

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL FLUJO DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CABECERA MUNICIPAL DE TURBACO
BOLÍVAR.”**



**RICARDO JOSÉ BARRIOS QUINTERO
AUGUSTO SAID CORREA JIMENEZ**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D. T y C. - BOLÍVAR
2016**

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DEL FLUJO DE
AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CABECERA MUNICIPAL DE TURBACO
BOLÍVAR.”**

Grupo De Investigación

GIHMAC. (GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN HIDRÁULICA Y MANEJO COSTERO)

Línea De Investigación.

Manejo Hidráulico y Ambiental de la Zona Costera y Fluvial

Director De Proyecto

ING. ALFONSO ARRIETA PASTRANA.

Investigadores Principales.

RICARDO JOSÉ BARRIOS QUINTERO

AUGUSTO SAID CORREA JIMENEZ

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D. T y C. - BOLÍVAR
2016**



DEDICATORIA

*A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto
y haberme dado salud para lograr mis objetivos.*

*A mis padres y hermanas por ser el
pilar fundamental en todo lo que soy,
en toda mi educación, tanto académica, como de la vida,
por su incondicional apoyo que se mantuvo a través del
tiempo y en todas las circunstancias.*

*A mis amigos que nos ayudamos mutuamente
en nuestra formación profesional.*

Ricardo José Barrios Quintero

*A Dios, porque ha sido un amigo incondicional para mi
y quien me ha dado fuerzas y sabiduría para sobreponerme
a los momentos de grandes luchas y dificultades.*

*A mis padres y hermano, quienes son la fuerza para que día a día
me levante con ganas de seguir luchando por alcanzar mis metas.
A mis familiares y amigos por su constante apoyo.*

Augusto Said Correa Jimenez



AGRADECIMIENTOS

A Dios primeramente por bendecirnos, darnos salud y permitirnos llegar hasta este punto tan importante en nuestras vidas y poder cumplir el sueño de llegar a ser un profesional.

A nuestras familias y seres queridos por todo el apoyo de forma incondicional que nos brindaron durante este largo camino.

Al Ing. Alfonso Arrieta Pastrana, director de este proyecto, que se encargó de guiarnos y colaborarnos durante la ejecución del mismo, quien con sus conocimientos, experiencia, amabilidad y paciencia nos motivó a terminar con éxitos el documento hoy presentado.

Ingenieros Evaluadores, Dalia Moreno Egel y Guilliam Barboza Miranda, ya que sin sus constantes opiniones constructivas y guías acerca del proyecto, que nos ayudaron a precisar lo que realmente necesitábamos para hacer del proyecto un éxito.

A Barrios Padilla ingeniería S.A.S. empresa liderada por el Ingeniero Modesto Barrios Fontalvo, quien nos brindó información valiosa de estudios de suelo que nos ayudaron a realizar las perfectas comparaciones de entrevistas con datos existentes.

A CARDIQUE, entidad pública que nos brindó la mayoría de los estudios necesarios para la realización de este proyecto

Al ingeniero Yesid Correa Romero, funcionario de CARDIQUE y egresado de la Universidad de Cartagena, quien nos acompañó en cada una de las visitas realizadas al Municipio de Turbaco Bolívar, que nos guió a través de este y con quien vivimos experiencias únicas recorriendo cada espacio del paisaje encontrado en este Municipio.

A todos los demás docentes de la Universidad de Cartagena, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario y por compartir sus conocimientos, dentro y fuera de clases, haciendo posible que hoy la formación profesional se resuma en satisfacciones académicas para nosotros.



CONTENIDO

LISTADO DE ILUSTRACIONES	3
LISTADO DE FOTOGRAFIAS	4
LISTADO DE TABLAS	5
LISTADO DE GRAFICAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
1. MARCO DE REFERENCIA	12
1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	12
1.2 MARCO TEORICO	20
1.2.1 El suelo y las aguas subterráneas	21
1.2.2 Evaporización	21
1.2.3 Precipitación	22
1.2.4 Infiltración	22
1.2.5 Permeabilidad	24
1.2.6 Porosidad y Transmisibilidad	24
1.2.7 Aguas Subterráneas	25
1.2.8 Ley de Darcy	29
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	31
2.1 OBJETIVO GENERAL	31
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
3. METODOLOGÍA	32
3.1 RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION	33
3.1.1 Área de Estudio	33
3.1.2 Recopilación y Análisis de la Información	35
3.1.3 Medición de Pozos	35
3.1.4 Correlación de la Información	36



3.2	ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS	36
3.2.1	Hidrología y Geología.....	36
3.2.2	Identificación de Parámetros Hidrogeológicos	39
3.2.3	Elaboración del Mapa Hidrogeológico	44
3.2.4	Elaboración de Secciones Transversales.....	44
3.2.5	Formulación del Modelo Hidrogeológico Conceptual.....	45
3.2.6	Evaluación de Resultados.	45
4.	RESULTADOS DEL PROYECTO.....	46
4.1	MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL	48
4.2	ESTUDIO DE LA RECARGA	51
4.3	INVENTARIO DE AGUAS.....	54
4.4	SECCIONES TRANSVERSALES.....	56
4.5	MAPA DE FLUJO HIDROGEOLÓGICO.....	65
4.6	TRANSMISIVIDAD	67
4.7	FACTORES EXTERNOS	68
5.	CONCLUSIONES	69
6.	RECOMENDACIONES	73
7.	ANEXOS	74
7.1	Horas de Bombeo en los Pozos.....	74
7.2	Columnas litológicas, suelos de Turbaco- Bolivar	87
7.3	ANEXOS FOTOGRAFICOS	91
8.	BIBLIOGRAFIA	94



LISTADO DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Inventario Nacional de puntos de agua</i>	16
<i>Ilustración 2. Áreas con estudios hidrogeológicos realizados por el INGEOMINAS.....</i>	17
<i>Ilustración 3. Pozos Artesianos construidos por los habitantes (Arroyo Lejos, Valle Country)..</i>	18
<i>Ilustración 4. Modelo Ley de Darcy</i>	29
<i>Ilustración 5. Esquema de la metodología utilizada</i>	32
<i>Ilustración 6. Área de Estudio</i>	34
<i>Ilustración 7. Plancha 30, Columna Litológica de Turbaco Bolívar, INGEOMINAS</i>	38
<i>Ilustración 8. Esquema del Modelo Hidrogeológico Conceptual</i>	47
<i>Ilustración 9. Áreas de Recarga</i>	49
<i>Ilustración 10. Superposición Zonas de Recarga del Acuífero, con usos del suelo.</i>	50
<i>Ilustración 11. Plano Geológico.....</i>	53
<i>Ilustración 12. Plegamiento Hidrogeológico de Turbaco Bolívar</i>	56
<i>Ilustración 13. Superposición zona de estudio y plano topográfico.....</i>	57
<i>Ilustración 14. Corte Longitudinal A1-A8.....</i>	58
<i>Ilustración 15. Corte Transversal B1-B2</i>	59
<i>Ilustración 16. Corte Transversal B3-B2</i>	60
<i>Ilustración 17. Corte Transversal B4-B2</i>	61
<i>Ilustración 18. Corte Transversal C1-C2</i>	62
<i>Ilustración 19. Corte Transversal D1-D2.....</i>	63
<i>Ilustración 20. Corte Transversal D1-D3.....</i>	64
<i>Ilustración 21. Mapa de Flujo Hidrogeológico.....</i>	66
<i>Ilustración 23 Columna Litológica de Turbaco Bolívar, (Por el Estadio de Beisbol), Ing. Modesto Barrios.....</i>	88
<i>Ilustración 24. Columna Litológica de Turbaco Bolívar, (Recreo-Puente de Huevo Peluo); Ing. Modesto Barrios.....</i>	88
<i>Ilustración 25. Columna Litológica de Turbaco Bolívar, (Malibú); Ing. Modesto Barrios</i>	89
<i>Ilustración 26. Columna Litológica de Turbaco Bolívar, (Villa Leidy); Ing. Modesto Barrios ...</i>	90



LISTADO DE FOTOGRAFIAS

<i>Fotografía 1. Medición pozo Villa Leidy</i>	<i>91</i>
<i>Fotografía 2. Medición pozo Malibú.....</i>	<i>91</i>
<i>Fotografía 3. Medición pozo Urb. El Valle</i>	<i>91</i>
<i>Fotografía 4. Medición pozo Monte Carmelo.....</i>	<i>92</i>
<i>Fotografía 5. Medición pozo Villa Country.....</i>	<i>92</i>
<i>Fotografía 6. Medición pozo Villa Leidy</i>	<i>92</i>
<i>Fotografía 7. Medición pozo El Recreo</i>	<i>93</i>
<i>Fotografía 8. Medición pozo Los Laureles.....</i>	<i>93</i>
<i>Fotografía 9. Medición Pozo finca Los Rosales.</i>	<i>93</i>



LISTADO DE TABLAS

<i>Tabla 1. Valores característicos para la permeabilidad intrínseca (k) y para la conductividad hidráulica (K).....</i>	30
<i>Tabla 2. Resumen de datos de la prueba de Bombeo CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005; CARDIQUE.....</i>	41
<i>Tabla 3. Tabla de Inventario de Pozos.</i>	55
<i>Tabla 4. Porcentaje de pendientes cotas A1-A8.....</i>	58
<i>Tabla 5. Porcentaje de pendientes cotas B1-B2.....</i>	59
<i>Tabla 6. Porcentaje de pendientes cotas B3-B2.....</i>	60
<i>Tabla 7. Porcentaje de pendientes cotas B4-B2.....</i>	61
<i>Tabla 8. Porcentaje de pendientes cotas B3-B2.....</i>	62
<i>Tabla 9. Porcentaje de pendientes cotas D1-D2.....</i>	63
<i>Tabla 10. Porcentaje de pendientes cotas D1-D3.....</i>	64
<i>Tabla 11. Valores de conductividad hidráulica de las rocas, (Vélez 2004).....</i>	68
<i>Tabla 12. Horas de bombeo Pozo Villa Leidy.....</i>	74
<i>Tabla 13. Horas de bombeo Urb. El Valle.....</i>	75
<i>Tabla 14. Horas de bombeo Pozo Malibú.....</i>	76
<i>Tabla 15. Horas de bombeo Pozo Monte Carmelo.....</i>	77
<i>Tabla 16. Horas de bombeo Pozo Prado Verde.....</i>	78
<i>Tabla 17. Horas de bombeo Pozo Finca Los Rosales.....</i>	79
<i>Tabla 18. Horas de bombeo Pozo Los Laureles.....</i>	80
<i>Tabla 19. Horas de bombeo Pozo Los Laureles.....</i>	81
<i>Tabla 20. Horas de bombeo Pozo Villa Country.....</i>	82
<i>Tabla 21. Horas de bombeo Pozo El Recreo.....</i>	83
<i>Tabla 22. Horas de bombeo Pozo El Recreo.....</i>	84
<i>Tabla 23. Horas de bombeo Pozo frente al Estadio de Beisbol.....</i>	85
<i>Tabla 24. Horas de bombeo Pozo Arroyo Lejos.....</i>	86



LISTADO DE GRAFICAS

<i>Grafica 1. Precipitación mensual en el Municipio de Turbaco, CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005; CARDIQUE</i>	40
<i>Grafica 2. Variación de Temperatura en el Dpto. de Bolívar entre 2012- 2013 CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005; CARDIQUE.....</i>	40



RESUMEN

El presente proyecto corresponde al informe final de las actividades del “Análisis del comportamiento hidrogeológico del flujo de aguas subterráneas en la cabecera municipal de Turbaco-Bolívar” cuyo objetivo principal es el desarrollo de un modelo conceptual que analice el funcionamiento de las aguas subterráneas ubicadas en el Municipio de Turbaco, centrándose principalmente en la cabecera municipal. Para hacer posible este modelo se utilizaron: los métodos convencionales de medición para determinar las características físicas, mediante la medición directa con cinta métrica, una linterna y una pesa amarrada a la punta de la cinta para saber cuándo esta llegaba al fondo, visitas de campo para entrevistas con los propietarios de los pozos para saber las características del suelo encontrado durante la excavación y por último comparar esta información con información geológica e hidrogeológica secundaria disponible. Así se llegó a la conclusión basada en el modelo conceptual resultante del estudio de que hay tres factores fundamentales que afectan directamente el acuífero y considerándolas como las más importantes en el sistema de Acuíferos: el clima, la población y el suelo. El clima como factor influyente por medio de las precipitaciones, entre más intensas sean, mayor será el nivel del agua en el acuífero y por ende en los pozos artesianos; la población ya que estos son los explotadores directos de este recurso y los principales responsables de los bajos niveles del agua subterránea en los sitios de mayor altura, el suelo como principal factor influyente en la infiltración del agua, entre más poroso sea este, el agua tendrá un mejor medio filtrante hacia el acuífero. El estudio se realizó en los meses de estación seca que va desde Febrero a Mayo, por ende entre los resultados más relevantes se destacan los bajos niveles en los pozos, que oscilan entre cero metros en los manantiales de los sectores; Mameyal, Arroyo Lejos y Matute. Debido a la gran cantidad de pozos ilegales explotados cuesta abajo, se ven afectados los pozos situados a mayores alturas, presentando estos los niveles más bajos de todos.



ABSTRACT

This project is the final report of the activities of the "Analysis of the hydrogeological behavior of groundwater flow in the county seat of Turbaco-Bolívar" whose main objective is the development of a conceptual model to analyze the functioning of groundwater located in the municipality of Turbaco, focusing mainly on the municipal head. To enable this model were used: conventional measurement methods to determine the physical, by direct measurement with tape, a flashlight and a weight tied to the end of the tape to know when this reached the bottom, field visits for interviews with the owners of the wells to know the characteristics of the soil found during excavation and finally compare this information with secondary geological and hydrogeological information available. This was concluded based on the resulting conceptual model of the study that there are three key factors that directly affect the aquifer and considering them as the most important aquifers in the system: climate, population and soil. The climate as a factor by rainfall, the more intense they are, the higher the water level in the aquifer and therefore in artesian wells; the population as these are the direct exploiters of this resource and the main responsible for low groundwater levels at sites of greater height, the floor as the main factor influencing water infiltration, the more porous is this, water You have a better filter medium into the aquifer. The study was conducted in the months of dry season from February to May, thus among the most relevant results are highlighted low levels in wells, ranging from zero meters at the sources of the sectors; Mameyal, stream and matute away. Due to the large number of illegal wells exploited downhill affected wells located at higher elevations, presenting these the lowest of all levels.



INTRODUCCIÓN

La ingeniería, por medio del uso de diversos modelos y técnicas, trata de solucionar distintos problemas y darle satisfacción a la gran variedad de necesidades de los seres humanos, para entrar en ese mundo, los que reciben el nombre de ingenieros deberán hacer uso de su creatividad junto a la utilización del método científico para llevar a cabo sus proyectos.

Por ello para el proyecto investigativo que está dentro del marco conceptual de la Ingeniería Civil, se abarcaron aspectos importantes de la Hidrología, Geología y Geotecnia, considerados entre los más fundamentales campos de esta Ingeniería.

El primero de los pasos para la evaluación integral de un territorio, consiste en analizar cada uno de los atributos de la tierra, retomando cada una de las partes del diagnóstico y destacando cuales son las reales condiciones del territorio, sus potencialidades, limitaciones y conflictos o sus fortalezas, debilidades y oportunidades. De todos los elementos en la naturaleza sin duda alguna consideramos el agua como el más importante. El agua también puede ser encontrada bajo nuestros pies, es conocida como agua subterránea, una variable de almacenamiento natural de este recurso.

El territorio estudiado, se encuentra ubicado en el Municipio de Turbaco- Bolívar, que posee dentro de sus riquezas un gran acuífero bajo su suelo, debido a la gran magnitud en tamaño de este acuífero, se decidió tomar como área central de estudio, la cabecera Municipal, que abarca desde La hacienda Matute hasta el arroyo Mameyal, con un área aproximada de 489.46 Hectáreas, cuya metodología empleada se basa principalmente en información secundaria recopilada, que fue suministrada por parte de CARDIQUE al igual que empresas privadas de ingeniería, ampliada con datos recopilados directamente en el campo, por medio de mediciones a los pozos de captación ubicados en la zona y entrevistas realizadas a los habitantes sobre los procesos de excavación y metodologías utilizadas por los mismos al momento de la construcción de los pozos. El agua subterránea principalmente se encuentra en los vacíos que se presentan en las formaciones geológicas, la facilidad con la que el agua subterránea puede extraerse depende principalmente de la porosidad y de la permeabilidad, ¿Cómo se recarga el acuífero? ¿Cómo se descarga? Fue fundamental para la investigación darle respuesta a estas preguntas, lo cual va enlazado con la



existencia de métodos para el aprovechamiento de este recurso, que son muy variados, pero fue primordial centrarse en el análisis de cuáles son los medios utilizados en la zona de estudio para el aprovechamiento de este recurso.

