arenas de granos medios, características que soportan las probabilidades para la acumulación de aguas subterráneas (tabla 14).

Tabla 14. Correlación de unidades geoelectricas SEVs 1, 2 y 3. (Sector Santa Clara – Vía Oripopo).

Unidad Geoelectrica	Resistividad ($\Omega.m$)	Espesor Prom. (m)	Estimación Litológica
A	2406 - 6343	2,00	Arenas muy compactas
B	36,4 - 5221	4,36	Arenas con arcillas muy compactas
C	35.5 - 755	14,5	Arcillas finas arenosas
D	33.5 – 9.25	9,25	Arcillas finas arenosas

Con las correlaciones anteriormente realizadas de los SEV 01, 02, y 03 realizados en el sector, se elaboró el siguiente perfil geoelectrico para el sector 1, esto con el propósito de generar un perfil de resistividad del subsuelo. Los SEV presentan una orientación en sentido noroeste – sureste, donde la mayor profundidad fue la obtenida por el SEV 03. En

el mismo orden de ideas se muestra en la figura 41 el modelo geoelectrico del sector mencionado.

NO

SE

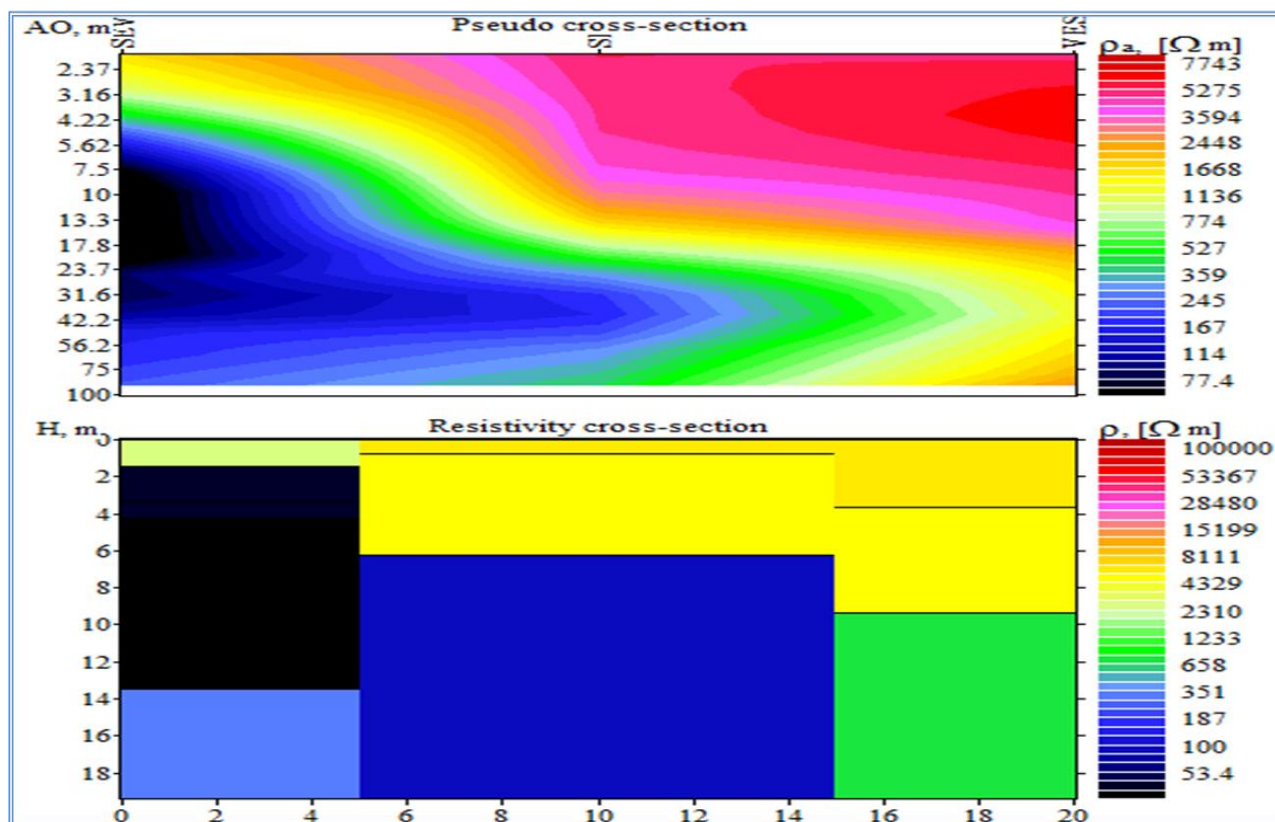


Figura 41. Perfil geoelectrico de los SEV 01, 02 y 03.

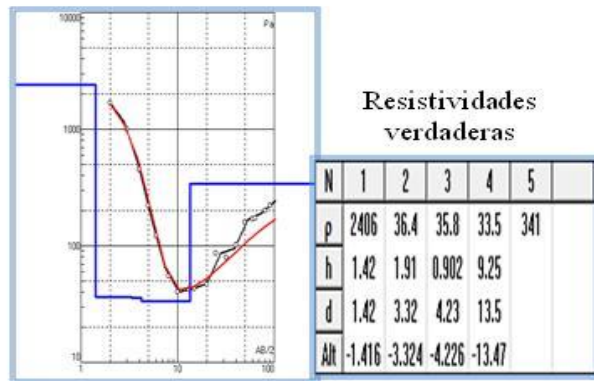
En el perfil presentado en la figura 41 se logró identificar la presencia de dos secciones, la primera representa una pseudo sección areal de la zona, mientras que la segunda, muestra el modelo vertical. En el sector 1 se observa que los primeros metros está constituido por rocas muy resitivas de grano fino a medio representadas por arenas y gravas con espesor de aproximadamente de 10 m. Seguidamente, se identifican rocas con baja resitividad, lo que indica una alta conductividad.

Hacia la parte noroeste se observa un embaulamiento, donde probablemente exista acumulación de aguas subterráneas constituida posiblemente por considerables espesores

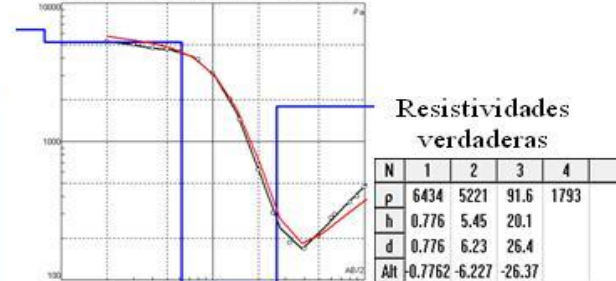
de arcillas. La figura 42 presenta de manera resumida el modelo de interpretación para el corte mostrado, denominado como perfil de correlación A – A`.