La investigación presentada, abarca gran parte del estudio de aguas subterráneas en el Municipio de Turbaco-Bolívar, con el fin de analizar las características principales y el uso que se le está dando a este valioso elemento del medio natural. El municipio de Turbaco se caracteriza por poseer gran presencia de nacimientos de agua, debido a su naturaleza geológica y a su topografía; estos nacimientos hacen parte del sistema denominado cuenca del Canal del Dique, formado en este municipio por numerosos arroyos que bajan sus niveles de agua entre los meses de marzo y abril, meses terminales del período seco, en los cuales el nivel de los acuíferos se considera bajo, por ende durante los periodos de altas precipitaciones, estos niveles suben.

Por esto uno de los principales puntos de investigación radica en determinar las áreas de recarga y descarga de este acuífero situado en el municipio de Turbaco Bolívar. ¿Por qué se da en esas áreas y no en otras? ¿Resulta riesgoso para los habitantes el afloramiento de agua en ciertas áreas? Entonces, también fue de mucha importancia realizar un análisis de las principales características del suelo que abarca la zona en las que se dan las recargas y descargas.

Anteriormente, las técnicas de exploración y explotación de las aguas subterráneas eran deficientes, no fue sino hasta mediados de los años 50 que con la inclusión de elementos como las bombas de turbinas y nuevas implementaciones de perforación hacen del estudio de este recurso algo realmente extraordinario, estas nuevas implementaciones también surgen en el país y se encargan de realizar un papel enorme en el estudio local de las aguas subterráneas encontradas en el país. Durante los estudios iniciados en los años 60, mencionados en el Programa de Exploración de Aguas subterráneas presentado por INGEOMINAS en 2004 se dio a conocer por primera vez un estudio realizado en poblaciones del departamento de Bolívar, en el cual se indica que las zonas de este Departamento presentan buena infiltración, por ende es factible que se encuentren acuíferos, dicha investigación sintetiza de manera general aspectos importantes en el estudio de las aguas subterráneas a nivel nacional, además de esto en el PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT) del Municipio de Turbaco Bolívar prevalecen las características físicas superficiales de este



Municipio, por lo tanto una investigación directa del comportamiento hidrogeológico de las aguas encontradas bajo el suelo de Turbaco es de mucha importancia para conocer el funcionamiento interno del Municipio, uno de los aspectos que hace útil esta investigación, es demostrar la importancia que tiene el estudio para generaciones venideras, el buen entendimiento de un sistema de aguas subterráneas representa una amplia gama de alternativas para la explotación del recurso, en áreas donde su costo pueda competir con la utilización de agua superficial o como única alternativa disponible en regiones donde el balance demanda-disponibilidad presente situaciones críticas.



1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

El agua subterránea es un valioso recurso asequible a las personas, las percepciones con respecto al ambiente del cual provienen son de cierto modo, poco precisas y en muchos casos incorrectas y es debido a que el ambiente en el cual se encuentran está muy oculto a la percepción humana y las impresiones que poseemos acerca de esas aperturas sub-superficiales no son exactas,

La importancia del estudio de las aguas subterráneas se basa en la interrelación existente entre ellas y los suelos que las poseen, ya que a su vez estos mismos suelos pueden soportar estructuras que podrían ser afectadas por la presencia o variación de las aguas. A su vez, estas son una fuente confiable, continua y económica, que no requiere complicados sistemas de tratamiento de potabilización, por lo cual se convierten en una solución alternativa de abastecimiento de agua para consumo humano y riego.

El origen de las aguas subterráneas es uno de los problemas que más han preocupado al hombre desde los tiempos más remotos. La teoría de la infiltración, que supone que todas las aguas subterráneas provienen bien de infiltración directa en el terreno de las lluvias o nieves, o indirecta de ríos o lagos, no ha sido aceptada universalmente, sino desde tiempos relativamente reciente. Por un explicable error colectivo, que duró decenas de siglos, los pensadores de la antigüedad aceptaban como axiomático que las precipitaciones atmosféricas no eran suficientes para mantener los grandes caudales subterráneos que emergían espontáneamente o eran alumbrados por la mano del hombre en algunos puntos de la superficie terrestre. Y, lógicamente, se lanzaban a inventar las teorías más ingeniosas, variadas y pintorescas para explicar su origen. (Espinoza, Carlos (2004). *EXISTENCIA Y ORIGEN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS*, *CI51J Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento*. Universidad de Chile.)

Las aguas subterráneas, es un tesoro bajo tierra de mucha importancia no solo en Colombia, sino a nivel mundial, destacando como ejemplo, el continente europeo, sobre todo en los países mediterráneos del sur de Europa los bombeos subterráneos se concentran mayoritariamente en un



número limitado de acuíferos explotados de forma muy intensa. Las aguas subterráneas fueron declaradas de dominio público en el año 1985 (*Hernandez-Mora, 2003*) aunque la implementación práctica de dicha declaración se ha enfrentado (y aun hoy en día se enfrenta) a numerosas dificultades. Por diversas razones, las confederaciones hidrográficas y agencias comunitarias competentes en la materia no trabajaron en la gestión pública de las aguas subterráneas con la misma intensidad que en el caso de los recursos hídricos superficiales. Esta situación está cambiando en los últimos años, como resultado de la implementación de la Directiva Marco del Agua (DMA)¹. El proceso de implementación de la DMA en España por ejemplo está siendo una oportunidad única para mejorar el conocimiento de las aguas subterráneas, implementar medidas eficaces para su protección y, en definitiva, para tratar de alcanzar modelos eficaces de gestión racional de los recursos subterráneos.

Los estudios hidrogeológicos en Colombia se inician a partir de 1950 con el fin de plantear soluciones de abastecimiento de agua potable en algunas poblaciones del país. Durante esta primera década los principales trabajos hidrogeológicos se llevaron a cabo en los departamentos de Valle del Cauca, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Córdoba y Antioquia. En los años 60, se continuó con este tipo de estudios en algunas poblaciones de los departamentos de Tolima, Bolívar, Santander y Caldas, así como otros complementarios en Boyacá y Valle del Cauca. (*INGEOMINAS 2004. Programa de exploración de aguas subterráneas en Colombia.*)

Luego INGEOMINAS cumplió un papel fundamental en los estudios hidrogeológicos iniciando en el año de 1996 la elaboración del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia que comprendió la compilación y análisis de información de los estudios hidrogeológicos ejecutados por el Instituto y la existente en otras entidades públicas y privadas, el cual comprende aproximadamente el 30% de Colombia. Dividió el país en provincias hidrogeológicas a nivel regional y halló las áreas potencialmente acuíferas y la calidad química del agua subterránea. En el país se ha considerado el valle del río Cauca como el principal acuífero, debido a su alta producción y espesor. Se encuentran en el valle sedimentos de material grueso con

¹ Norma del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política de aguas. Nace con la vocación de garantizar la protección de las aguas y promover un uso sostenible que garantice la disponibilidad del recurso natural a largo plazo.



permeabilidad alta a moderada, productos de un relleno aluvial cuaternario de aproximadamente 200 m de espesor, desarrollándose allí acuíferos regionales de tipo semiconfinado y confinado. Los rendimientos fluctúan entre 30 y 130 l/s.

Uno de los antecedentes más significativos es el libro titulado Hidráulica de Aguas subterráneas realizado por La Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Medellín en el año 2001, el cual destaca que en el Urabá Antioqueño existen acuíferos formados de areniscas y conglomerados con sedimentos, con rendimientos que oscilan entre 25 – 50 l/s. La Sabana de Bogotá constituida por rocas sedimentarias, tiene también un alto potencial de agua subterránea. Actualmente se tienen registros de unos 2800 pozos con caudales que oscilan entre 1 y 40 l/s.

El ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA publicado por el IDEAM en el 2014, da a conocer el Inventario nacional de puntos de agua subterránea, en el cual informa que La distribución del agua subterránea en Colombia y las necesidades de cada región para el desarrollo social y económico según su uso, ha estimulado la formulación y elaboración de estudios locales y regionales, a cargo de las Autoridades Ambientales y entidades del orden nacional (como el Servicio Geológico Colombiano, IDEAM, Ministerios, entre otros), para la construcción de modelos hidrogeológicos conceptuales que permiten tener un mayor conocimiento de las aguas subterráneas. Los estudios generalmente tienen como base la identificación de los puntos de agua subterránea a través de inventarios y la caracterización de las zonas de mayor potencial de los recursos hídricos. Los inventarios de puntos de agua son la base de referencia para información sobre demanda, la calidad y los usos de las aguas subterráneas. La información reportada constituye una base preliminar del inventario nacional que debe ser mejorada a futuro, ésta obedece a la recopilación de información existente en diferentes periodos de tiempo que datan desde 1995 hasta la actualidad. Aun así, se evidencia que el agua subterránea se constituye en la fuente de abastecimiento como solución individual asociado a la presencia de aljibes de común uso para abastecimiento humano. El total de puntos de agua subterránea consolidado que se puede estimar está por debajo de la cantidad de puntos existentes en la actualidad a nivel nacional, dada la dispersión de la información y la ausencia de registro en zonas del país donde



es conocido el uso del agua subterránea para abastecimiento individual. Con base en los estudios locales, regionales, bases de datos y acorde a la metodología planteada para la conformación del inventario nacional de puntos de agua subterránea donde se consolidó información de volúmenes de agua subterráneas concesionadas en *la ilustración 1* que se encuentran sujetas al cobro TUA para 23 Autoridades Ambientales encargadas de la gestión de los recursos hídricos y un primer inventario nacional de puntos de agua subterránea en el área de jurisdicción de 33 Autoridades Ambientales.

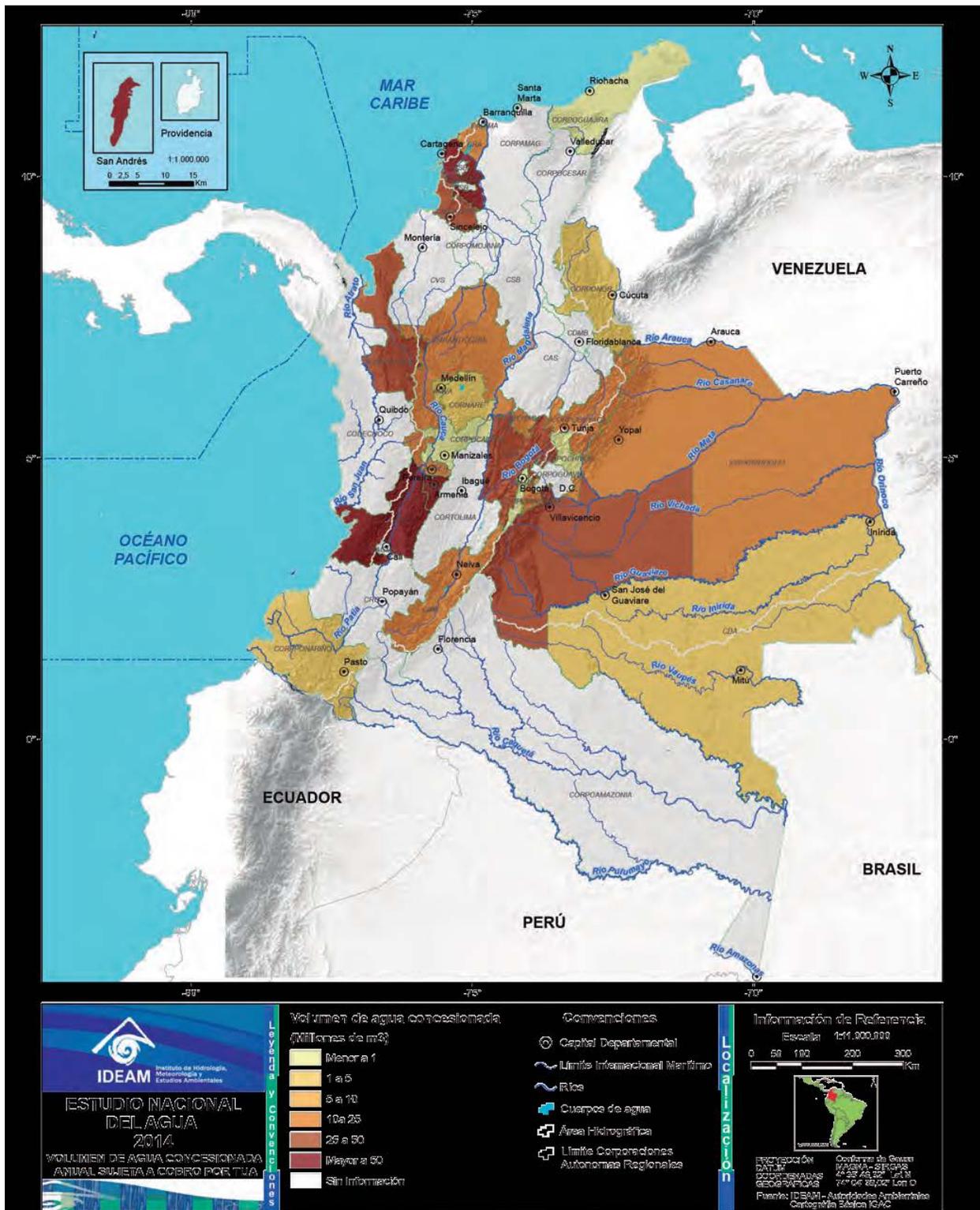


Ilustración 1. Inventario Nacional de puntos de agua



Estudios anteriores realizados en el municipio de Turbaco como es el estudio hidrogeológico de los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del canal del Dique (Bol. Geol. Vol.29, No 1), 1988. Realizado por el Ingeominas, determinó que en la parte hidrológica la zona presentaba buenas posibilidades de infiltración. (PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE TURBACO. POBT 2002)

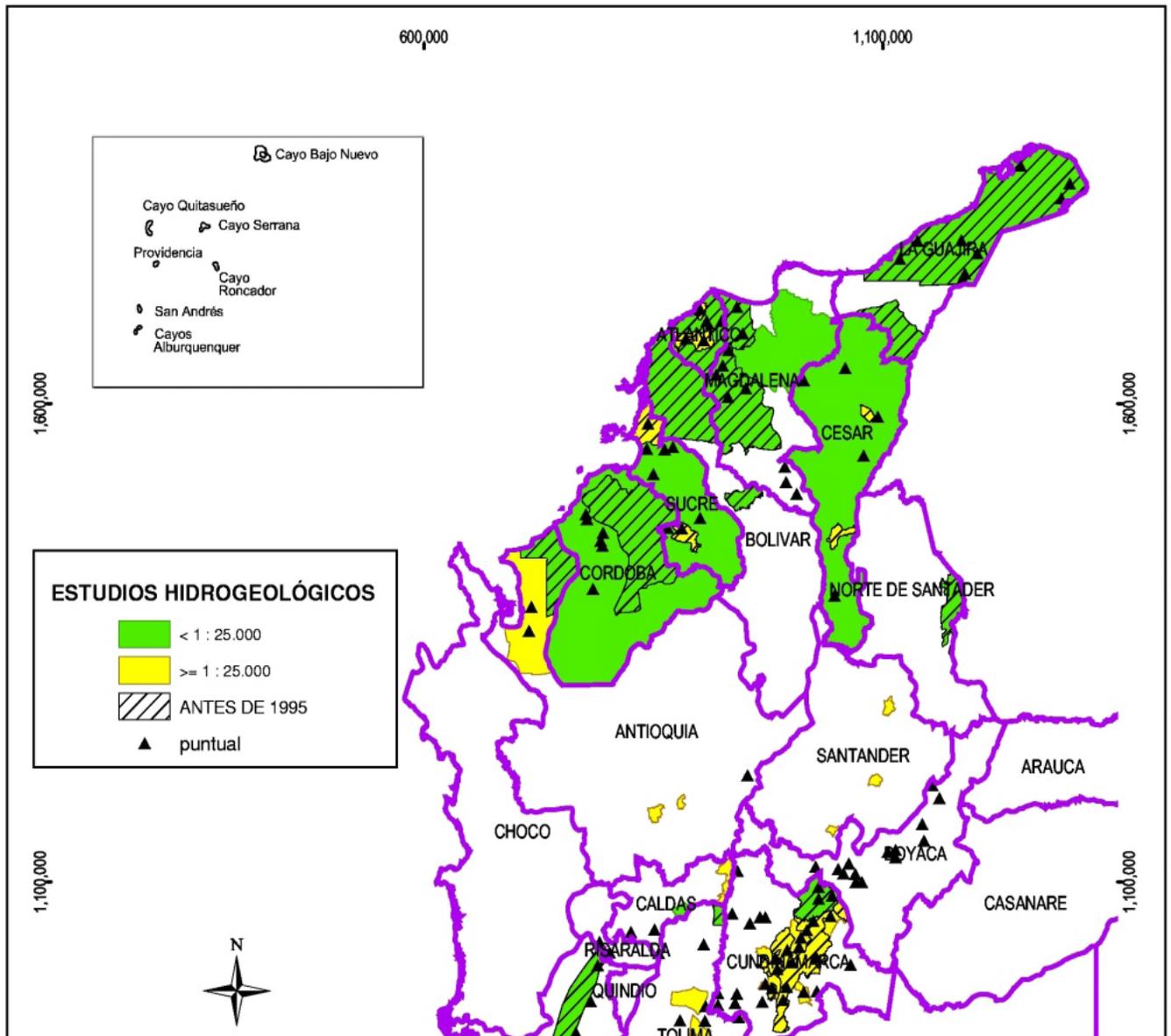


Ilustración 2. Áreas con estudios hidrogeológicos realizados por el INGEOMINAS

Fuente: INGEOMINAS (2004). Programa de exploración de aguas subterráneas en Colombia.



La *ilustración 2*, en la que se identifican con el color verde las zonas estudiadas por INGEOMINAS, e identificando las zonas rayadas como las estudiadas antes de 1995; muestran que la zona de estudio (Municipio de Turbaco Bolívar) ha sido motivo de investigación desde hace muchos años, ya que el acuífero ubicado en esta zona representa una gran fuente de vida para todo aquello que lo rodea. Ahora bien en estudios previos realizados por entidades como INGEOMINAS y *CARDIQUE*, nos dan a conocer que el territorio del municipio de Turbaco, está formado por depósitos que en su mayoría corresponden a la época del Mioceno y en menor proporción al Plioceno. “Las formaciones Miocénicas corresponden a colinas bajas, de pendientes cortas, con menor disección que las aparecidas en períodos anteriores, las cuales corresponden a colinas más altas, accidentadas y pendientes más alargadas. Las formaciones pliocénicas están dominadas por estratos calcáreos coralinos y arrecifales que fundamentalmente han dado lugar a los suelos de los alrededores de Turbaco (Cardique, 2002). El estudio de estas características del suelo en el territorio de este municipio nos da una mejor percepción para saber qué tipos de materiales están encargados del proceso de infiltración ocurrido para que tenga como consecuencia, el almacenamiento y por ende afloramiento de las aguas subterráneas.

Actualmente en el casco urbano existe un sin número de pozos artesianos (*Ilustración 3*) que son empleados como fuente de agua para las labores domésticas debido al deficiente servicio del acueducto local.



Ilustración 3. Pozos Artesianos construidos por los habitantes (Arroyo Lejos, Valle Country)

Anteriormente en el municipio de Turbaco no existía un sistema de agua potable, pero el agua que era dirigida hacia Cartagena de Indias provenía del Arroyo Matute, por lo que se resalta la



gran importancia que representa este valioso recurso en esta zona; El acuífero de Turbaco sirvió como fuente de abastecimiento de agua por varios años a la ciudad de Cartagena, como lo público (EL UNIVERSAL Cartagena edición 26 de Noviembre de 2011). Después de la derrota de los indígenas asentados en Calamarí surgieron dudas por parte de Pedro de Heredia en cuanto al lugar donde debía fundar su ciudad-puerto. La duda provenía de la falta de agua dulce cerca de la gran bahía que lo embelesaba. En vista de no haber un lugar mejor dispuesto, se decidió a fundar a Cartagena en el mismo sitio donde habían estado los Calamaríes., fueron los meses que duró la duda. Para suplir la falta de un río o un arroyo caudaloso, se excavaron pozos y jagüeyes, se construyeron aljibes y cisternas. Así vivió Cartagena todo el período colonial y buena parte de la república. En 1537 los oficiales reales propusieron llevar agua a Cartagena de unos arroyos que corrían cerca de Turbaco. Pero la propuesta no fue acogida.

El cosmógrafo de la real armada Alfonso Álvarez de Toledo, había dado órdenes en el sentido de conducir hasta la ciudad el agua del arroyo de Turbaco. Por órdenes superiores tuvo que abandonar la obra y embarcarse para España. El Cabildo se lamentó de ello y pidió al rey que lo hiciese volver para terminar la obra. En 1576, el Gobernador Fernández de Busto ordenó el cobro de ciertos derechos sobre los esclavos y mercaderías, a fin de allegar fondos para la obra, pero los comerciantes se opusieron y la Audiencia prohibió tales impuestos. Por ese motivo en 1582 la obra se paralizó. Al parecer el proyecto era de un acueducto de cal y canto, con arcos, al estilo de los antiguos acueductos romanos. Cartagena siguió abasteciéndose de pozos y jagüeyes, así como de aljibes para recoger las aguas llovidas.

Por iniciativa del Gobernador Henrique Luis Román, se celebró un contrato el 5 de junio de 1905 entre el Secretario de Hacienda, Antonio Regino Blanco, y el súbdito británico J.T. Ford, mediante el cual el mencionado señor Ford se comprometió a construir un acueducto para dotar a Cartagena de agua potable, tomada de las fuentes de Turbaco en los predios Matute, Colón (Coloncito hoy) y Torrecilla, conducida por tubería de hierro fundido de suficiente diámetro, enterrada a una profundidad de 1 ½ a 2 pies. Por medio de este acueducto de aguas sin tratar se atendieron las necesidades de Cartagena, que empezaba a salirse del Centro Amurallado, para



extenderse por el Pie de la Popa, Manga, Espinal y otros; calculándose la población en unos 30 mil habitantes.

El contratista traspasó el contrato a la firma “Cartagena Water Works Company” Afortunadamente muchos propietarios conservaron los aljibes pues, con el correr del tiempo el acueducto de Matute se quedó corto ante las necesidades de la ciudad que seguía creciendo.

Al inaugurarse el Terminal Marítimo de Manga en 1934, aún seguíamos abasteciéndonos de Matute. Por eso, entre las obras del Terminal estuvo un gran depósito, bombas impulsoras y un tanque elevado, desde donde bajaba el agua por gravedad.

El acueducto actual, que toma sus aguas del Canal del Dique, cuya gestión principal estuvo a cargo del presidente Alfonso López P., fue inaugurado por el presidente Eduardo Santos en 1940. Finalizando con ello el abastecimiento de agua en Cartagena de Indias mediante el acuífero de Turbaco.

1.2 MARCO TEORICO

Los sedimentos naturales tienen un rango muy amplio de conductividades hidráulicas. Cerca de la superficie terrestre existen muy pocas, si alguna, formaciones geológicas que sean absolutamente impermeables. Exposición a los elementos climáticos, fracturamiento, así como disolución han afectado, en algún grado, a la mayor parte de las rocas. (ESPINOZA, 2004)

En hidrogeología, los medios permeables de mayor relevancia están constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados o escasamente consolidados y por rocas usualmente fracturadas, los materiales que de preferencia son propicios como medios permeables son los depósitos sedimentarios fluviales, aluviales, coluviales, lacustres y lagunares.



1.2.1 El suelo y las aguas subterráneas

Se define como suelo a la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella.

Cuando la lluvia cae al suelo esta puede tomar diferentes rutas. El agua de lluvia puede correr por la superficie del suelo y desembocar en ríos, lagos, quebradas y arroyos, un porcentaje del agua va a ser usada por las plantas, otro porcentaje se va a evaporar y regresar a la atmósfera y el resto se va a infiltrar en el suelo.

Los suelos y las aguas subterráneas tienen problemáticas específicas, diferentes a las de las aguas superficiales, aunque con muchos puntos en común entre ambos: a menudo la contaminación presente en los suelos está precisamente asociada al agua que éstos contienen, o muestran determinadas relaciones con el mismo que hacen que haya que considerar el problema de la descontaminación como un todo. Por otra parte, no hay que olvidar que a menudo las aguas subterráneas, contaminadas o no, no están en el suelo, sino en el subsuelo, afectando a acuíferos contenidos en rocas completamente diferentes a lo que llamamos suelo, y por tanto, con problemáticas distintas.

1.2.2 Evaporización

La evaporación ocurre como consecuencia de un aumento natural o artificial de la temperatura. En el caso del agua, la agitación de sus moléculas por acción de calor provoca que estas logren ganar la energía suficiente para desprenderse del líquido y convertirse en vapor.

La evaporación constituye una de las fases del ciclo hidrológico o ciclo del agua, imprescindible para la vida. El agua que se encuentra en los océanos o en la superficie terrestre está evaporándose constantemente por acción de la energía solar. Al alcanzar el estado gaseoso, sube a la atmósfera para condensarse y formar nubes. Luego se precipita en forma de lluvia, nieve,



niebla o rocío, y regresa a la superficie terrestre y los mares, donde, ya en estado líquido, empieza nuevamente todo. (Aparicio, 1999)

1.2.3 Precipitación

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no *virga*², neblina ni rocío, que son formas de condensación y no de precipitación. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico.

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida en nuestro planeta, tanto de animales como de vegetales, que requieren del agua para vivir. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar el punto en que se precipitan por la fuerza de gravedad.

1.2.4 Infiltración

Es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por ella o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen acumulado anteriormente. Superada por la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. (Aparicio, 1999).

Las condiciones de la superficie y las características del terreno juegan un papel muy importante en el fenómeno de la infiltración. En el caso de la condición de la superficie, es necesario tomar

² Es el hidrometeoro que cae de una nube pero que se evapora antes de alcanzar el suelo. A grandes altitudes, la precipitación cae mayormente como cristales de hielo antes de que se funda y finalmente se evapore. Se debe fundamentalmente al calor de compresión debido al incremento de la presión atmosférica acercándose al suelo. Es más común en el desierto.



en cuenta que una superficie desnuda está expuesta al choque directo de las gotas de lluvia, que da lugar a la compactación y por lo tanto disminuye la infiltración.

Cuando un suelo está cubierto de vegetación, las plantas protegen de la compactación por impacto de lluvia, se frena el recorrido superficial del agua que está, así, más tiempo expuesta a su posible infiltración, y las raíces de las plantas abren grietas en el suelo que facilitan la penetración del agua.

La textura del terreno influye por sí y por la influencia en la estabilidad de la estructura, tanto menor cuanto mayor sea la proporción de materiales finos que contenga. Un suelo con gran cantidad de limos y arcillas está expuesto a la disgregación y arrastre de estos materiales por el agua, con el consiguiente llenado de poros más profundos. (*Wikipedia.org/Propiedades del agua y aguas subterráneas, 2010*) La estructura define el tamaño de los poros. La existencia de poros grandes reduce la tensión capilar, pero favorece directamente la entrada de agua.

El calor específico del terreno influirá en su posibilidad de almacenamiento de calor que, afecta a la temperatura del fluido que se infiltra, y por tanto a su viscosidad.

Ecuación general de infiltración

La ecuación general considera flujo de agua en medio no saturado. Este tipo de flujo puede describirse con la ecuación de Darcy, originalmente desarrollada para suelos saturados:

$$q = K \text{ grad } h \text{ [L}^2 \text{ T}^{-1}\text{]}$$

Dónde:

q = velocidad de Darcy [L² T⁻¹]

K = conductividad hidráulica del suelo [LT⁻¹]

h = carga piezométrica [L]



En suelos no saturados K varía con la humedad del suelo, teniendo como límite la conductividad hidráulica saturada K_{sat} . h , por su parte, tiene dos componentes principales en un suelo no saturado, en función de las energías involucradas:

$$h = \phi + z \text{ [L]}$$

Dónde: ϕ = potencial capilar, altura de agua equivalente que ejerce la misma tensión de succión capilar [L].

Z = potencial gravitacional (profundidad) [L].

La carga piezométrica de agua “ h ” se mide en dimensiones de altura pero también puede entenderse como la energía por unidad del peso del fluido.

1.2.5 Permeabilidad

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es *permeable* si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e *impermeable* si la cantidad de fluido es despreciable.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material. (Wikipedia.org/Propiedades del agua y aguas subterráneas, 2010)

1.2.6 Porosidad y Transmisibilidad

La porosidad o fracción de huecos es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100%. El término se utiliza en varios campos, incluyendo farmacia, cerámica, metalurgia, materiales, fabricación, ciencias de la tierra, mecánica de suelos e ingeniería, por su parte la transmisibilidad mide la cantidad de agua, por unidad de ancho, que puede ser transmitida



horizontalmente a través del espesor saturado de un acuífero con un gradiente hidráulico igual a 1 (unitario). (Espinoza, 2004)

1.2.7 Aguas Subterráneas

Se llaman aguas subterráneas a las existentes entre los intersticios del terreno, bajo su superficie. La aparente falta de regularidad en la aparición de afloramientos de aguas subterráneas y la dificultad de su previsión. “La existencia de las aguas subterráneas en algunas regiones, representa un factor de suma importancia para la vida de los pueblos.” (Espinoza, 2004), Todo esto ha dado siempre un carácter curiosamente misterioso a los estudios que se les han dedicado. El verdadero desarrollo de las técnicas científicas de explotación y captación de ellas ha tenido lugar, en los últimos sesenta años.

Las modernas técnicas de sondeo, el empleo de equipos de bombeo modernos, especialmente la bomba vertical sumergida, accionada por motores eléctricos, han sido los factores determinantes del marcado incremento reciente del uso de las aguas subterráneas, sobre todo en aquellos países de un desarrollo industrial elevado.

El origen de las aguas subterráneas es uno de los problemas que más han preocupado al hombre desde los tiempos más remotos. La teoría de la infiltración, que supone que todas las aguas subterráneas provienen bien de infiltración directa en el terreno de las lluvias o nieves, o indirecta de ríos o lagos, no ha sido aceptada universalmente, sino desde tiempos relativamente reciente.

La palabra acuífero proviene de dos palabras latinas: aqua, de agua, y ferre, traer, y se define como la formación, o parte de una formación, que contiene suficiente material permeable cuyos poros están llenos de agua subterránea; se utilizan para obtener cantidades significativas de agua de pozos y manantiales. Los acuíferos más productivos en el mundo están compuestos de materiales sin consolidar, como gravas y arenas. (Espinoza, 2004)



¿Quién estudia los acuíferos? El estudio de los acuíferos lo trata principalmente la hidrogeología, una rama de la hidrología que trata sobre el agua subterránea, su yacimiento, movimiento, recargas y descargas, propiedades de las rocas que influyen en su almacenamiento y métodos empleados para su investigación y conservación. En general, el agua subterránea, comparada con el agua superficial, tiene múltiples ventajas, ya que siempre está libre de bacterias y no contiene materia en suspensión, es transparente, incolora y su temperatura es relativamente constante.

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible. A veces, cuando circulan bajo tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales. La dirección y velocidad del movimiento del agua subterránea están determinadas por varias características del acuífero y de las capas impermeables del suelo (donde el agua tiene dificultad en penetrar). (ESPINOZA, 2004) Las dos propiedades de los acuíferos que afectan el almacenamiento y flujo del agua subterránea son la porosidad (cantidad de espacio abierto en el material) y la conductividad hidráulica (medida de la habilidad de un acuífero para transmitir agua). Si la roca permite que el agua se mueva de una forma relativamente libre dentro de ella, puede moverse distancias significativas en un corto periodo de tiempo, pero también puede ir a acuíferos más profundos, donde demorará años en volver a ser parte del ambiente.

Actualmente el agua dulce se ha convertido en un recurso escaso, incluso en aquellos países que tienen ríos y climas templados. El aumento de la población en las ciudades, aunado al incremento del nivel de vida, obliga a canalizar cada vez más agua a los núcleos urbanos, controlar su salubridad y realizar tratamientos de aguas residuales procedentes del alcantarillado para que no contaminen los cursos de agua en los que desembocan.

La importancia del estudio del agua subterránea es que es la principal fuente de agua potable en el mundo; sin embargo, se debe tener en cuenta el balance del ciclo hidrológico para su mejor aprovechamiento y conservación, así como las consecuencias ambientales y sociales que acarrea la explotación de los acuíferos. *“En el subsuelo tenemos un gran tesoro, que es el agua subterránea, la cual es accesible, económica y de alta calidad.”* (Espinoza, 2004)



Se refiere a toda instalación que permita poner a disposición de uso el agua contenida en los acuíferos. Por ejemplo, los pozos son perforaciones verticales de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial. Los drenes o galerías que se refieren a perforaciones o instalaciones horizontales de sección más o menos circular y con una longitud mucho mayor que el diámetro. El agua penetra a lo largo de la obra creando un flujo aproximadamente paralelo y horizontal. (Hernandez- Mora, 2003)

Captaciones de manantiales corresponde a obras civiles que pretenden proteger la salida de agua subterránea procedente de un acuífero, este tipo de obra es muy común especialmente en acueductos rurales.