Perfil de correlación A-A'
Sector Santa Clara vía Oripopo. Municipio José Gregorio Monagas. Estado Anzoátegui.

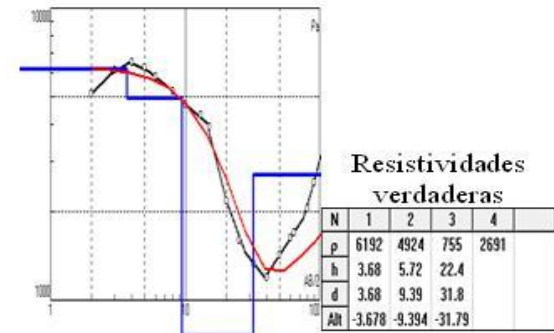
Curva de campo y teórica



Curva de campo y teórica



Curva de campo y teórica



NO

SE

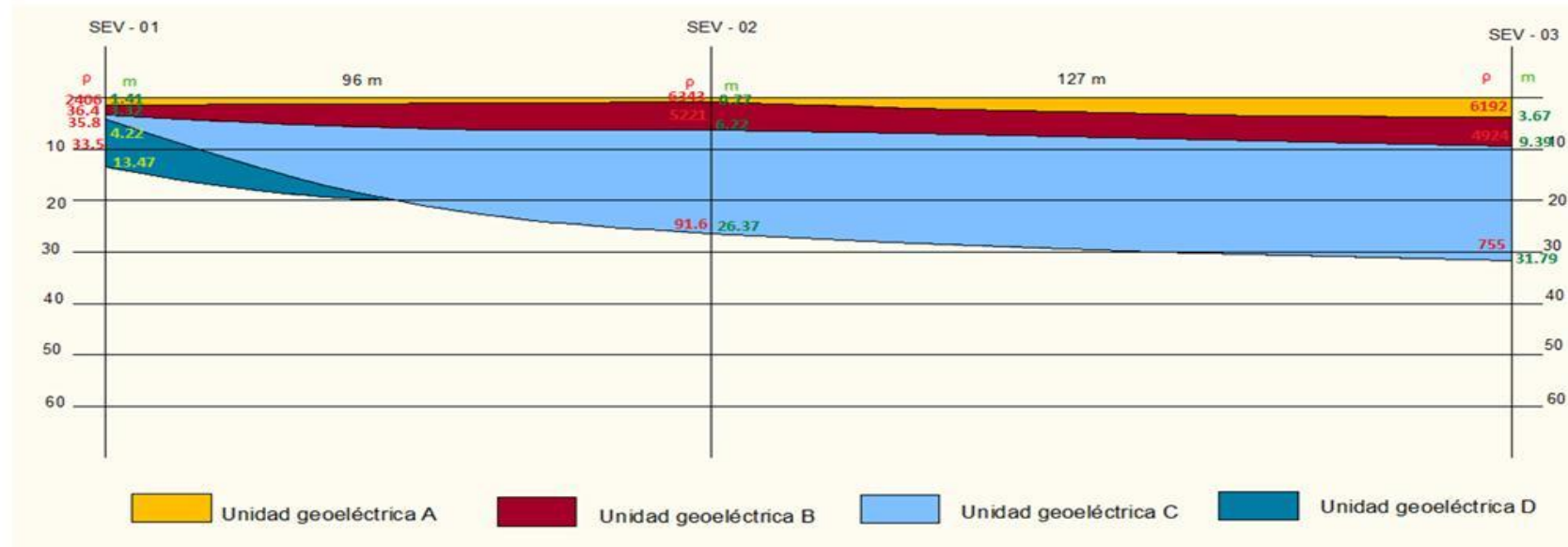


Figura 42. Perfil de correlación A-A'

Seguidamente son descritas las diversas unidades geoeléctricas identificadas para el sector vía Oripopo

Unidad geoeléctrica (A)

La unidad geoeléctrica (A) es la que se encuentra próxima a la superficie, con un espesor máximo de 3,68 m en el SEV 03; mientras que en el SEV 01, el espesor es de 1,42 m. Presenta intervalos de altas resistividades en el orden de 2490 – 5870 Ω .m, la cual está representada por capas de arenas de grano grueso ferruginosas, compactas y muy duras de color rojizo a casi negro, sin posibilidad de acumulación de aguas subterráneas.

Unidad geoeléctrica (B)

Infrayacente a la unidad geoeléctrica (A) y suprayacente a la unidad geoeléctrica (C). Presenta resistividades entre 36,4 – 5221 Ω .m. En el SEV 03 se encuentra a partir de los 3,67 m con un espesor promedio de 4,36 m, representada por capas o lentes de arcillas finas arenosas, de color blanco amarillentas, continuas y locales, con poca acumulación de aguas subterráneas.

Unidad geoeléctrica (C)

Infrayacente a la unidad B, a partir de los 9,39 m en el SEV 03, por arenas finas arcillosas con resistividades del orden de 36,5 Ω .m, con un espesor promedio de 14,5 m, con posibilidades de acumulación de aguas subterráneas, representadas por capas de arcillas arenosas, de color blanco amarillentas.

Unidad geoeléctrica (D)

Infrayacente a la unidad C, a partir de los 13,47 m en el SEV 01, por arenas finas arcillosas con resistividades del orden de 33,5 Ω .m, con un espesor promedio mayor a 9,25 m, representadas por capas de arcillas arenosas con posibilidades de acumulación de aguas subterráneas,

Es importante resaltar que esta secuencia de sedimentos está representada por depósitos torrenciales y aluvionales, contemporáneos con un levantamiento de la serranía del interior (González de Juana et al., 1980).

Como fue mencionado anteriormente, los intervalos de resistividades variaron entre 33,5 y 755 $\Omega.m$ lo que representa alta conductividad para la unidad C presentada en capas de arcillas finas arenosas. Los presentes datos fueron correlacionados con los tipos litológicos presentes en la zona, obteniéndose un modelo de la sección estratigráfica del subsuelo (figura 43)

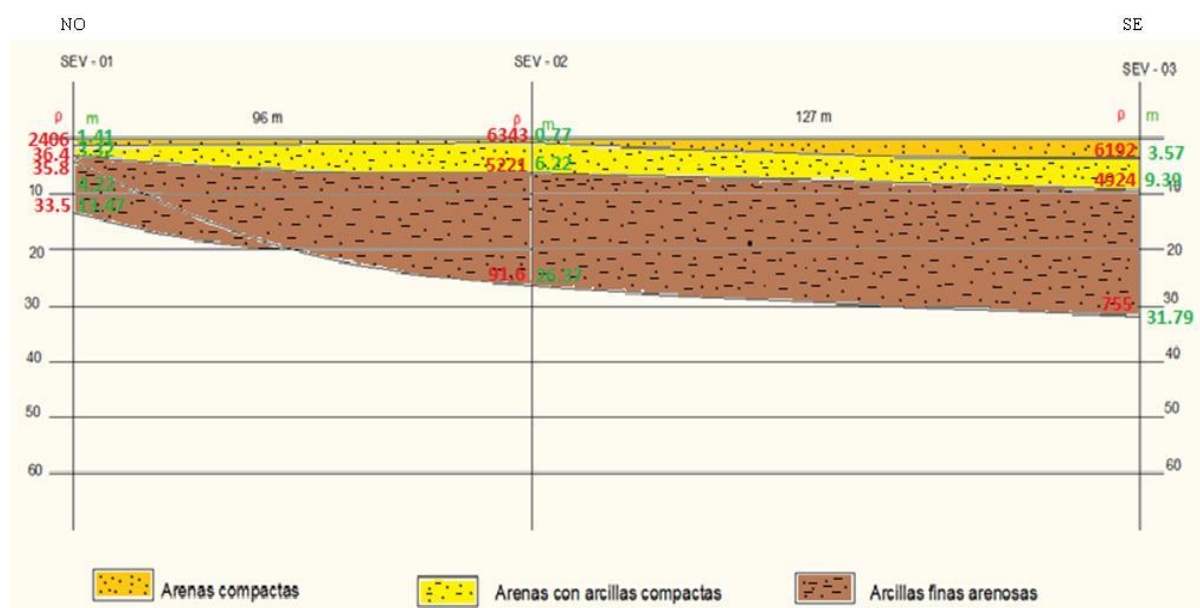


Figura 43. Muestra la estratigráfica del sector Santa Clara vía Oripopo

Sector 2. Sector Santa Clara, principal vía de acceso hacia la población.

Al igual que en el sector anterior vía Oripopo, se realizaron tres (03) SEVs, con un distanciamiento de 100 m cada uno, con la finalidad de cubrir la mayor área de estudio y establecer los perfiles de correlación geoelectrica en el sector y así observar la continuidad entre los espesores de dichas unidades. Se logró determinar cinco (05) unidades geoelectricas, A, B, C, D y E hasta una profundidad de aproximadamente 68 m. El SEV 04, (figura 44), penetró hasta una profundidad de 34,35 m, el SEV 05 (figura 45), con una profundidad de 67,2 m y el SEV 06 (figura 46) hasta 38,6 m con un error que oscila entre los 8 y 22%. Igualmente, no se logró mayor penetración de la corriente posiblemente debido a que las rocas que presenta el terreno son muy resistivas (tablas 15, 16 y 17).

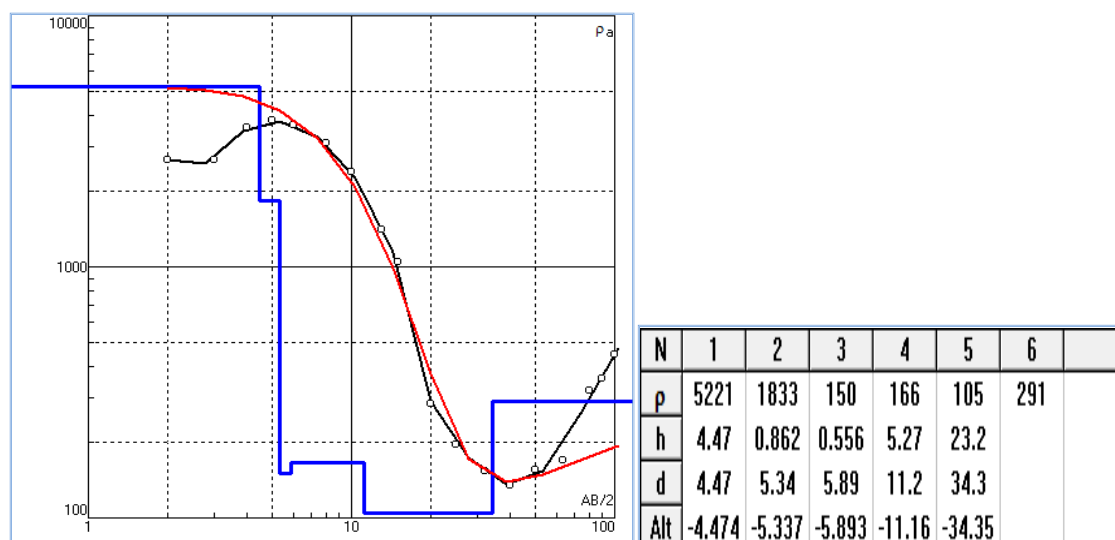


Figura 44. Curva del sondeo eléctrico vertical - 04

Tabla 15. Tabla interpretada del SEV 04, sector Santa Clara, principal vía de acceso hacia la población

Unidad Geoelectrica	Resistividad ($\Omega.m$)	Espesor (m)	Profundidad de Investig. (m)	Unidad Litológica	Condiciones Acuíferas
A	5221	4,47	4,47	arenas muy compactas	
B	1833	0,86	5,33	arenas compactas y gravas	
C	150	0,55	5,89	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas
D	166	5,27	11,16	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas
E	105	23,2	34,35	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas

La profundidad de investigación del estudio alcanzó aproximadamente los 35 m.