Los pozos representan también otro tipo de obra muy común para extraer agua subterránea, para ello se requiere de un dispositivo mecánico que extraiga el agua, generalmente se emplea la bomba sumergible. Cuando se inicia el bombeo en un pozo, se produce un descenso en el nivel del agua y se forma un cono de influencia el cual va extendiéndose de forma que la cantidad de agua obtenida a consecuencia del descenso de nivel iguale a la extraída por el pozo.

El movimiento del agua subterránea en 3 dimensiones, a través de un medio poroso se representa por la ecuación diferencial siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Ecuación (1)

Σ Flujos ENTRANTES - Σ Flujos SALIENTES= Δ Almacenamiento

Dónde:

K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} = valores de la conductividad hidráulica a lo largo de los 3 ejes ortogonales del espacio, X, Y y Z. (LT-1).



h = carga potenciométrica (L).

Q = flujo por unidad de volumen, representa las fuentes y/o sumideros (T-1).

S_s = almacenamiento específico del medio poroso (L-1).

t = tiempo (T).

Por consiguiente, la ecuación fundamental representa matemáticamente una conclusión lógica:

La diferencia entre la cantidad de agua que entra y sale por las caras de un cubo poroso ideal (por razones de las diferencias de nivel piezométrico entre este cubo y las zonas del acuífero inmediatas), más las entradas de agua exteriores al sistema, tiene que ser igual a la variación del almacenamiento, es decir, a lo que se llena o vacía dicho cubo. (Rodríguez, 2000) Es evidente que se expresa de una manera muy simple, pero puede ser útil para dejar claro las ideas, la ecuación puede resultar de difícil o imposible solución, según sean las condiciones de contorno, y es aplicable a los problemas generales de movimiento del agua en los acuíferos; se definen dos tipos de régimen, en función de que exista o no variación en el almacenamiento del medio poroso.

- Régimen Transitorio: en el que tenemos variación con el tiempo.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Ecuación (2)}$$

- Régimen Permanente: En el que no existe variación con el tiempo, por lo que el segundo término de la ecuación fundamental es cero.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad \text{Ecuación (3)}$$



1.2.8 Ley de Darcy

El ingeniero francés Henry Darcy, observó que el flujo laminar de un fluido (para densidad y temperatura constante) entre dos puntos de un medio poroso era proporcional al gradiente hidráulico (dh/dl). (Rodríguez, 2000)

La ecuación que representa el Flujo a través de un medio poroso, es conocida como Ley de Darcy (1856) y se expresa:

$$Q = -K \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial l}$$

Ecuación (4)

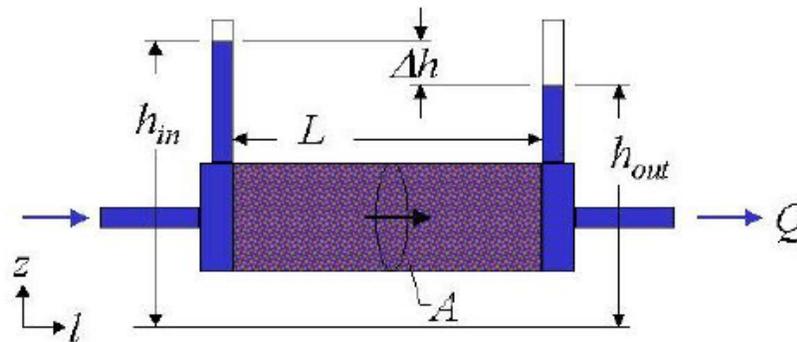


Ilustración 4. Modelo Ley de Darcy

Donde:

Q = caudal (L^3T^{-1})

K = conductividad hidráulica (LT^{-1})

A = área transversal al flujo (L^2)

h = carga hidráulica (L)

l = distancia entre 2 puntos (L)

El signo negativo (-) es un convencionalismo, para indicar que el flujo es hacia fuera.



La conductividad para un medio, es función de las características del medio y del fluido:

$$K = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu}$$

Ecuación (5)

Dónde:

k = permeabilidad intrínseca del medio poroso (L2).

ρ = densidad del fluido (ML-3).

μ = viscosidad dinámica del fluido (ML-1T-1)

g = aceleración de la gravedad (LT-2)

La permeabilidad intrínseca de un medio poroso depende de la forma y diámetro de los poros del suelo, en la tabla siguiente se muestran valores característicos para la permeabilidad intrínseca (k) y para la conductividad hidráulica (K).

Material	Permeabilidad Intrínseca k (cm ²)	Conductividad Hidráulica K (cm/s)
Arcilla	10^{-6} - 10^{-3}	10^{-9} - 10^{-6}
Limos/limos arenosos	10^{-3} - 10^{-1}	10^{-6} - 10^{-4}
Arenas limosas Arenas finas	10^{-2} -1	10^{-5} - 10^{-3}
Arenas graduadas	1- 10^2	10^{-3} - 10^{-1}
Gravas graduadas	10 - 10^3	10^{-2} -1

Tabla 1. Valores característicos para la permeabilidad intrínseca (k) y para la conductividad hidráulica (K).

Fuente: Modelización hidrogeológica, (Rodríguez, 2000).



2. OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento hidrogeológico de las aguas subterráneas del municipio de Turbaco-Bolívar basándose en datos e información primaria y secundaria obtenida y así elaborar un modelo conceptual explicativo sobre el comportamiento hidrogeológico del flujo para proporcionar una guía metodológica sobre el buen manejo de las aguas subterráneas ubicadas en este municipio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar una guía metodológica que permita evaluar las características físicas de las aguas subterráneas ubicadas en la cabecera municipal de Turbaco, Bolívar.
- Ubicar las áreas de recarga y descarga de las aguas subterráneas que se encuentran en el municipio de Turbaco Bolívar.
- Realizar una caracterización física de los pozos elegidos de la zona de estudio por medio de métodos convencionales.
- Determinar si representa algún riesgo para los habitantes el afloramiento en ciertas áreas ubicadas en Turbaco-Bolívar.
- Formular un modelo conceptual del comportamiento del flujo de las aguas subterráneas ubicadas en la cabecera municipal de Turbaco, Bolívar.



3. METODOLOGÍA

El proyecto investigativo es clasificado como una investigación mixta debido a que cuenta con la naturaleza investigativa documental y experimental, ósea, el proyecto contó con datos cuantitativos y cualitativos, porque fué necesario recolectar datos directamente en la zona de estudio y analizar información obtenida de las entidades públicas y privadas. Para llevar acabo los objetivos del proyecto se realizaron las siguientes actividades dentro de las etapas del proyecto resumidas en la *ilustración 5*:

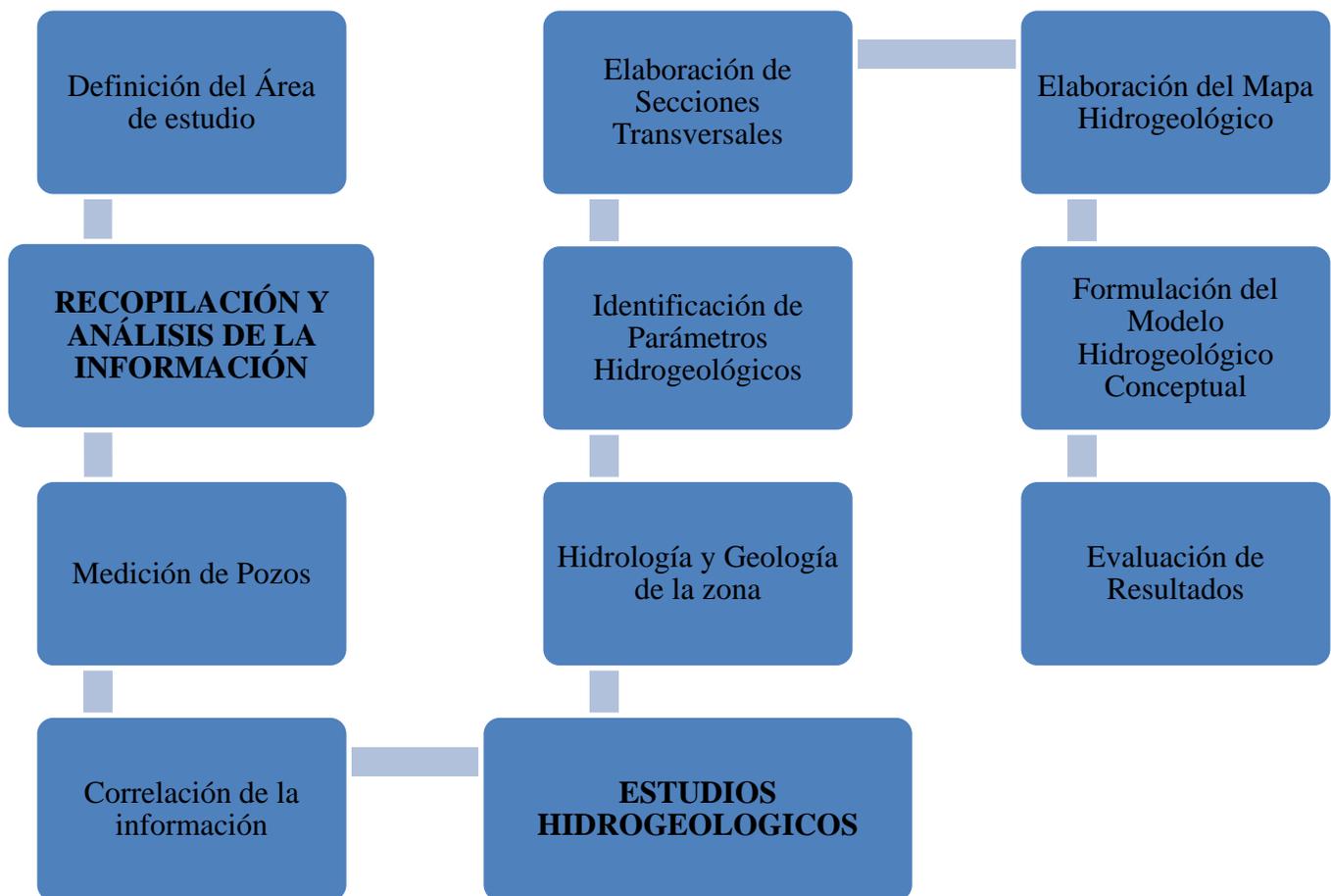


Ilustración 5. Esquema de la metodología utilizada



3.1 RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACION

En esta etapa del estudio se realizaron las siguientes actividades:

- Definición del área de estudio
- Recopilación y Análisis de la Información
- Medición de Pozos
- Correlación de la Información

3.1.1 Área de Estudio

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en el municipio de Turbaco de Bolívar, está localizado al norte del departamento de Bolívar, entre las coordenadas geográficas aproximadas de sus puntos extremos, siguientes: $10^{\circ} 16' 55''$ - $10^{\circ} 25' 36''$ de Latitud y $75^{\circ} 16' 57''$ - $75^{\circ} 27' 41''$ de Longitud al Oeste de Greenwich, el territorio central de estudio está dado en la cabecera Municipal, que abarca desde La hacienda Matute hasta el arroyo Mameyal, con un área aproximada de 489.46 Hectáreas. Área en el que se encontraron 11 Pozos y 7 Manantiales.

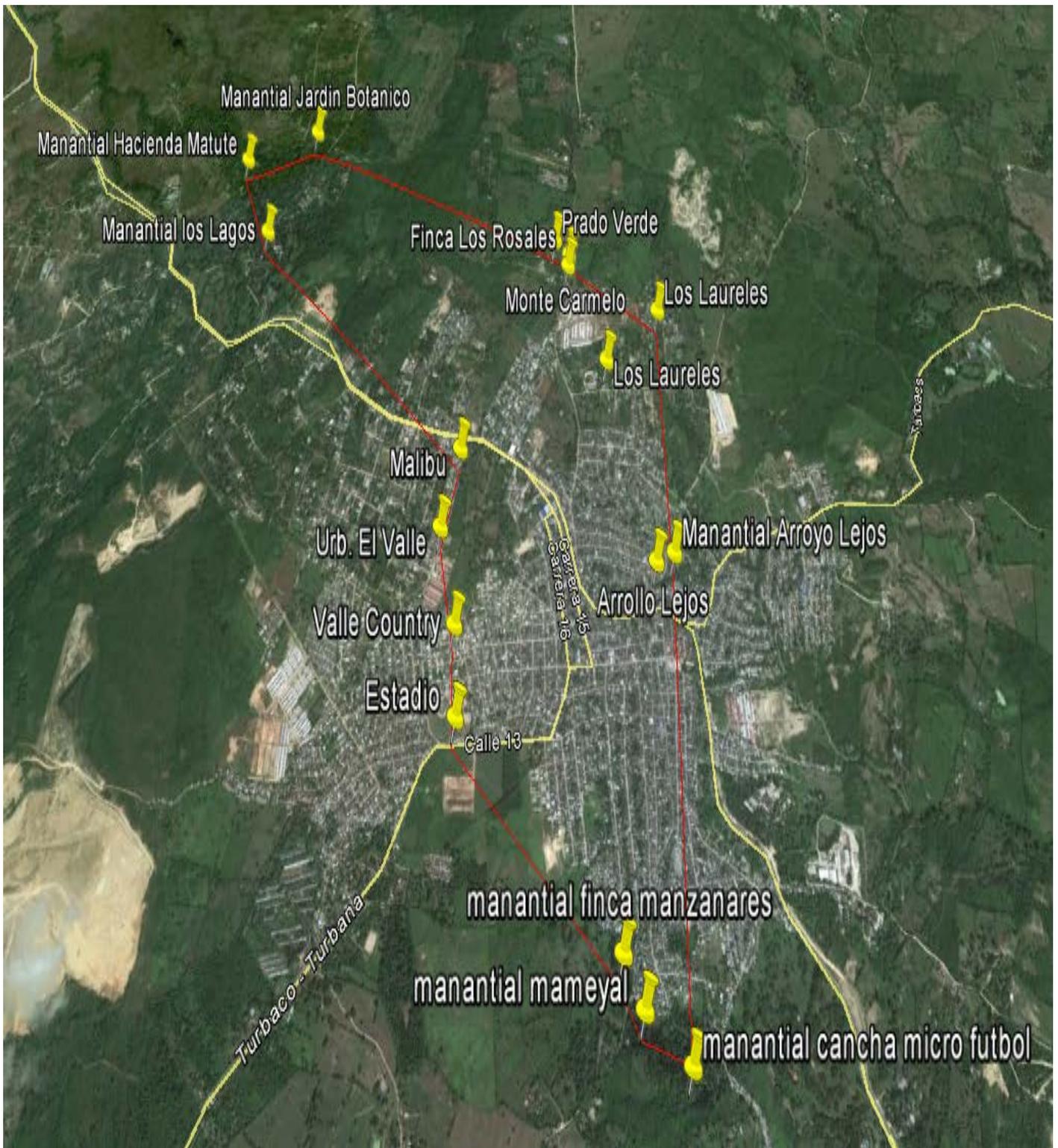


Ilustración 6. Área de Estudio



3.1.2 Recopilación y Análisis de la Información

Para hacer efectivo y exitoso el desarrollo de esta investigación fue necesario contar con el *PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE TURBACO*, donde se encuentran las principales características físicas de este municipio, además se contó con información recopilada de entidades como CARDIQUE, INGEOMINAS y empresas de ingeniería (*Anexos, Estudios de suelos*). De la calidad de información obtenida dependió el buen procedimiento y desarrollo de esta investigación. Además fue conveniente obtener y revisar todos los documentos adicionales que aportaron datos valiosos para el proyecto, tales como: estudios de suelo y estudios realizados en otros países.

3.1.3 Medición de Pozos

Eligiendo el horario más apropiado de 6:00 am a 9:00 am se realizaron las mediciones en el campo, utilizando una cinta métrica de fibra de vidrio con una boya en su punta y una pesa en la parte inferior de esta, se calibró de tal manera que el cero de la cinta correspondiera con el nivel del agua. En el campo se presentaron inconvenientes con el sistema optado, debido a que había poca luz en el pozo, al igual en muchas ocasiones los pozos se encontraban sellados lo que imposibilitaba el ingreso de la bolla en los mismos optamos por modificar el sistema e instalar una luz en la punta de la cinta con la cual se veía con claridad todo el recorrido hasta cuando llegaba al nivel del agua.

Las mediciones se realizaron a nivel del terreno, por tal motivo en las mediciones de los pozos artesianos fue necesario restar a la medida total la altura de las obras que se realizaron por motivo de la captación de agua, y en el caso de que la obra era demasiado grande se trasladó la cota de la altura de la obra al nivel de terreno con un nivel de manguera.



3.1.4 Correlación de la Información

El procesamiento de la información obtenida en el campo estuvo sujeto a la información secundaria presente que fue recopilada, ya que esta es la base principal del estudio y debido a la gran variación que posee la naturaleza de las aguas subterráneas, es necesario consolidar los datos históricos con los datos obtenidos.

3.2 ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

Los estudios hidrogeológicos fueron realizados en el siguiente orden:

- Hidrología y Geología
- Identificación de Parámetros Hidrogeológicos
- Elaboración del Mapa Hidrogeológico
- Elaboración de Secciones Transversales
- Formulación del Modelo Hidrogeológico Conceptual
- Evaluación de Resultados.

3.2.1 Hidrología y Geología

La mayor parte del área del municipio se encuentra en una región lluviosa, donde la precipitación alcanza los 900 milímetros anuales.

En los meses de mayo a noviembre se presenta casi la totalidad de las lluvias efectuándose en el mes de junio disminución de las precipitaciones y siendo los meses de septiembre y octubre donde se observa la mayor cantidad de precipitaciones.

El estudio hidrológico se orientó con base a la interacción de la hidrología superficial con la hidrología subterránea, para así hacer énfasis en los parámetros de infiltración que inciden en la recarga hacia los acuíferos. La forma directa de medir infiltración profunda (o percolación



profunda) hacia los acuíferos (no infiltración superficial en la zona no saturada), es mediante piezómetros o pozos de observación cerca de las zonas de recarga. La hidrología en nuestro caso es un método indirecto, en donde las estimaciones de infiltración se hicieron, utilizando la zonificación de zonas de recarga con el almacenamiento de agua de acuerdo al uso del suelo.

Debido a que los parámetros geológicos no varían demasiado con el pasar del tiempo, se decidió por lo tanto dar por sentado los datos que reposan en el CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005 presentado a CARDIQUE, que a su vez afianzan los mapas geológicos del INGEOMINAS sobre la geología de la Ilustración 7 (*Plancha 30, Columna Litológica de Turbaco Bolívar, INGEOMINAS.*)

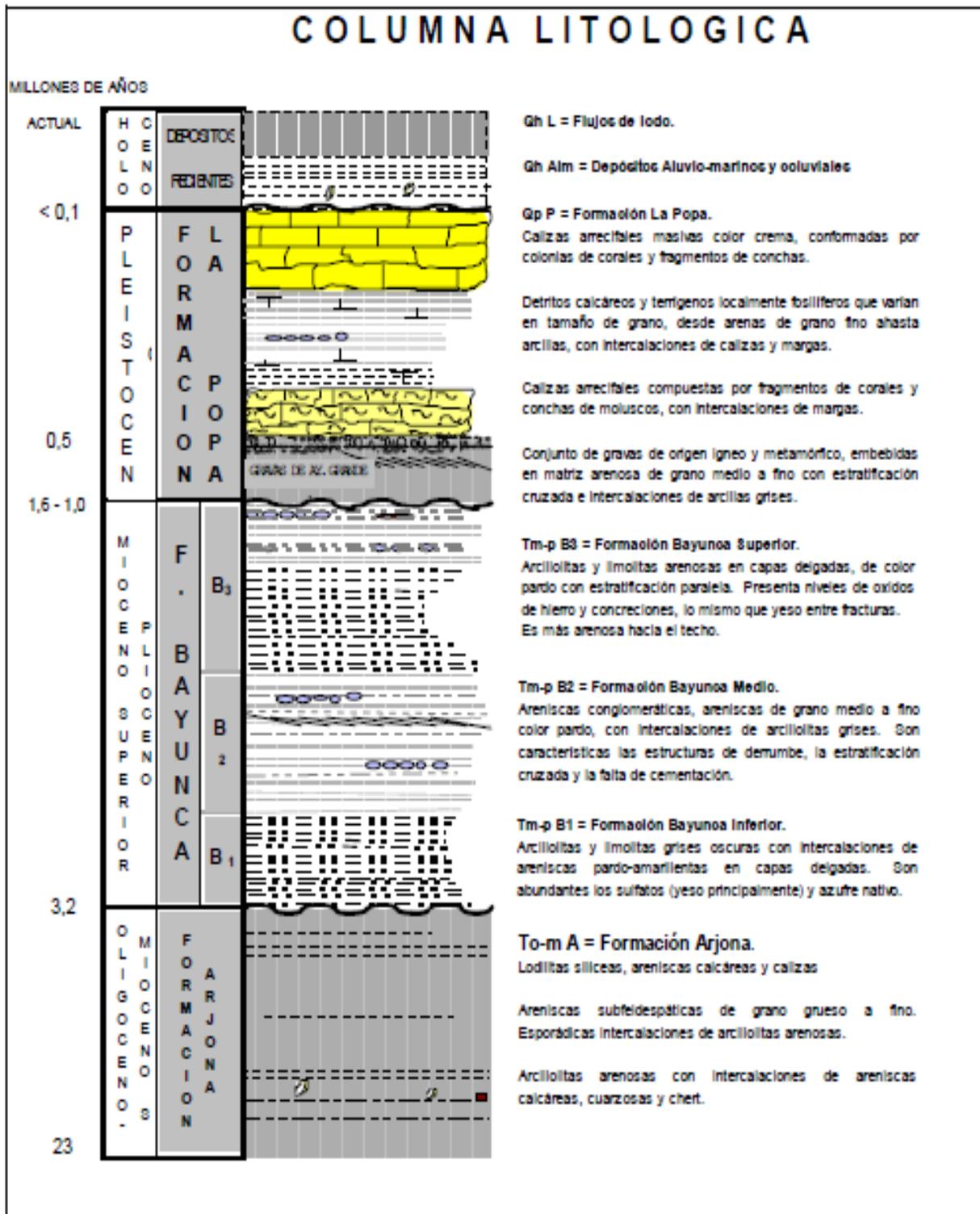


Ilustración 7. Plancha 30, Columna Litológica de Turbaco Bolívar, INGEOMINAS



3.2.2 Identificación de Parámetros Hidrogeológicos

El municipio de Turbaco se caracteriza por poseer gran presencia de nacimientos de agua, debido a su naturaleza geológica y a su topografía; estos nacimientos hacen parte del sistema denominado Canal del Dique, formado en este municipio por numerosos arroyos que bajan sus niveles de agua entre los meses de marzo y abril, meses terminales del período seco, periodo en el que se realizó el estudio.

3.2.2.1 Estudio de la Recarga

Las variables que afectan el estudio de la recarga como el Clima y Transmisibilidad, fueron basados en estudios realizados por el IDEAM y posteriormente estudiadas en el CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005 elaborado por CARDIQUE, “*Elaboración del estudio hidrogeológico y determinación del potencial hídrico del área correspondiente al acuífero de Turbaco*”, Luis Enrique Gómez Blanco

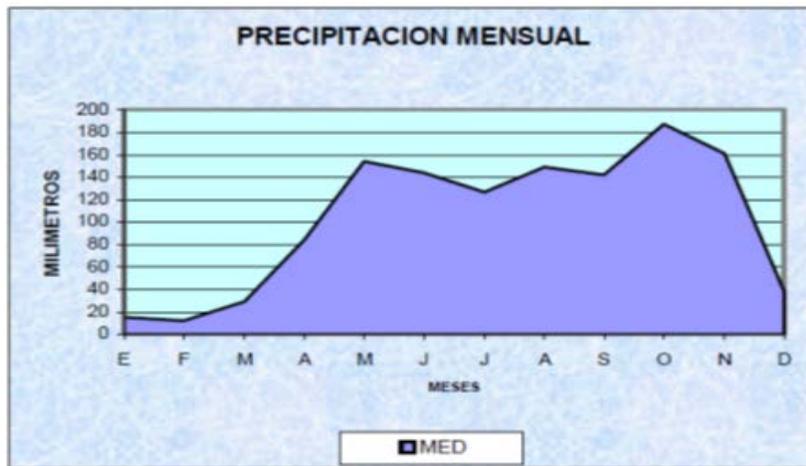
3.2.2.2 Clima

Debido a la importancia del clima en este estudio, se describe el comportamiento temporal de los parámetros climáticos, los elementos climáticos de relevancia dentro del estudio fueron la precipitación y la temperatura.

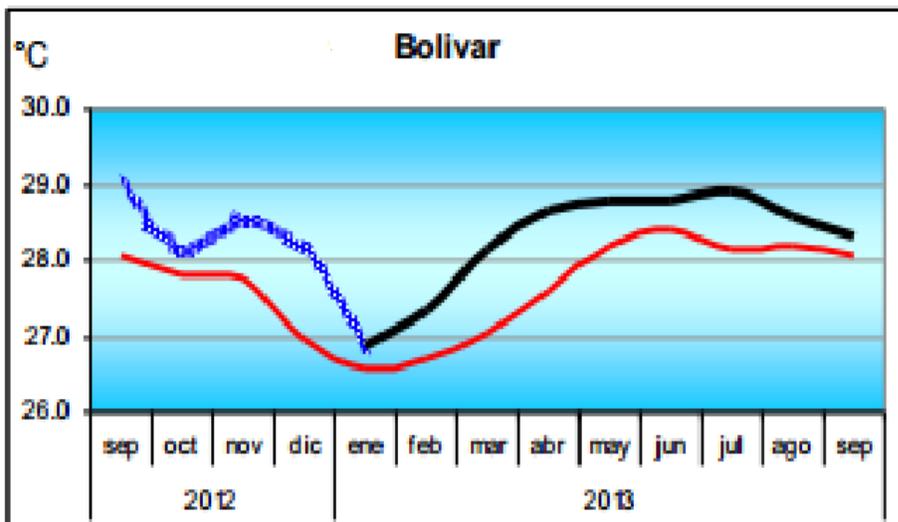
Basándose en la información secundaria obtenida se destacan en las zonas de influencia dos picos máximos en las precipitaciones del Municipio de Turbaco con valores que oscilan entre 154 y 187 mm/mes correspondientes en el primer semestre al mes de mayo y el segundo semestre al mes de Octubre y periodos denominados “periodos secos” febrero y marzo determinan un período seco con valores de 12 y 15 mm/mes respectivamente, meses en los cuales fue realizado el estudio. (*Grafica 1*). De igual forma la temperatura fue basada en datos



históricos tomados en el CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005 elaborado por CARDIQUE, en el que se muestra la variación de la temperatura entre los años 2012 y 2013, si bien no es un dato confiable que puedan marcar pautas exactas dentro del estudio cumple la función de suministrar percepciones de cómo podría ser el comportamiento de la temperatura en el departamento de Bolívar. (Grafica 2).



Grafica 1. Precipitación mensual en el Municipio de Turbaco, CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005; CARDIQUE, Luís Enrique Gómez Blanco



Grafica 2. Variación de Temperatura en el Dpto. de Bolívar entre 2012- 2013 CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005; CARDIQUE, Luís Enrique Gómez Blanco



3.2.2.3 Transmisibilidad o Transmisividad

Se utilizó la información sobre la prueba de bombeo a caudal constante realizada en el CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005 presentado por CARDIQUE por el consultor Luis Enrique Gómez Blanco en la Urbanización Altos de Plan Parejo cuyas coordenadas geográficas son X = 852.231 m E, Y=1'634.306 m. N. la cual genera los datos que se encuentra en la tabla 3

Para la obtención de las variables hidro-climáticas el estudio se basó principalmente en estudios realizados por IDEAM y que están plasmados en la Tabla 2.

Parámetro	Método	Valor
Nivel Estático (m) Pozo Turbaco		19.25
Nivel Dinámico Pozo Turbaco (m)		54.99
Abatimiento – s (m) Pozo Turbaco		35.74
Caudal – Q (lps)		2.79
Capacidad específica (m/lps)		12.81
Coefficiente de Almacenamiento – S	Prueba de Bombeo (Acuífero Libre)	1.0E-03
Transmisividad T (m ² /día)	Jacob - Bombeo	15
Transmisividad T (m ² /día)	Jacob - Recuperación	7

Tabla 2. Resumen de datos de la prueba de Bombeo CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005; CARDIQUE

3.2.2.4 Inventario de aguas

En 12 visitas a la zona de estudio en sectores donde este fue enfatizado, con el fin de identificar cada uno de los componentes del sistema del acuífero del Municipio de Turbaco, basándose en el nivel piezométrico pozos para analizar las características físicas y operacionales de los mismos,



aprovechando para realizar un seguimiento de sus condiciones actuales de funcionamiento, así como también se comienza con la medición de los parámetros necesarios para la aplicación del modelo conceptual de flujo de aguas subterráneas, a partir de la información hidrológica e hidrogeológica disponible. El resultado de estas actuaciones constituye la base de la investigación, el cual debe incluir el marco hidrogeológico de los acuíferos, así como el sistema de flujo dentro de estas formaciones y entre ellas. El análisis de esta investigación se realizará a partir de un modelo conceptual que garantice el cumplimiento de los objetivos descritos; al igual, este modelo debiera identificar las zonas de recarga y descarga del sistema subterráneo, y esbozar el grado de interacción entre las aguas subterráneas y de superficie.

3.2.2.5 Elección del horario de bombeo

Se decidió realizar las mediciones los domingos de 6:00 am a 9:00 am debido a que en esos horarios el nivel de abatimiento de los pozos era mínimo, arrojando mediciones acorde con el nivel freático real, tal hipótesis se dedujo debido a que en el CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005 presentado a CARDIQUE manifiesta en el método gráfico para el cálculo de la transmisibilidad de Jacob en recuperación, existe una transmisibilidad buena por lo tanto era aplicable para todos nuestros pozos, debido a que los nuestros tienen tasas de bombeo muy inferiores a las de la prueba. Al igual para la elaboración de nuestro diseño debido a nuestra escasez de recursos y a la negativa de la comunidad a realizar este tipo de pruebas supusimos que el terreno en nuestra área de estudio es homogéneo, teniendo en cuenta también que la distancia entre pozos no afectaría porque no existe una afectación significativa en un radio de influencia de 300m como se afirma en dicho documento.

3.2.2.6 Encuestas

Se realizaron un total 23 encuestas en el sector para constatar en qué periodo de tiempo en el día los pozos registraban un mínimo abatimiento del nivel freático, además de que fuese un horario



apto para realizar el mayor número de mediciones consecutivas en el menor tiempo y que se tuviera accesibilidad para evitar cualquier percance.

Luego de realizar las encuestas se pudo identificar que el horario apto para las mediciones fue los días domingo de 6:00 am a 9:00 am. Los pozos que estaban en desuso no hubo necesidad de realizarlo en el mismo horario debido a que mostraban un nivel freático estable, debido a que según los resultados obtenidos de los estudios en las pruebas de bombeo el radio de incidencia de los pozos vecinos para registrar un abatimiento considerable en estos pozos sería de 300 metros al igual que se necesitaría una extracción de agua con una cuantía de extracción superior a la registrada en estas pruebas.

3.2.2.7 Cálculo de la recarga

El aumento de la población ocasiona el aumento del territorio urbanizado, por ende se presenta un aumento en los escurrimientos superficiales, modificando así la infiltración natural en el terreno bajando con ello los niveles de recarga del acuífero en esa zona, al igual la evapotranspiración, También es sabido que aparecen zonas de recarga artificial a causa de pérdidas en el sistema de agua potable, como también podemos notar en los estudios realizados por parte de CARDIQUE un incremento de los coliformes fecales en el agua del acuífero, lo cual puede ser un indicio de pérdidas en los sistemas de poza séptica debido al poco control y a la falta de un sistema de alcantarillado.

En este estudio no se tuvo en cuenta esa clase de pérdidas debido, a que así como se filtra aguas por los sistemas de poza sépticas y de agua, también se generan salidas a causa de la existencia de pozos clandestinos donde se extrae agua sin control alguno, por tal motivo no será un dato que pueda darse con exactitud.

Existen zonas impermeables en donde se consideró que la infiltración es nula, para ello utilizando fotografías satelitales obtenidas por GOOGLE MAPS y se realizó un porcentaje de las



zonas impermeables con respecto a la zona urbana mediante tres muestras representativas, para zonas muy pobladas, pobladas y bajamente pobladas.

3.2.3 Elaboración del Mapa Hidrogeológico

Con base en la correlación de datos obtenidos y existentes de la zona de estudio, incluyendo las secciones transversales, se realizó el plano que une los puntos de la zona donde se conozca el nivel freático, luego se realizaron los siguientes partiendo de mapas encontrados en el Plan de Ordenamiento Territorial de Turbaco; en los que se describen las características físicas generales del territorio de Turbaco; durante la realización de estas gráficas, se hará énfasis en las distintas clases de suelos en el territorio e identificando las áreas de recarga y descarga de las aguas subterráneas del municipio de Turbaco-Bolívar.