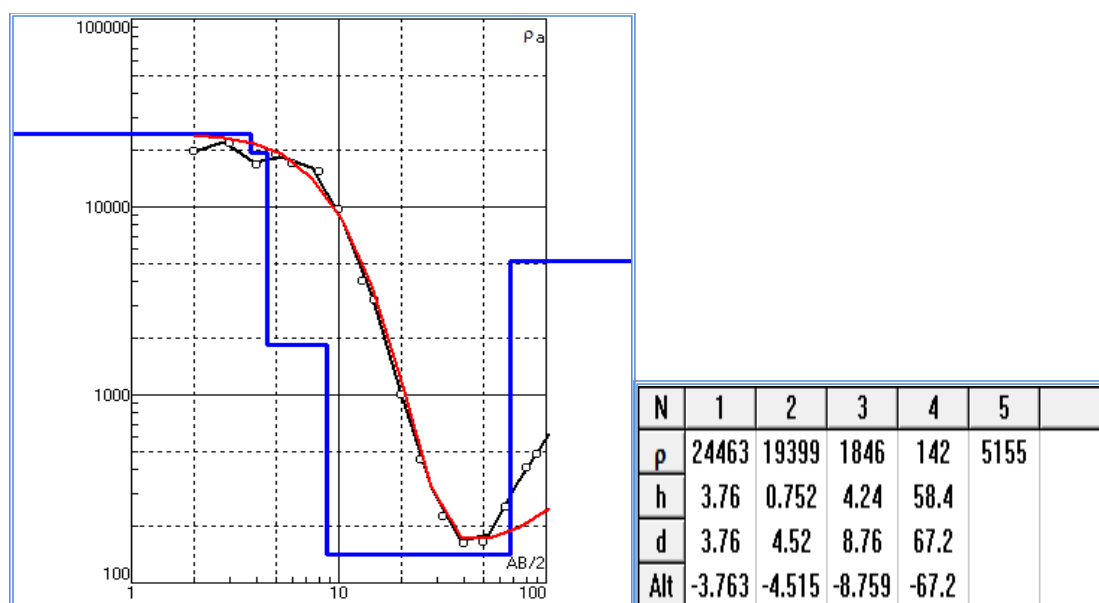


Figura 45. Curva del sondeo eléctrico vertical - 05

Tabla 16. Tabla interpretada del SEV 05, sector Santa Clara, principal vía de acceso hacia la población

Unidad Geoelectrica	Resistividad ($\Omega.m$)	Espesor (m)	Profundidad de Investig. (m)	Unidad Litológica	Condiciones Acuíferas
A	24463	3,76	3,76	gravas arenosas muy compactas	
B	19399	0,75	4,51	gravas arenosas muy compactas	
C	1846	4,24	8,75	arenas compactas y gravas	
D	142	58,4	67,2	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas

La profundidad de investigación del estudio alcanzó aproximadamente los 67 m.

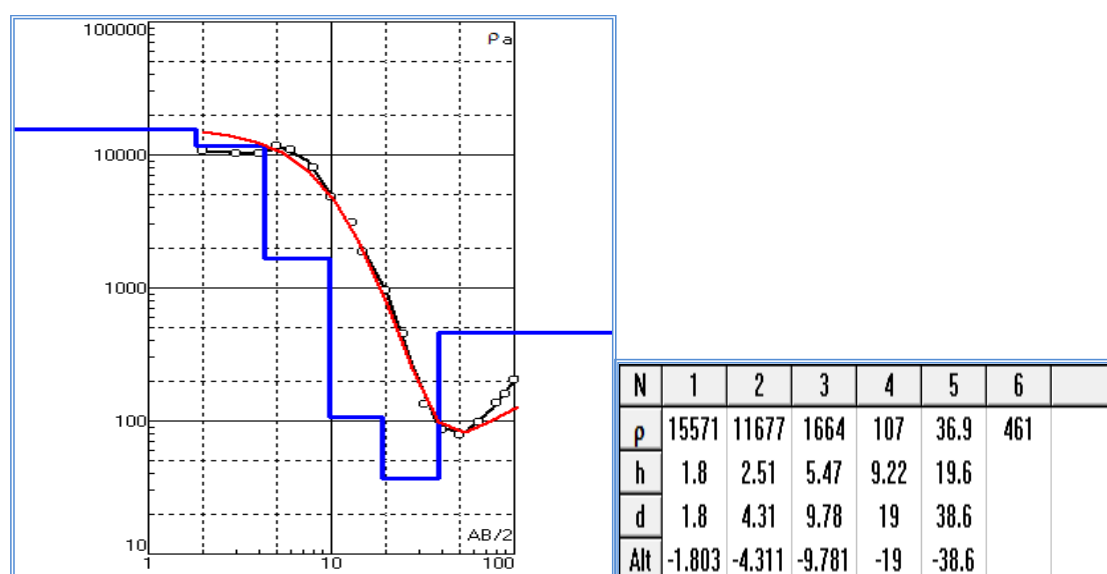


Figura 46. Curva del sondeo eléctrico vertical - 06

Tabla 17. Tabla interpretada del SEV 06, sector Santa Clara, principal vía de acceso hacia la población

Unidad Geoelectrica	Resistividad ($\Omega.m$)	Espesor (m)	Profundidad de Investig. (m)	Unidad Litológica	Condiciones Acuíferas
A	15571	1,8	1,80	gravas arenosas muy compactas	
B	11677	2,51	4,31	gravas arenosas muy compactas	
C	1664	5,47	9,78	arenas compactas y gravas	
D	107	9,22	19	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas.
E	36.9	19,6	> 38,6	arcillas finas arenosas	Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas.

La profundidad de investigación del estudio alcanzó aproximadamente los 39 m.

Se identificaron cinco (05) unidades geoelectrica, a saber: A, B, C, D y E (Tabla 18).

Debe resaltarse que la unidad C, es considerada la más importante desde el punto de

vista hidrogeológico, ya que la misma fue identificada los cinco sondeos, con un intervalo de resistividad en el orden de 36,9 y 150 Ω .m esto se corresponde con las capas de arenas de granos medios y limo arcillosos con buenas probabilidades para la acumulación de las aguas subterráneas.

Tabla nº 18. Correlación de las unidades geoeléctricas de los SEVs 4, 5 y 6. (Principal acceso hacia la población de Santa Clara).

Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ω.m)	Espesor Prom. (m)	Estimación Litológica
A	5221 - 15571	3,34	Gravas y arenas muy compactas
B	1833 -19399	1,37	Arenas compactas y gravas
C	1846 - 150	3,42	Arcillas finas y arenosas
D	107 - 166	24,30	Arcillas finas y arenosas
E	36,9 – 105	21,4	Arcillas finas y arenosas

Los resultados obtenidos de los SEVs, muestran que la corriente no puede penetrar a una profundidad mayor de 25 m, debido a la alta resistividad que presentan las rocas. Los rangos de resistividades oscilan entre los 36,9 y 166 Ω .m, lo que apunta hacia la probable acumulación de las aguas subterráneas en la unidad B.

A partir e los SEV 04, 05 y 06 relizados en el sector 2 se elaboró el correspondiente perfil geoeléctrico del subsuelo en el sector 2 constituido por los SEV 04, 05 y 06 presenta una orientación noreste – suroeste con. En la figura 47, el modelo geoeléctrico del sector, donde la mayor profundidad de penetración fue observada en el sondeo 05.

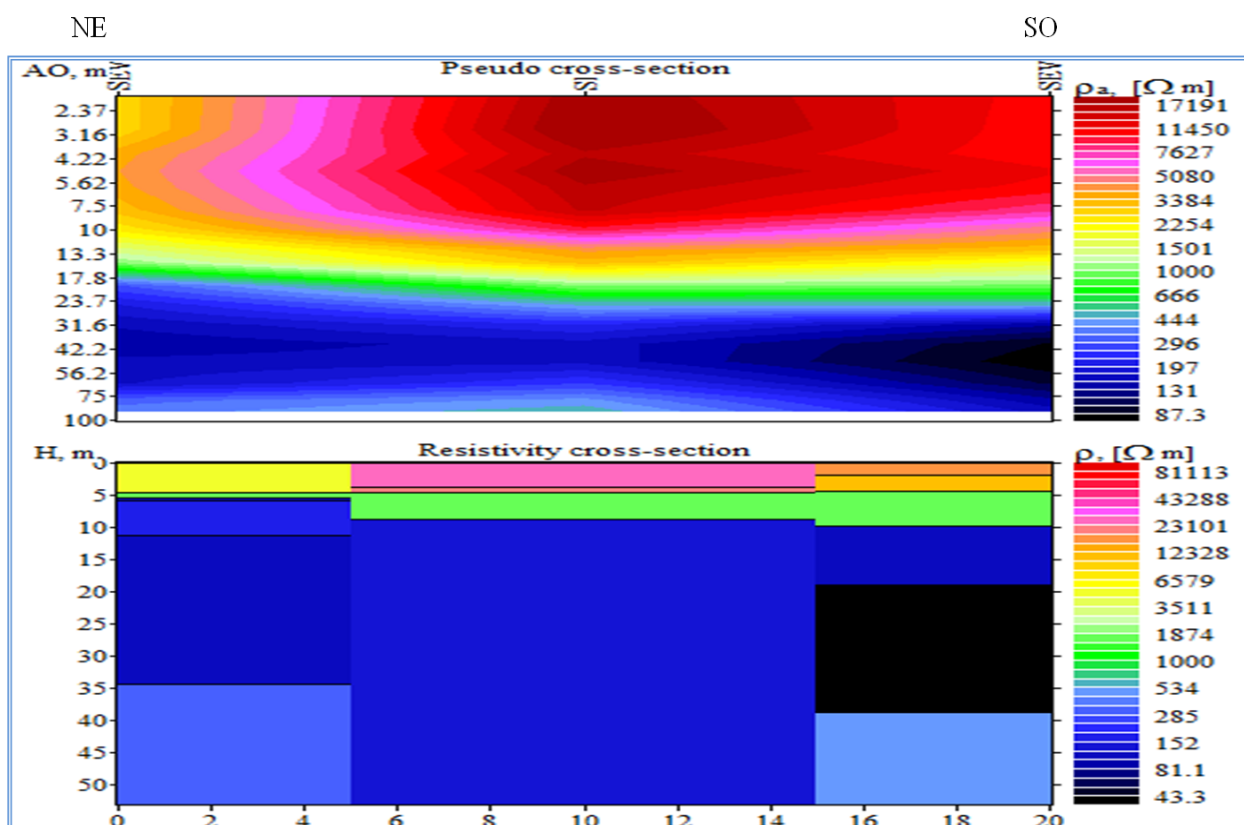


Figura 47. Corte geoelectricos de lo SEV 04, 05 y 06

En el corte geoelectrico del sector 2 generado (figura 47) se logró identificar la presencia de dos secciones, la primera la constituye una pseudo sección areal de la zona, mientras que la segunda muestra el modelo vertical. Se observa que desde la superficie hasta aproximadamente unos 15 m las rocas están constituidas por arenas y gravas de grano fino a medio con arcillas, compactas, duras y con alta resitividad. Posterior a ello, se nota que la resistividad disminuye mostrando una continuidad en el sector con sentido noreste – suroeste, compuesta aparentemente por capas de arcillas donde posiblemente exista acumulación de aguas subterráneas. En ese sentido, la figura 48 resume la interpretación para el mencionado corte.

Perfil de correlación B- B'
Sector Santa – principal vía de acceso. José Gregorio Monagas. Estado Anzoátegui.