El medio físico, la distribución espacial y la geometría de las unidades hidrogeológicas, la identificación de fuentes de recarga y descarga, y la estimación de su magnitud, la posición de la superficie piezométrica, las propiedades hidráulicas y las condiciones de calidad del acuífero libre, son los elementos que en conjunto dan forma al modelo hidrogeológico conceptual.

3.2.4 Elaboración de Secciones Transversales

Con base en los datos brindados por el Gps GP023BS GPS JUNO 3B precisión 2-3m + Software de campo Arpent GIS Mobile y la superposición del plano topográfico y la zona de estudio, se tomó la altura del terreno en cada pozo, la cual se utilizó posteriormente para realizar los cortes transversales B1-B2, B3-B2, B4-B2, C1-C2, D1-D2, D1-D3, y el Corte Longitudinal A1-A8. Las alturas del terreno por la cual pasaba el eje del corte fueron tomadas gracias al software de Google Earth y corroboradas con las del plano topográfico, debido a que las cotas que nos suministraban los planos del POT de Turbaco tenían una diferencia de 100 metros lo cual era



muy impreciso. Los niveles freáticos en el eje que se realizó el corte fueron realizados mediante semejanza de triángulos, una idea aproximada de los niveles reales en la zona.

3.2.5 Formulación del Modelo Hidrogeológico Conceptual

El modelo conceptual representa la hipótesis de funcionamiento del sistema de acuífero estudiado, y por esta razón es de carácter cualitativo. En general se construye integrando la información geológica, estructural, geofísica, hidrológica, hidrogeológica. Como primer paso, el modelo conceptual fue definido en base a la información geológica e hidrogeológica disponible.

3.2.6 Evaluación de Resultados.

En donde se describen los resultados obtenidos, basándose en la información secundaria obtenida, mapeo realizado y la correlación de todos los datos existentes, se procedió a formular el modelo hidrogeológico, que contiene todos los factores que se consideraron necesarios para su realización y que coincide con los objetivos y literatura previa descrita.



4. RESULTADOS DEL PROYECTO

El modelo hidrogeológico conceptual, con base en el cual se elaboraran las fichas de cada sistema acuífero identificado, se construye atendiendo los dominios, parámetros y variables que se muestran en la *ilustración 8* y estuvo estrictamente ligado a la hipótesis de que los tres factores fundamentales que influyen en el funcionamiento de este sistema, son: la Geología, que permite la identificación y evaluación de las unidades estratigráficas con el propósito de determinar las condiciones de porosidad permeabilidad del área estudiado basándose en observaciones directas y estudios de suelo hechos previamente ; la Hidrología que permite conocer la dinámica del flujo haciendo cortes transversales en la zona e inventarios de aguas para que como resultado sea un mapa de flujo subterráneo y la Hidráulica que permite conocer el tipo de acuífero, con pruebas de bombeo realizadas por la entidad CARDIQUE para determinar la Transmisividad. Cabe mencionar que el actual sistema está basado principalmente en información secundaria obtenida, y por ende consta de datos puntuales pero este también puede considerarse dinámico debido a que la información de las variables hidrogeológicas cambia constantemente tales como la extracción y la recarga.

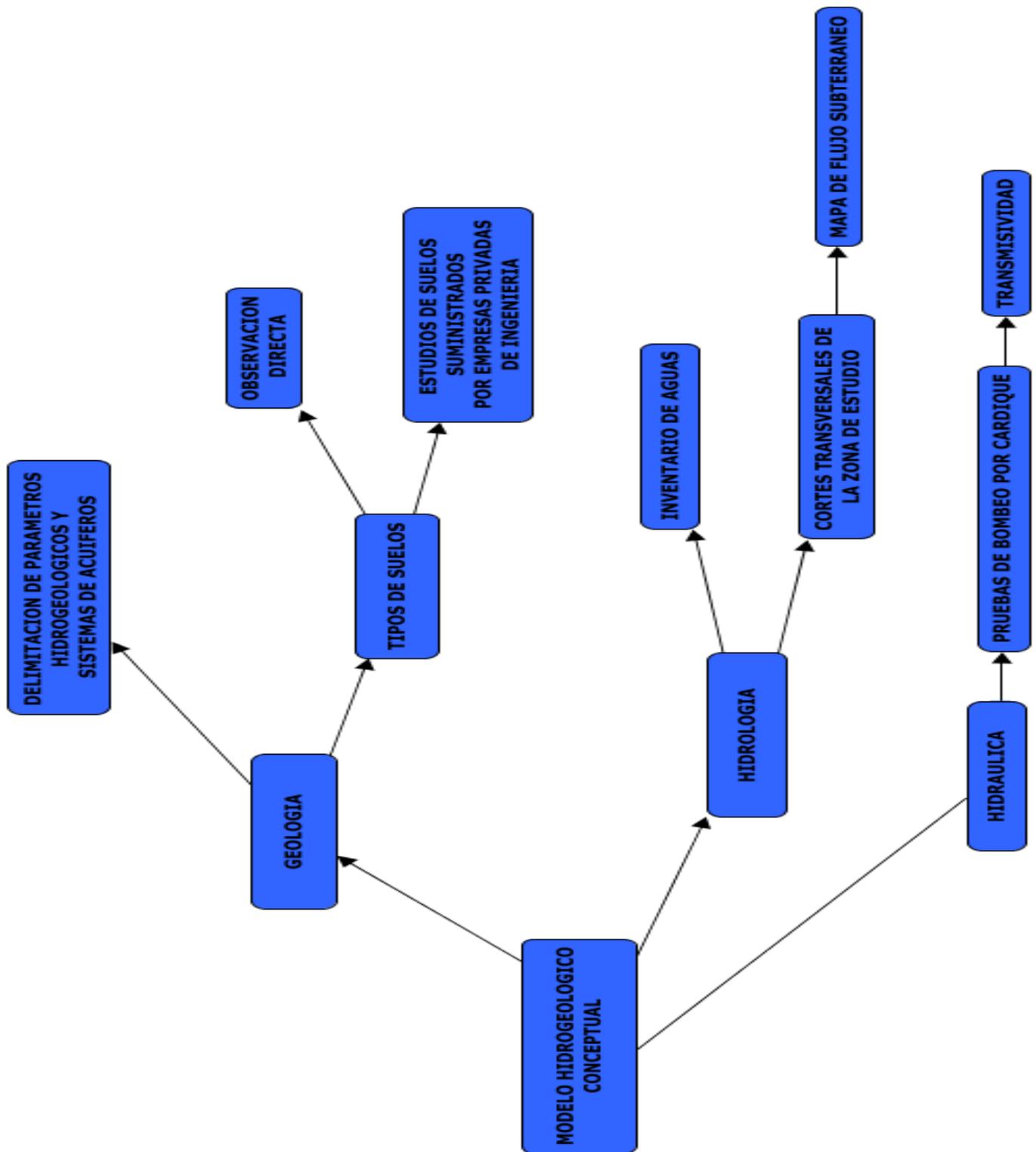


Ilustración 8. Esquema del Modelo Hidrogeológico Conceptual



4.1 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL

El modelo hidrogeológico conceptual se hizo con base en el mapa hidrogeológico, y en el mapa de recarga potencial. Las secciones transversales realizadas fueron fundamentales para determinar la dirección del flujo y parámetros hidrogeológicos, como Transmisividad, permeabilidad y Ley de Darcy que solo fue citada para determinar las unidades la conductividad hidráulica. La recarga de un acuífero puede darse por distintos factores, pero la principal fuente de recarga es el agua lluvia, pero en realidad los métodos no son exactos, por medio de medidas directas, los datos y resultados mostrados a continuación realizados en época de verano, es decir en estación seca, por lo tanto el nivel de agua de los pozos está muy por debajo del nivel alcanzado en estación lluviosa.

4.2 AREAS DE RECARGA

Correlacionando la información secundaria obtenida en la que destacamos los estudios de suelo suministrado por empresas privadas de ingeniería y la información tomada directamente en la zona de estudio, llegamos a la conclusión de que las principales zonas de recargas están ubicadas en la finca Los Rosales cerca de Prado Verde, Los Laureles, Urbanización El Valle, la finca Manzanares y la zona del Estadio, debido a que las características del suelo en estas zonas presentan las mayores probabilidades de filtración porque son sumamente granulares, entre las que se encuentran la grava limpia y la arena gruesa, las profundidades a las cuales se encuentra el agua es mucho mayor, por lo tanto se denota un mayor recorrido en el fluido para llegar a la zona impermeable o donde pueda estacionarse, en la *ilustración 9* se muestran las áreas con mayor probabilidad para recargar el acuífero.

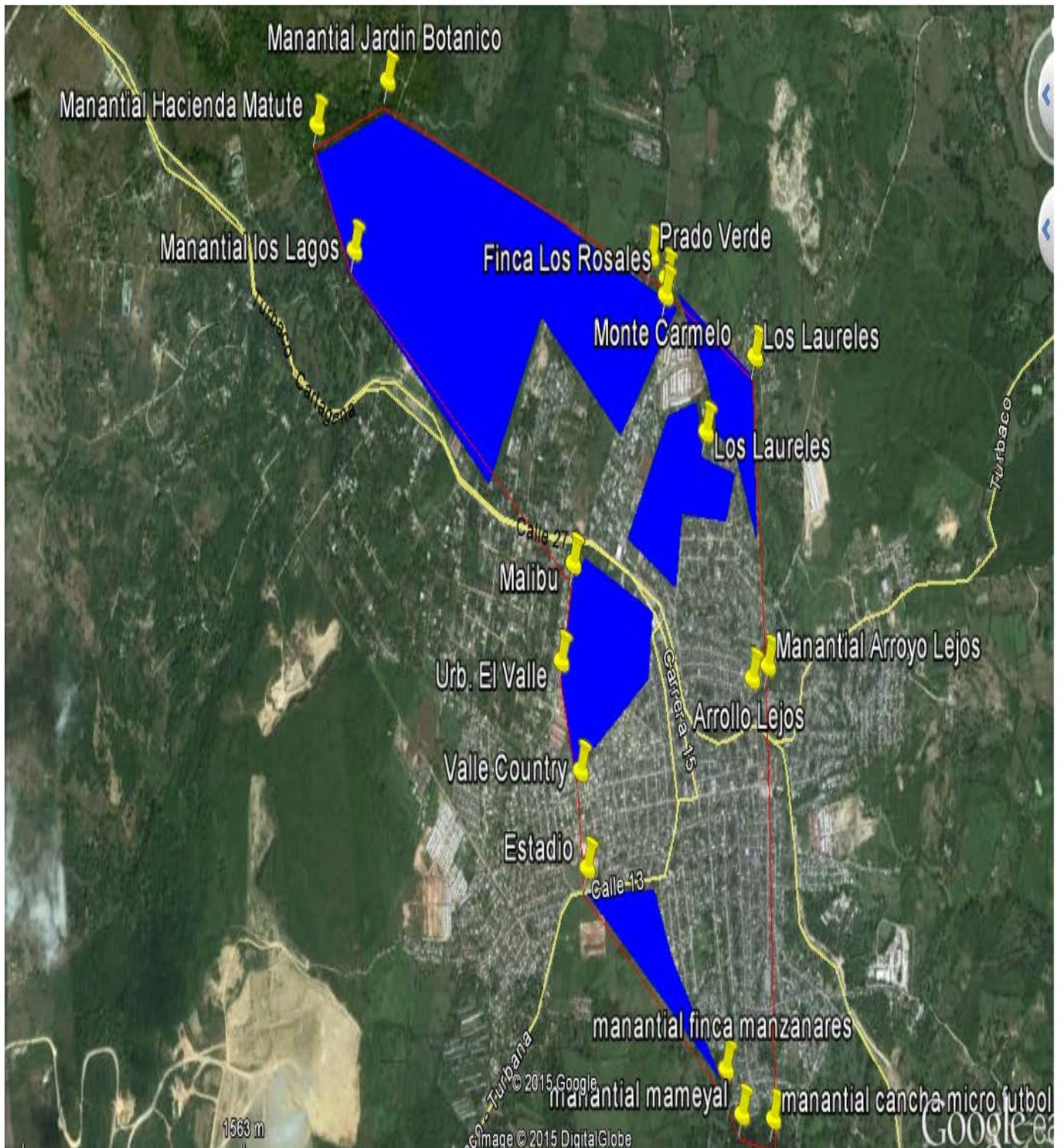


Ilustración 9. Áreas de Recarga

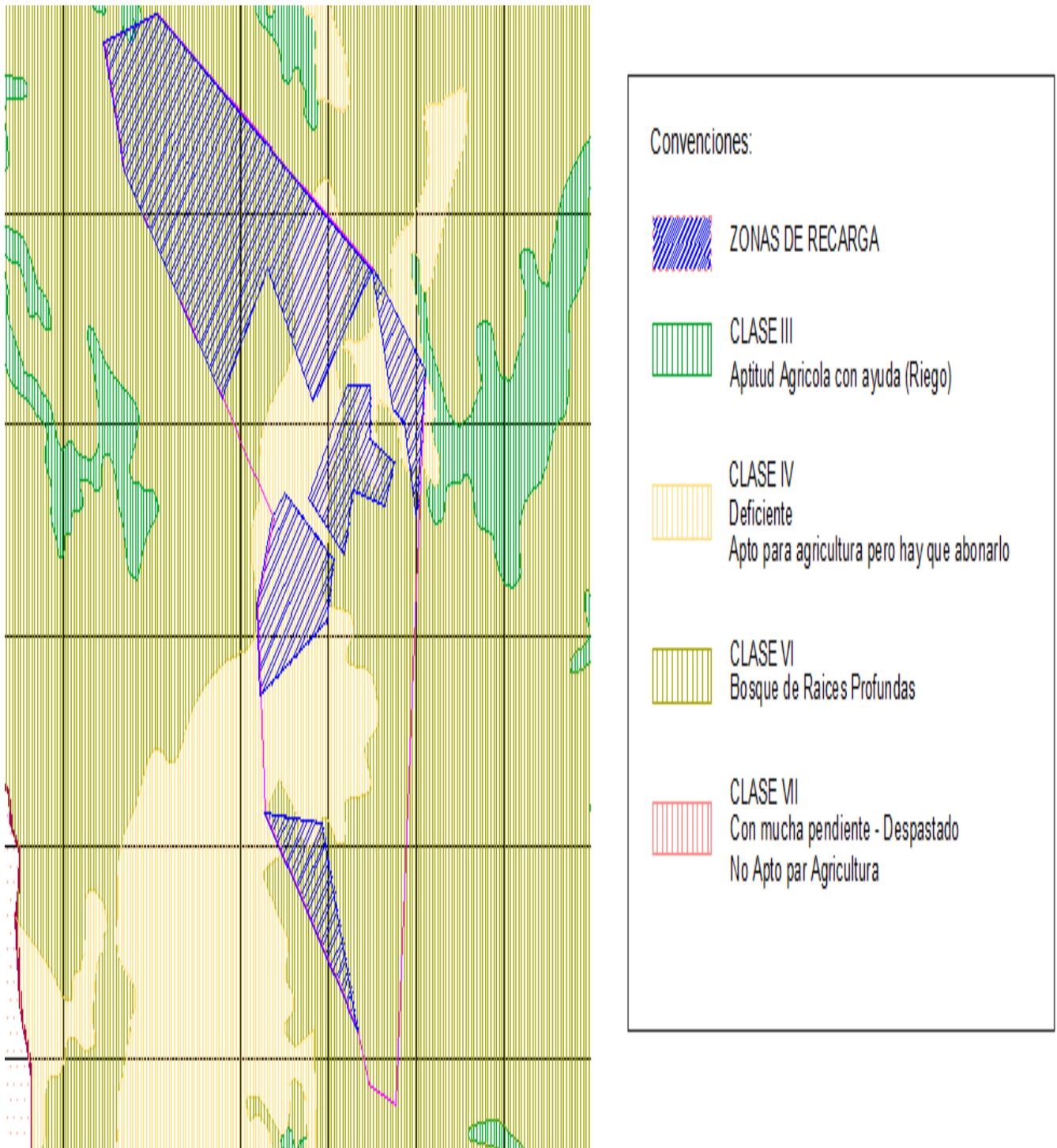


Ilustración 10. Superposición Zonas de Recarga del Acuífero, con usos del suelo.