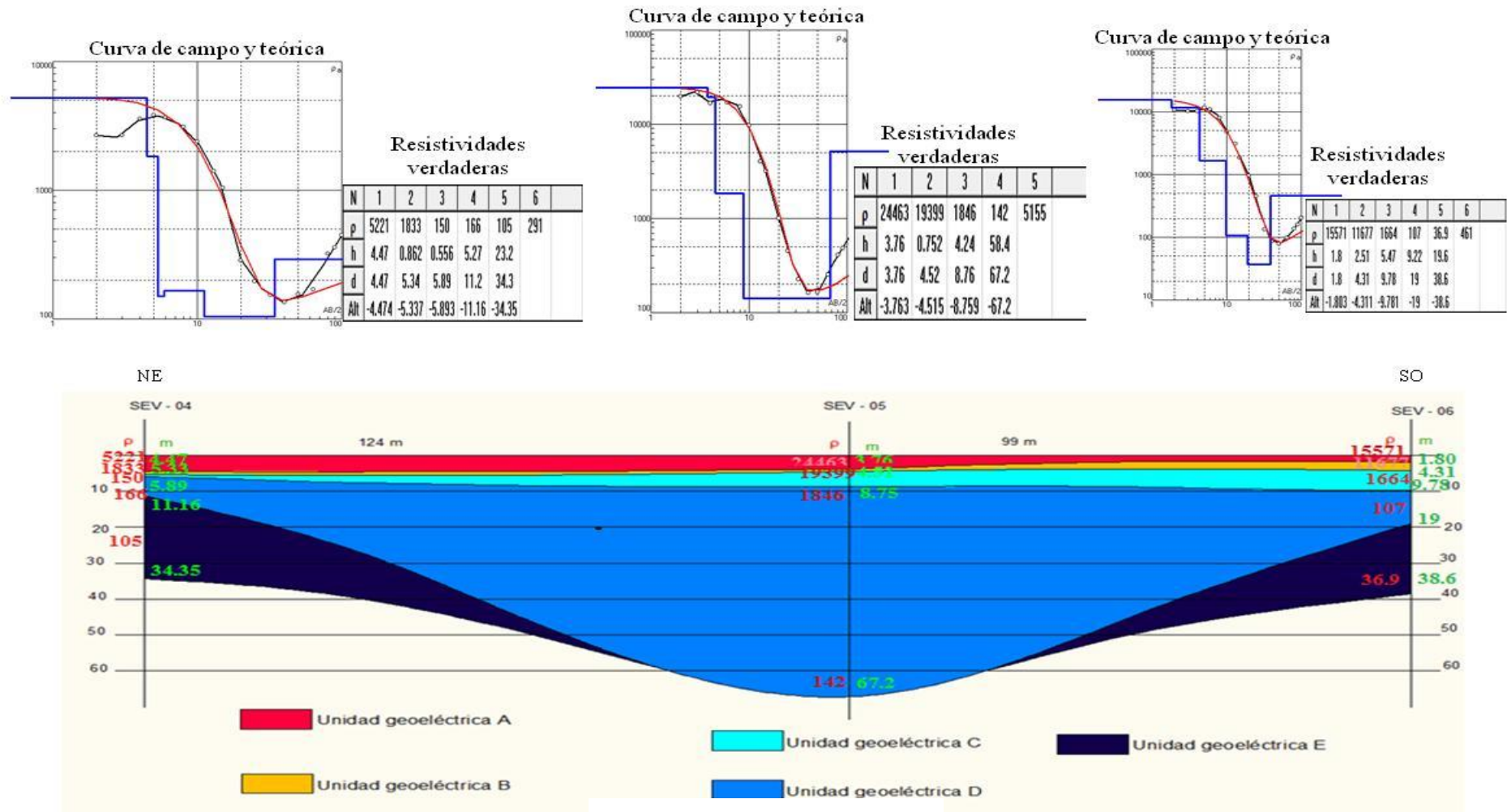


Figura 48. Perfil correlación B – B'

Seguidamente son descritas las diversas unidades geoelectricas identificadas por el sector como principal vía de acceso hacia Santa Clara.

Unidad geoelectrica A

La unidad geoelectrica A es la que se encuentra más próxima a la superficie con un espesor máximo de 4,47 m presente en el SEV 04. Mientras que en el SEV 06, muestra un espesor de 1,8 m. Asimismo fueron obtenidos intervalos de altas resistividades que están en el orden de 5221 – 15571 Ω .m, lo que se atribuye a la presencia de capas de arenas de grano grueso con cemento ferruginosos, muy compactas y duras de color rojizo a casi negro sin posibilidad de acumulación de aguas subterráneas.

Unidad geoelectrica B

La unidad geoelectrica B presenta un intervalo de resistividades entre 1833 – 19399 Ω .m el cual se observa a partir de 4,47 m en el SEV 04 cuyo espesor promedio es de 1,37 m. Esta unidad está representada por capas de arenas de grano grueso muy compactas y duras de color rojizo a negro sin posibilidad de acumulación de aguas subterráneas.

Unidad geoelectrica C

Unidad que infrayace a la unidad B a partir de los 4,31 m en el SEV 06. Constituida por arenas compactas y gravas, que presenta resistividades en el orden de 150 - 1846 Ω .m, con espesor aproximado de 3,42 m. Las condiciones para la acumulación de aguas subterráneas son escasas.

Unidad geoelectrica D

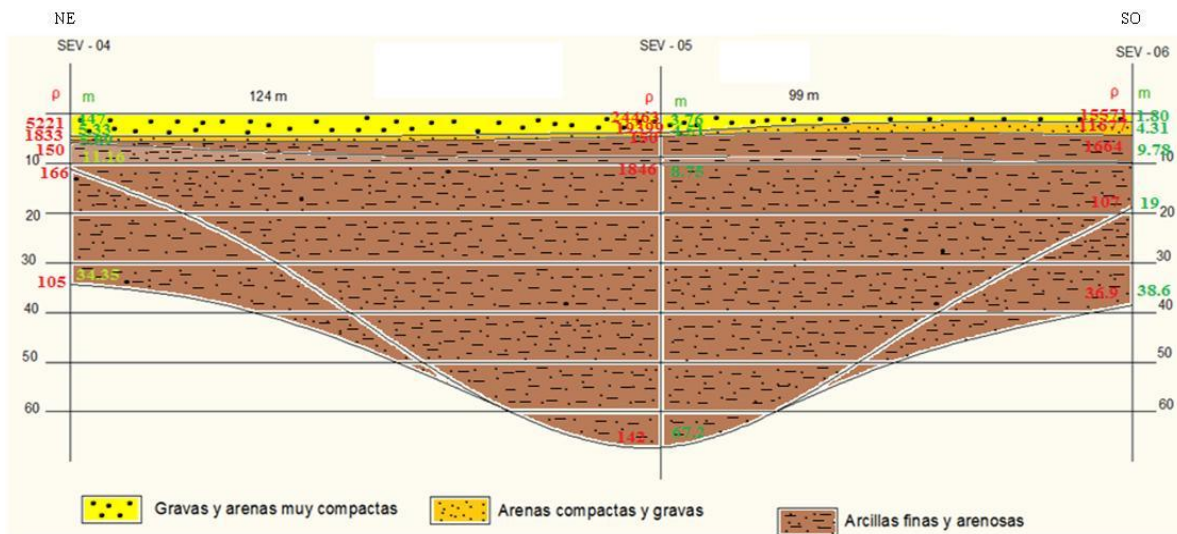
La unidad geoelectrica D presenta un intervalo de resistividades entre 36,9 – 105 Ω .m la cual se observa a partir de 5,89 m en el SEV 04 con un espesor promedio de 24,29 m,

representada por capas o lentes de arcillas finas arenosas, de color blanco amarillentas, continuas y locales con buena posibilidad de acumulación de aguas subterráneas.

Unidad geoelectrica E

La unidad geoelectrica E presenta un intervalo de resistividades que está entre 166 – 107 $\Omega.m$ la cual es observada a partir de 5,89 m en el SEV 04 con un espesor promedio de 21,4 m. Dicha unidad está representada por capas o lentes de arcillas finas arenosas, continuas y locales posiblemente con posibilidad para la acumulación de aguas subterráneas.

Los datos obtenidos fueron correlacionados con los tipos litológicos presentes en la zona, obteniéndose así un modelo de la sección estratigráfica del subsuelo (figura 49). Atendiendo a este modelo se observa que posiblemente exista acumulación de agua en la capa de arcillas finas arenosas, cuyo intervalo de resistividades está entre 36,9 y 105 $\Omega.m$, lo cual representa una alta conductividad en esta zona, identificadas como unidades C, D y E.



Posibilidad de acumulación de aguas subterráneas en la población de Santa Clara

Las características hidrogeológicas de los sedimentos de la zona de Santa Clara indica que las unidades geoelectricas C y B (tabla 19), existe la posibilidad de acumulación de aguas subterráneas. Debido a esto, se recomienda la ubicación de una obra de captación de agua entre el SEV 05 y el SEV 06, por la continuidad de posible acumulación de agua en el sector (figura 47).

Tabla 19. Mayor posibilidad de acumulación de las aguas subterráneas.

Sector	Sondeos	Unidad Geoelectrica	Propiedad Capa	Prof. (m)	Espesor Prof.(m)
Santa Clara	SEV - 02	C	arcillas finas arenosas	6,22 – 26,37	20,1
Santa Clara	SEV - 05	B	arcillas finas arenosas	8,75 – 67,2	58,4
Santa Clara	SEV - 06	B	arcillas finas arenosas	9,78 – 38,6	19,6

Asimismo, como fue discutido, no se logró mayor penetración de los SEVs, posiblemente como consecuencia de que las rocas presentes en la zona son muy resistivas con intervalos que oscilan entre 2400 y 6300 Ω .m. Posiblemente también se debe a que se necesita elaborar un estudio con un equipo de mayor potencia.

Por su parte, a profundidades entre los 8 y 20 m los intervalos de resistividades registrados obtenidos entre 34,5 y 755 Ω .m, permiten señalar que posiblemente existe acumulación de aguas subterráneas a partir de la unidad “C”.

Finalmente los resultados obtenidos a partir de los SEVs aplicados permiten proponer la elaboración de perforaciones de nuevos pozos en el sector escogido como principal vía de acceso hacia la población; no obstante, debe resaltarse que debido a la presencia de pozos construidos en la zona y a su abatimiento asociado no es recomendable la construcción de los mismos dentro de la población, ya que esto llevaría al descenso del nivel piezométrico y si este es progresivo se produciría una mayor disminución del caudal, incluso conllevando al posible secado de pozos o sobre explotación de acuíferos.

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se pueden diseñar obras de captación en zonas aledañas al centro poblado, previo a la realización de nuevos estudios con mayor profundidad.
- La zona óptima para la perforación de nuevos pozos, es el sector escogido como: Sector 2 que se corresponde al Sector Santa Clara, principal vía de acceso hacia la población, donde se obtuvo una baja resistividad y mayor espesor.
- La acumulación de agua, según resultados obtenidos, se ubica en capas de arcillas arenosas, por ende es recomendable realizar estudios a mayor profundidad y localizar la existencia de capas con mayor permeabilidad, posiblemente se ubique en la Formación Las Piedras.
- Es las zonas propuestas para la construcción de nuevas obras es recomendable realizar estudios a mayor profundidad y así garantizar la productividad de futuros pozos profundos.
- Para la construcción de nuevos pozos, debe ser tomada en cuenta la tasa de crecimiento poblacional anual del sector Santa Clara, que provee un aumento de recurso de 2993 m³ para lograr abastecer a toda la población actual y futura.
- No es viable la construcción de nuevas obras de captación en el centro poblado de Santa Clara, ya que la cercanía entre pozos incrementaría la interferencia de los conos de abatimiento producido entre ellos durante el proceso de bombeo de agua.

- Por medio del reconocimiento geológico y la ejecución de los SEVs se determinó que las capas resistivas se encuentran en los primeros 15 m de profundidad, constituidos por arena de grano fino a medio, con gravas de grano medio.
- Mediante la ejecución de los SEVs, y las características hidrogeológicas se estableció que los primeros estratos permeables se encuentran entre los 15 y 50 m de profundidad.
- La recarga de los acuíferos a través de la precipitación directa no es significativa en la población de Santa Clara según resultados del balance hídrico, por ende existe un aporte lateral desde el norte en sentido sureste que predomina.
- La acumulación de agua se encuentra en estratos de arcilla con arenas, según resultados de los SEVs, lo que podría explicar su baja permeabilidad.
- Los acuíferos más importantes y con mayor rendimiento posiblemente se encuentren a una profundidad mayor a los 100 m, donde la Formación Las Piedras es la unidad litológica que prevalece.

7.2. Recomendaciones

- No diseñar nuevas obras de construcción dentro de la población debido a la cercanía entre los pozos
- Construir pozos de observación para realizar los estudios pertinentes a los pozos ya existentes.
- Efectuar estudios geoquímicos y bacteriológicos a las aguas que actualmente es extraída de los pozos, con el propósito de determinar su calidad.

- Desarrollar estudios e investigaciones necesarias en los pozos que se encuentran sellados o inactivos en la zona para una posible reactivación de los mismos.
- Ejecutar pruebas de bombeo para conocer los parámetros hidráulicos del acuífero tales como; la transmisividad, coeficiente de almacenamiento, el comportamiento del acuífero frente a un bombeo, entre otros y así tener una extracción óptima del recurso.
- Efectuar estudios con SEV con equipo de mayor potencia y tendido superior a los 100 m, para así poder lograr una máxima penetración de la corriente y con ello, identificar la probable presencia de uno o más acuíferos donde exista un rendimiento superior a los 0,5 lps.
- Ejecutar un conjunto de perfiles eléctricos, y así inferir el nivel del acuífero, porosidad, índice de permeabilidad y litología de la zona y luego realizar una comparación con los resultados de los sondeo eléctricos verticales.
- Empezar estudios de prospección hacia la zona de Oripopo, con el propósito de verificar si dicha zona tiene las condiciones óptimas para la activación del pozo y para la construcción de nuevas obras de captación.
- Los organismos competentes deben facilitar y permitir al investigador el acceso a la información requerida y necesaria y evitar la total restricción a la información para que futuras investigaciones puedan desarrollarse sin ningún tipo de obstáculos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arocha, S. (2003). Abastecimiento de agua. Teoría y diseño. Ediciones Vega. Universidad Central de Venezuela. 399 p.
- Arocha, S. Briggs, G., Carrillo, T y otros (1967). Desarrollo de aguas subterráneas Curso para graduados. Universidad Central de Venezuela. 702p.
- Barelli, E. (2011) Estudio hidrogeológico de aguas subterráneas en un sector del campo Bare, Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado, U.C.V.
- Bochkarev, V., Guerra, C., Solorzano, E., Morales, E. (2007). Estudio Geológico en área Junín. PDVSA y LUKOIL Oil Company.
- Cabrera, J. (2000) Posibilidades de recarga de los acuíferos profundos de la formación Las Piedras en el área de Jusepín y Caicara por parte del frente de montañas área norte de Monagas. Trabajo Especial de Grado, U.C.V.
- Castany, G. (1975). Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega, S.A. Casanova, 220. Barcelona 720p.
- Erlich, R. and S. Barrett (1992). Petroleum Geology of the Eastern Venezuelan Foreland Basin in Foreland Basins and Fold Belts. Editores R.W.Macqueen and D.A.Leckie. Memorias de la AAPG 55: 341-362.
- Fernández, N. y Di Domenico, P. (2010) Propuesta para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable de la Población de Santa Clara, Municipio José Gregorio Monagas, Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado, U.D.O.