Realizando una comparación del modelo realizado y de modelos existentes, entre los que destacamos, Modelo conceptual para las ciudades de Lima, Perú, Granada, España y la ciudad de Bogotá se da a conocer que en el modelo realizado en estas ciudades se realizan una serie de recomendaciones en cuanto a la vegetación de las zonas de recarga, donde se recomienda con una vegetación no muy alta, preferiblemente bosque nativo, y “rastrojo”, lo que hace que haya más retención superficial; también otras medidas de retención de agua superficial con pequeños embalses o “trinchos”. Asumiendo un 50% de efectividad de las medidas, se podría contar con 0.5 m³/s adicionales de recarga. Por lo que valdría la pena realizar un estudio con nuestra vegetación la cual se muestra en la *ilustración 10*, por ende realizar un análisis de que tan eficiente es el bosque de raíces profundas (suelo clase III) que se encuentra en las zonas de recarga y que se puede cultivar en el (suelo clase IV) que es deficiente y se necesita abonar para la agricultura, además estos modelos cuentan con una tecnología mucho más avanzada para la toma de mediciones, los cuales permiten la aplicaciones de las ecuaciones de flujo de infiltración y Ley de Darcy de tal manera que los resultados sean lo más exacto posibles, y tienen cabida a un modelo Matemático analítico que superponga los modelos conceptuales.

4.3 ESTUDIO DE LA RECARGA

Según los datos obtenidos y tomados directamente en el campo de la zona estudiada, la recarga cuyo proceso coloca condiciones en el movimiento del flujo de estas aguas subterráneas esta sin duda dada por elementos naturales y antrópicos, entonces los tres factores fundamentales encargados de controlar la recarga son el clima, la población y el suelo.

Según la información obtenida, las lluvias de Turbaco Bolívar están distribuidas de manera irregular durante el año, se notó que en los meses de febrero y marzo, generalmente no llueve, en abril, julio y diciembre, las precipitaciones se dan en mínimas proporciones, el resto del año llueve con mayor regularidad, siendo el mes de octubre el de mayores precipitaciones, el estudio realizado en los primeros meses del año o “estación seca” dio como resultados, niveles piezométricos excesivamente bajos en los pozos, análisis que nos lleva a la conclusión de que la recarga depende mayormente del clima siendo este un factor directamente proporcional.



Como segundo factor tenemos a la población, a medida que crece la población, la explotación de este recurso es mayor, y constantemente se necesitan excavar nuevos pozos en busca de nuevas zonas de florecimiento de estas aguas que resultan de gran beneficio en general para las personas, que es utilizada desde usos domésticos, riego de cultivos, hasta ser utilizada como agua para construcción de nuevas viviendas, la población va en aumento, la población de Turbaco según el DANE 2005 la población de Turbaco era de 63.450 habitantes, actualmente es de 70.190 habitantes, (Banco de Datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE, Junio de 2013), si a este crecimiento demográfico se le suma la gran cantidad de pozos ilegales no registrados, nos da como resultado un explosivo uso de las aguas subterráneas, sobre todo el uso de estas aguas en las partes inferiores donde es más asequible que sin lugar a dudas afecta los niveles de los pozos ubicados en la parte superior del Municipio. El suelo resultó ser el tercer factor fundamental dentro de la investigación ya que es el medio filtrante entre el depósito de agua subterránea y la superficie, dependiendo de su composición, será dada la filtración, entre más poroso sea este, mejor será la filtración, ya que si el suelo un medio de buena infiltración, afectara el recorrido y/o curso de la corriente acuífera. Estudios de suelos realizados por empresas privadas de ingeniería arrojaron que los suelos de la zona corresponden a los climas secos ondulados quebrados con alta saturación de bases, bajo contenido de materia orgánica. No cabe duda que la zona es propicia a grandes infiltraciones, tomando como referencias a las zonas de Monte Carmelo, Malibú y El Estadio, que según los estudios poseen estas características en la mayor parte de su área. En la *ilustración 12* se realizó la superposición del área de estudio con la composición del suelo en la cual se puede apreciar que a lo largo y ancho de toda la zona de estudio se encuentra la misma formación, la cual corresponde a la FORMACIÓN POPA que consta de calizas arrénciales, amarillas claras, masivas, de corales y moluscos. De igual manera el mapa geológico coincide con información secundaria obtenida por parte de las empresas privadas como se puede observar en las ilustraciones 20, 21, 22, 23 y 24 en las cuales persisten gravas tipo zahorra que corresponden a la formación popa, dicha información también es validada por los constructores de pozos artesianos, los cuales afirmaron que en las excavaciones encontraban esta piedra caliza fracturada.

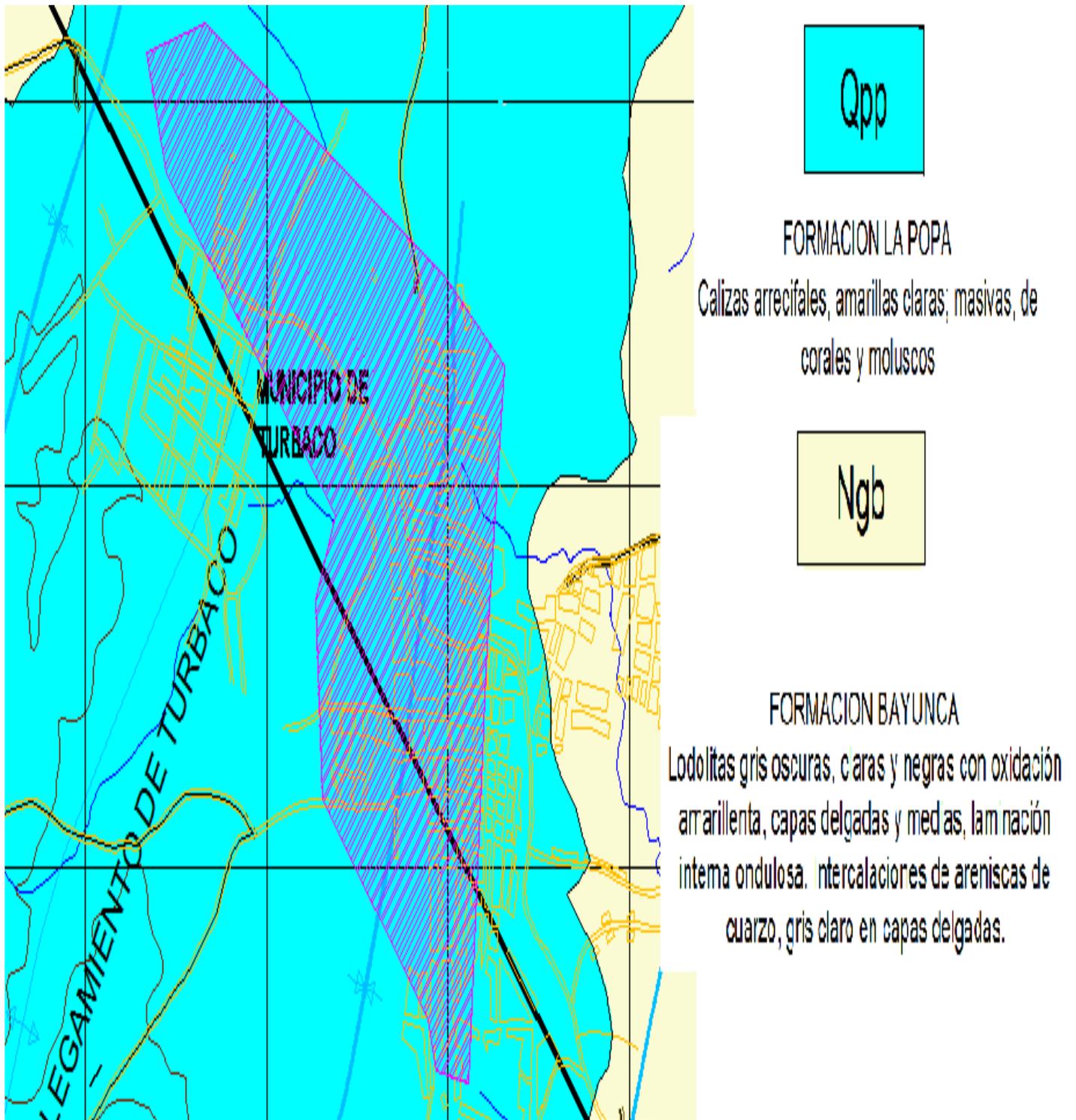


Ilustración 11. Plano Geológico



4.4 INVENTARIO DE AGUAS

El inventario de aguas se realizó basado en altitudes y coordenadas tomadas del mapa satelital de Google Earth y las distintas mediciones tomadas en campo, se tabuló como sigue a continuación en la *tabla 3*, de esta forma se facilitó la comprensión de este sistema antes de proceder a realizar los cortes transversales en la zona de estudio, mediante este inventario realizado se concluyó que las profundidades de los niveles freáticos dependen mucho de la altura del terreno donde se realiza la lectura, mostrando de esta manera, que hay una relación directa del nivel freático con la morfología del terreno, coincidiendo así con la literatura que afirma que este es un acuífero libre, debido a que los niveles freáticos siempre están por debajo de los niveles del terreno.



# POZO	NOMBRE	COORDENADAS		ALTITUD	NIVEL FREATICO	PROFUNDIDAD DEL POZO
		NORTE	ESTE			
1	Valle Country	10°19'50.88"N	75°25'9.89"O	189m	31 m	60 m
2	Urb. El Valle	10°20'3.93"N	75°25'12.29"O	190m	32 m	47 m
3	Malibu	10°20'14.65"N	75°25'8.00"O	192m	23 m	27 m
4	Monte Carmelo	10°20'42.43"N	75°24'43.04"O	182m	21.5 m	27 m
5	Prado Verde	10°20'47.34"N	75°24'45.49"O	184m	108 m	130 m
6	Finca Los Rosales	10°20'44.34"N	75°24'42.61"O	183m	64 m	90 m
7	Los Laureles	10°20'25.49"N	75°24'36.49"O	187m	14.35 m	20 m
8	Los Laureles 2	10°20'32.60"N	75°24'24.37"O	184m	17.16 m	23 m
9	Arrollo Lejos	10°19'55.94"N	75°24'30.40"O	161m	3.2 m	10 m
10	Estadio	10°19'39.68"N	75°25'10.03"O	187m	80 m	120 m
11	Manantial finca manzanares	10°19'12.45"N	75°24'42.95"O	163m	0 m	0 m
12	Manantial Mameyal	10°19'6.80"N	75°24'40.20"O	162m	0 m	0 m
13	Manantial cancha micro futbol	10°19'3.81"N	75°24'32.35"O	154m	0 m	0 m
14	Manantial Arroyo Lejos	10°19'56.90"N	75°24'26.70"O	156m	0 m	0 m
15	Manantial los Lagos	10°20'57.89"N	75°25'51.43"O	126m	0 m	0 m
16	Manantial Jardín Botanico	10°21'16.46"N	75°25'41.17"O	127m	0 m	0 m
17	Manantial Hacienda Matute	10°21'13.96"N	75°25'57.89"O	101m	0 m	0 m
18	Villa Leidy	10°20'40.67"N	75°25'31.31"O	183m	16 m	20 m

Tabla 3. Tabla de Inventario de Pozos.



4.5 SECCIONES TRANSVERSALES

Las secciones transversales se realizaron con la superposición de la zona de estudio y el mapa topográfico de toda la zona, además de basarse en que teóricamente según el pliegue de la corteza del Municipio

Los pliegues se originan por esfuerzos de compresión sobre las rocas que no llegan a romperlas; en cambio, cuando sí lo hacen, se forman las llamadas fallas. Por lo general se ubican en los bordes de las placas tectónicas y obedecen a dos tipos de fuerzas: laterales, originados por la propia interacción de las placas llamadas convergencia y verticales, como resultado del levantamiento debido al fenómeno de subducción a lo largo de una zona de subducción más o menos amplia y alargada, según el plegamiento de Turbaco Bolívar obtenido del Plan de Ordenamiento Territorial POT de este municipio, Turbaco se encuentra ubicada en una superficie netamente ondulada y limitante con las Fallas de Turbana y Pasacaballos como se muestra en la *ilustración 12*. Basándose en este estudio y el plano topográfico de la zona de la *ilustración 13* se realizaron las secciones transversales para direccionar el flujo subterráneo encontrado en Turbaco Bolívar.