- Figuera, M (2005) Estudio geográfico para el aprovechamiento con fines de riego del sistema de acuíferos del río Táchira, en la región San Antonio Ureña. Edo. Táchira. Trabajo Especial de Grado. U.C.V.
- Filí, M. (2001) Síntesis geológica e hidrogeológica del noroeste de la provincia de Entre Ríos – República Argentina. Boletín geológico y Minero. Vol 112. Número especial. 64 p.
- Fuentes, E. (2006) Procesos de erosión severa de la Formación Mesa y su incidencia en obras civiles. Trabajo Especial de Grado, U.C.V.
- García, E. (2000) Posibilidades de recarga de los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras en el área de Jusepin y Caicara por parte del frente de montañas área norte de Monagas. Trabajo Especial de Grado. UCV.
- González de Juana C., J. Iturralde de Arozena y X. Picard (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Ed. Foninves, 2 tomos, pp. 1021.
- González De Vallejo L. y otros (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Prentice Hall. Madrid. 715p.
- Hedberg, H. D. y A. Pyre. (1944). Stratigraphy of northeastern Anzoátegui, Venezuela, American Association of Petroleum Geologists Bulletin 28, pp. 1-28.
- Hedberg, H. and H. Funkhouser (1947). Oilfields of the Greater Oficina Area, Central Anzoátegui, Venezuela. AAPG, 31(12): 2089-2169.
- Hidrocaribe (2009) Estudio y proyecto del sistema de agua potable de la población Santa Clara Municipio Monagas – Estado Anzoátegui. Inédito. Estado Anzoátegui.
- Hidrocaribe (2010) Proyecto Santa Clara. Asociación cooperativa hidrogeo consulta R.L. Inédito. Estado Anzoátegui.

- Hidrocaribe (2010a) Estudio y proyecto complementario del sistema de agua potable de la población Santa Clara, Municipio Monagas – Estado Anzoátegui. Inédito. Estado Anzoátegui.
- Hidrocaribe (2010b) Estudio y proyecto del sistema de agua potable de la población Santa Clara, Municipio - Monagas. Estado Anzoátegui. Inédito. Estado Anzoátegui.
- Hidrocaribe (2010c) Estudio y proyecto del sistema de agua potable de la población Santa Clara, Municipio Monagas. Estado Anzoátegui. Inédito. Estado Anzoátegui.
- Johnson, S. (1975). El agua subterránea y los pozos. Wheelabrator clean wáter inc. Primera Edición.
- López, I (1981) Estudio hidrogeológico de la Cordillera Oriental en una zona Kárstica al este de Barcelona, Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado, U.C.V.
- López, J. y otros (2009). Las aguas subterráneas. Un recurso natural del suelo. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 99p.
- Mata, S. (1981) Estudio hidrogeológico del sistema kárstico de la Cordillera del Interior (zona al este de Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui). Trabajo Especial de Grado, U.C.V.
- Mendoza, V. (2005) Geología de Venezuela, Tomo II, Rocas Sedimentarias. Universidad de Oriente. 365 p.
- Mosquera, U. y Parravano, V. (2005) Evaluación de la disponibilidad del recurso agua subterránea en el acuífero de la Mesa de Guanipa, Estado Anzoátegui. Inédito. Trabajo Especial de Grado, U.L.A.

- Orellana, E. (1982). Prospección eléctrica en corriente continua. Paraninfo. 2da. Edición. P. 523.
- Patterson, J. and J. Wilson (1953). Oil fields of Mercedes region, Venezuela, AAPG. Boletín 37(12): 2705-2733.
- PDVSA (1983). Evaluación exploratoria de la Faja Petrolífera del Orinoco. Inédito. Área Zuata. Volumen V. Coordinación de la Faja Petrolífera del Orinoco.
- PDVSA (2009). Proyecto Orinoco Magna Reserva (POMR). Inédito.
- Salvador, A., 1964-b. Proposed simplification of the stratigraphic nomenclature in the Eastern Venezuela Basin. Asoc. Ven. Geol., Min. y Pet., Bol.l Inform. 7(6): 153-202.
- Sánchez, L. (2007) Estudio geofísico integrado del bloque A ubicado en el estado Monagas, perteneciente al proyecto La Florida-Amarilis 04G-3D a partir de datos geoelectricos y sísmicos de refracción somera. Trabajo Especial de Grado, U.C.V.
- Santos, A. (1974) Estudio del medio poroso de las formaciones Mesa y Las Piedras para el desarrollo de aguas subterráneas en el área mayor de oficina cuadrángulo de oficina Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado, U.C.V.
- Telford, V., Geldart, L. y Sheriff, R. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press. 2da. Edición. V: 283-292, VIII: 522-576.
- Vélez, M. (1999). Hidráulica de aguas subterráneas. Segunda edición. Universidad Nacional de Colombia. Medellin. 134p.
- Vivas, L (1984). El Cuaternario. Mérida.266 p.
- Vives L., Campos H., Candela L., y Guarracino L., (2001). Modelación del acuífero Guaraní. Boletín geológico y Minero. Vol 112. Número especial. 64 p

Zinck, A. y P. Urriola, (1970). Origen y evolución de la Formación Mesa: un enfoque edafológico. Informe inédito, Ministerio de Obras Públicas, División de Edafología, Barcelona, p. 70.

Normas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. (Decreto N° 883). (1995, octubre 11). Gaceta oficial de la República de Venezuela, 5.021. (Extraordinario), diciembre 18, 1995

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (1987). Estudio de la Evapotranspiración potencial en la Mesa de Guanipa.

Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1972). Mapa hidrogeológico de Venezuela. Rendimiento de pozos. División de hidrología de Venezuela.

Mapa hidrogeológico de Venezuela. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología, División de Hidrogeología, Caracas, Venezuela, Hoja NC-20-III Ciudad Bolívar.

Unesco (1996). Mapa hidrogeológico de América del Sur. Programa hidrológico internacional. Oficina regional de la ciencia y tecnología para América latina y el Caribe.

Referencias Electrónicas

Sánchez, J. (2010). Evapotranspiración. Universidad de Salamanca. Departamento Geología. <http://web.usual.es/javisan/hidro>

Google Earth (2008). Keyhole, Inc y Google. <http://earth.google.com>.