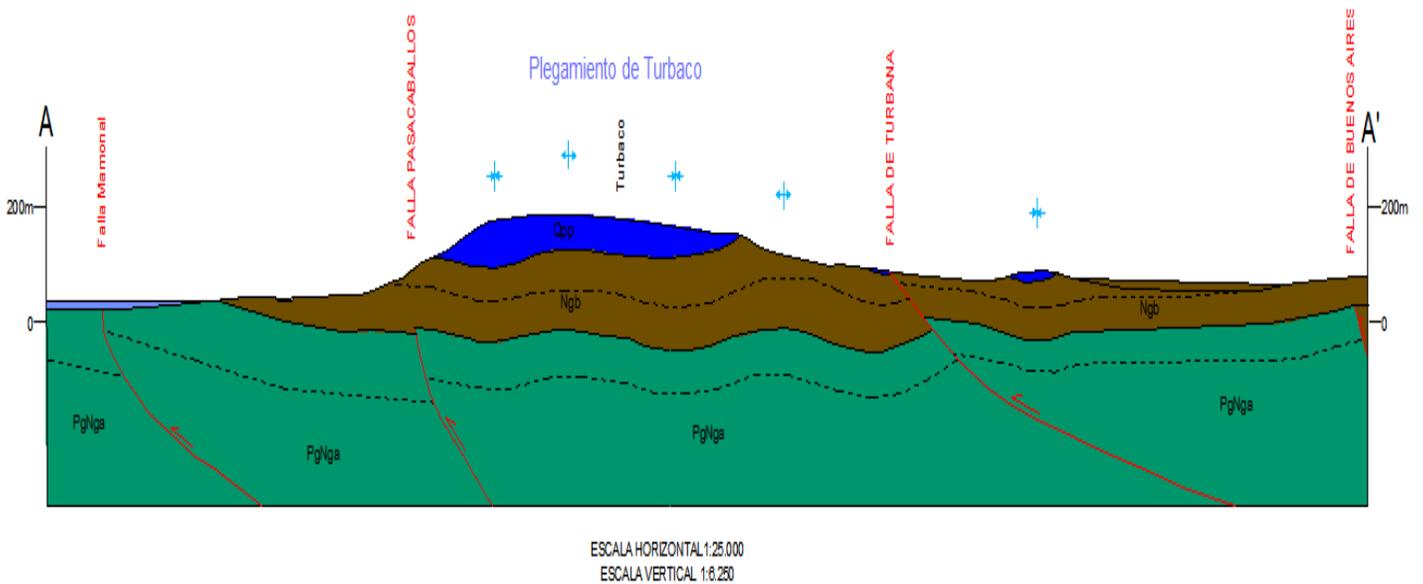


Ilustración 12. Plegamiento Hidrogeológico de Turbaco Bolívar

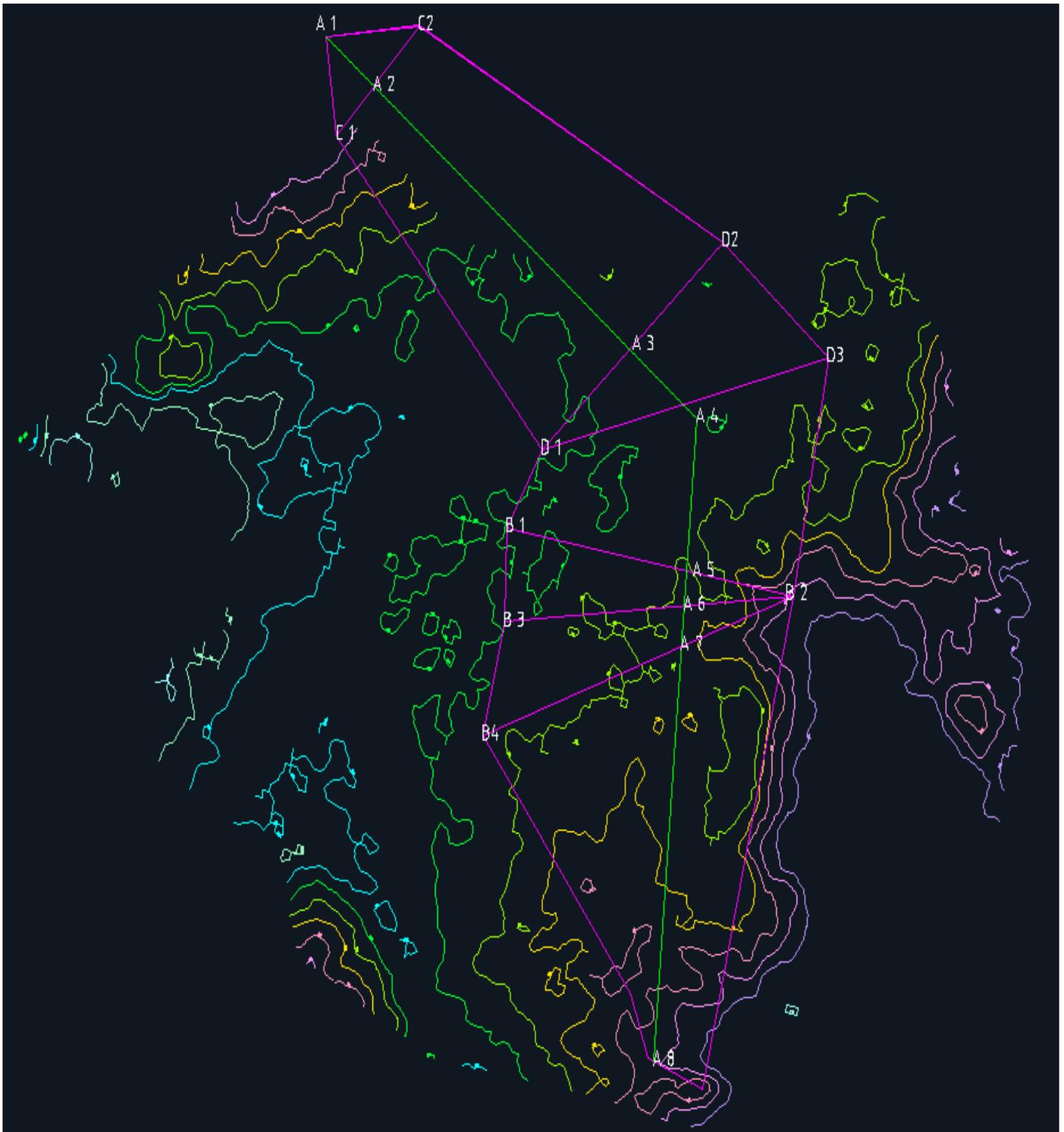


Ilustración 13. Superposición zona de estudio y plano topográfico

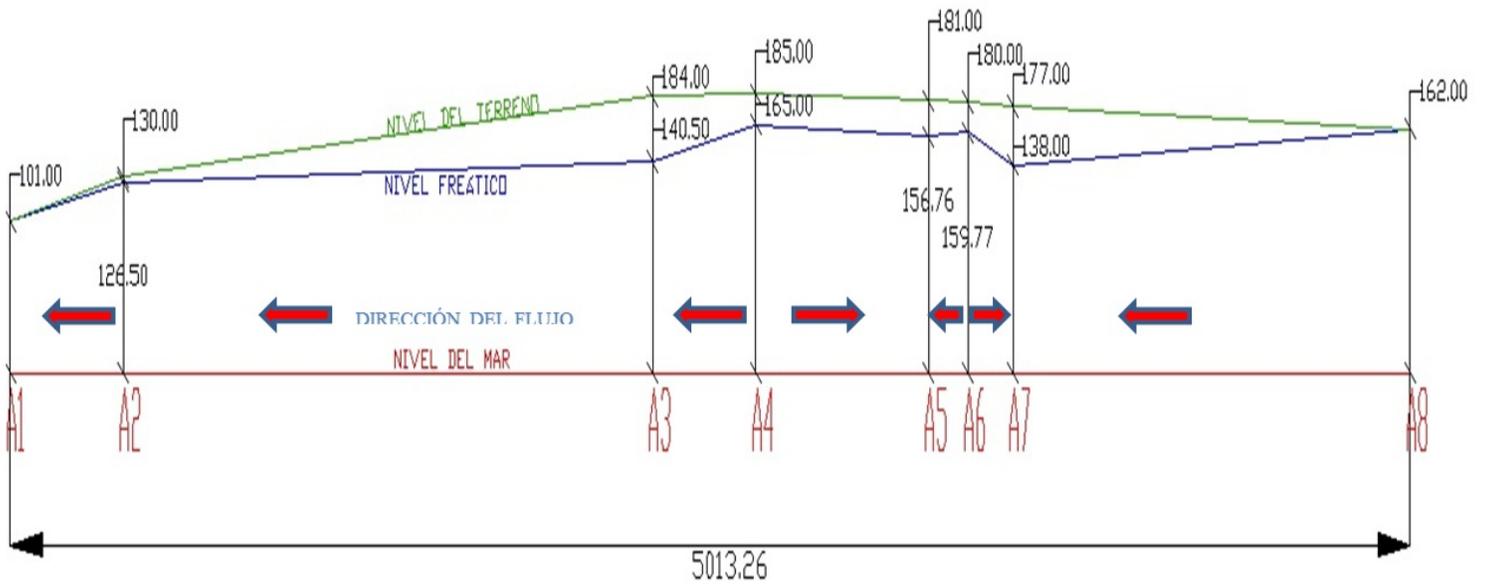


Ilustración 14. Corte Longitudinal A1-A8

Coordenadas		Alturas (m)		Longitud (m)	Porcentaje de Pendiente
A1	A2	101	130	141,5	20%
A2	A3	130	184	663,54	8%
A3	A4	184	185	129,5	1%
A4	A5	185	181	216,3	2%
A5	A6	181	180	49,17	2%
A6	A7	180	177	56,17	5%
A7	A8	177	162	497,87	3%

Tabla 4. Porcentaje de pendientes cotas A1-A8

Para la primera sección que es el corte longitudinal de la zona de estudio, abarcó desde la cota A1 a la cota A8, es decir desde la Hacienda Matute al Manantial de Manzanares, el flujo muestra distintos divorcios a partir de la cota A4, con flechas de flujo hacia el “Nor-Este” según el porcentaje de pendientes calculado por medio de las diferencias de alturas en el terreno, tenemos que estas flechas desembocan en el manantial encontrado en la Hacienda Matute y flechas en dirección “Sur” con flechas de flujo que desembocan en las cercanías de la Finca Manzanares.

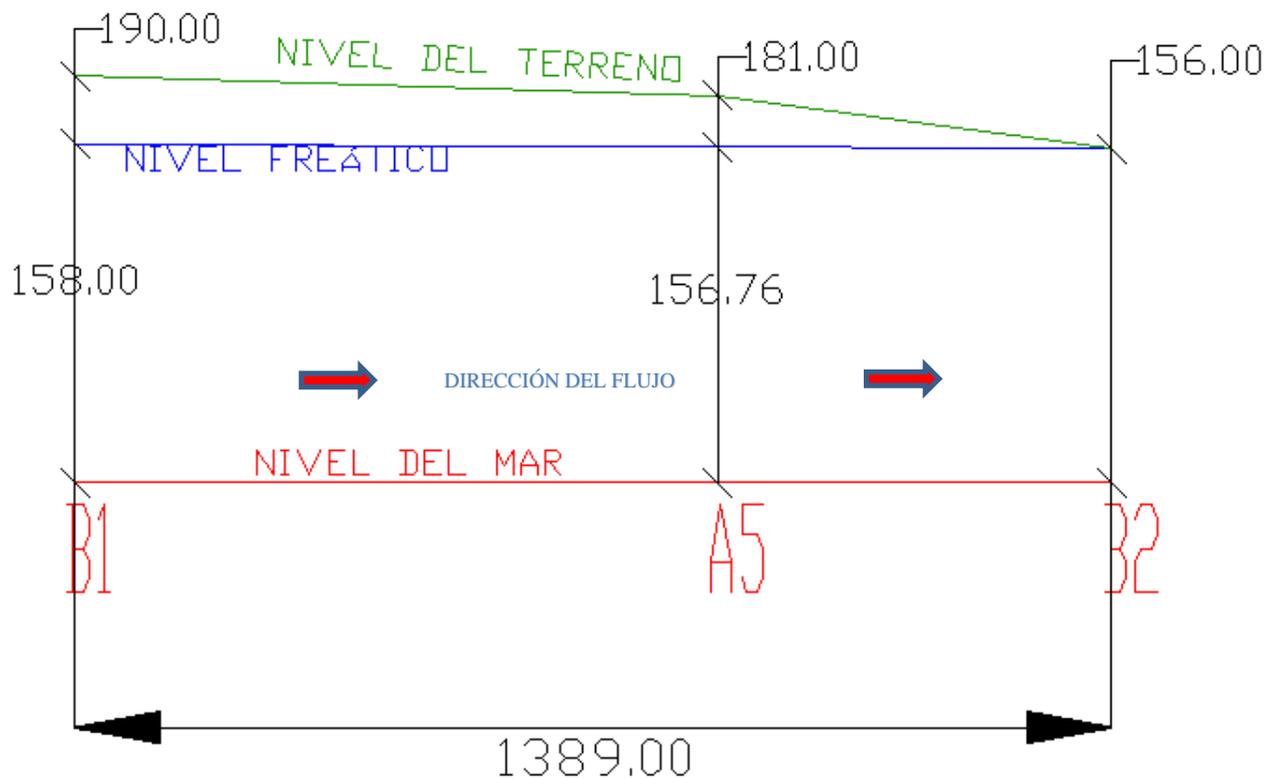


Ilustración 15. Corte Transversal B1-B2

Coordenadas		Alturas (m)		Longitud (m)	Porcentaje de Pendiente
B1	A5	190	181	301,35	3%
A5	B2	181	156	184,72	14%

Tabla 5. Porcentaje de pendientes cotas B1-B2

Para la segunda sección transversal que abarcó desde la cota B1 a la B2 se obtuvo una flecha de flujo totalmente en dirección “Este” yendo desde la Urbanización El Valle y desembocando en el manantial ubicado en Arroyo Lejos.

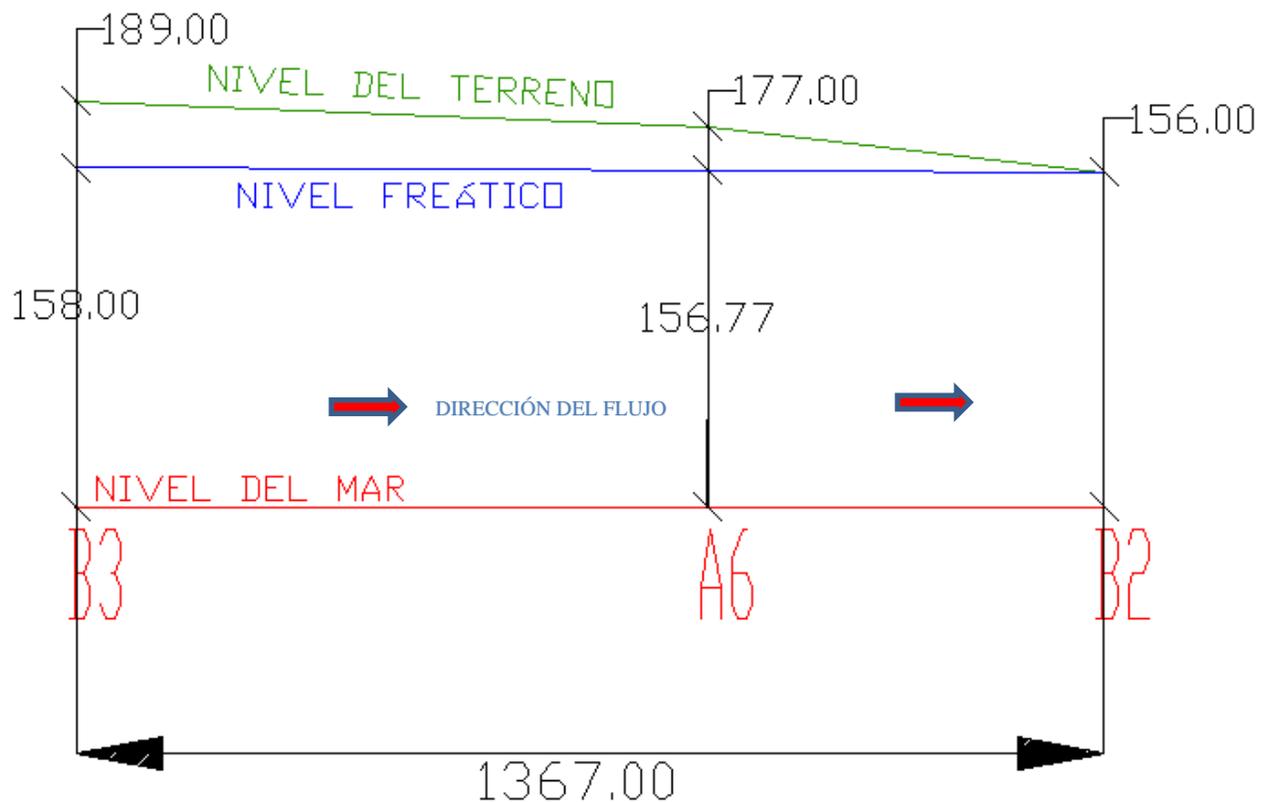


Ilustración 16. Corte Transversal B3-B2

Coordenadas		Alturas (m)		Longitud (m)	Porcentaje de Pendiente
B3	A6	189	177	294	4%
A6	B2	177	156	184,19	11%

Tabla 6. Porcentaje de pendientes cotas B3-B2

La tercera sección transversal tomada desde la cota B3 a la B2 las flechas de flujo tomaron una dirección “Este” yendo desde Valle Country y desembocando nuevamente en el manantial Arroyo Lejos.

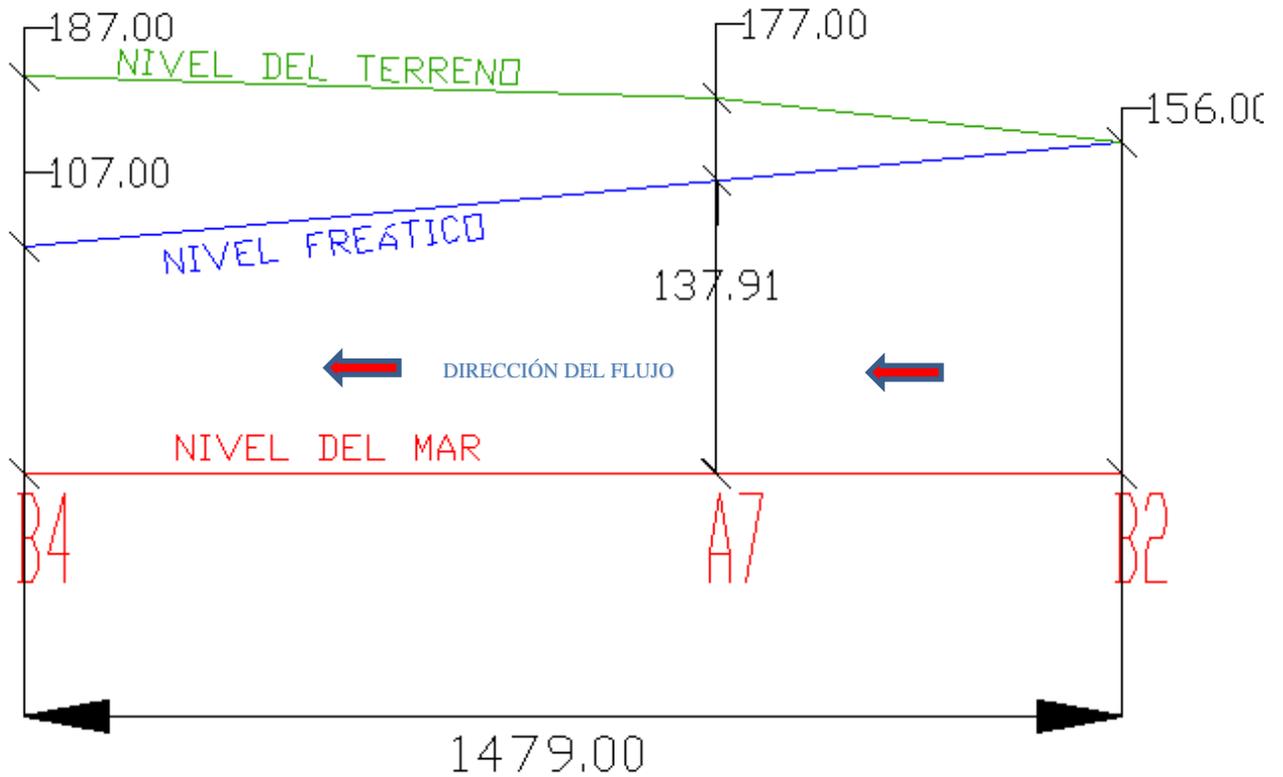


Ilustración 17. Corte Transversal B4-B2

Coordenadas		Alturas (m)		Longitud (m)	Porcentaje de Pendiente
B4	A7	187	162	326,37	8%
A7	B2	162	156	191,2	3%

Tabla 7. Porcentaje de pendientes cotas B4-B2

La cuarta sección transversal tomada desde la cota B4 a la B2 las flechas de flujo tomaron una dirección “Nor-Este” yendo desde la zona del Estadio y desembocando nuevamente en el manantial Arroyo Lejos.

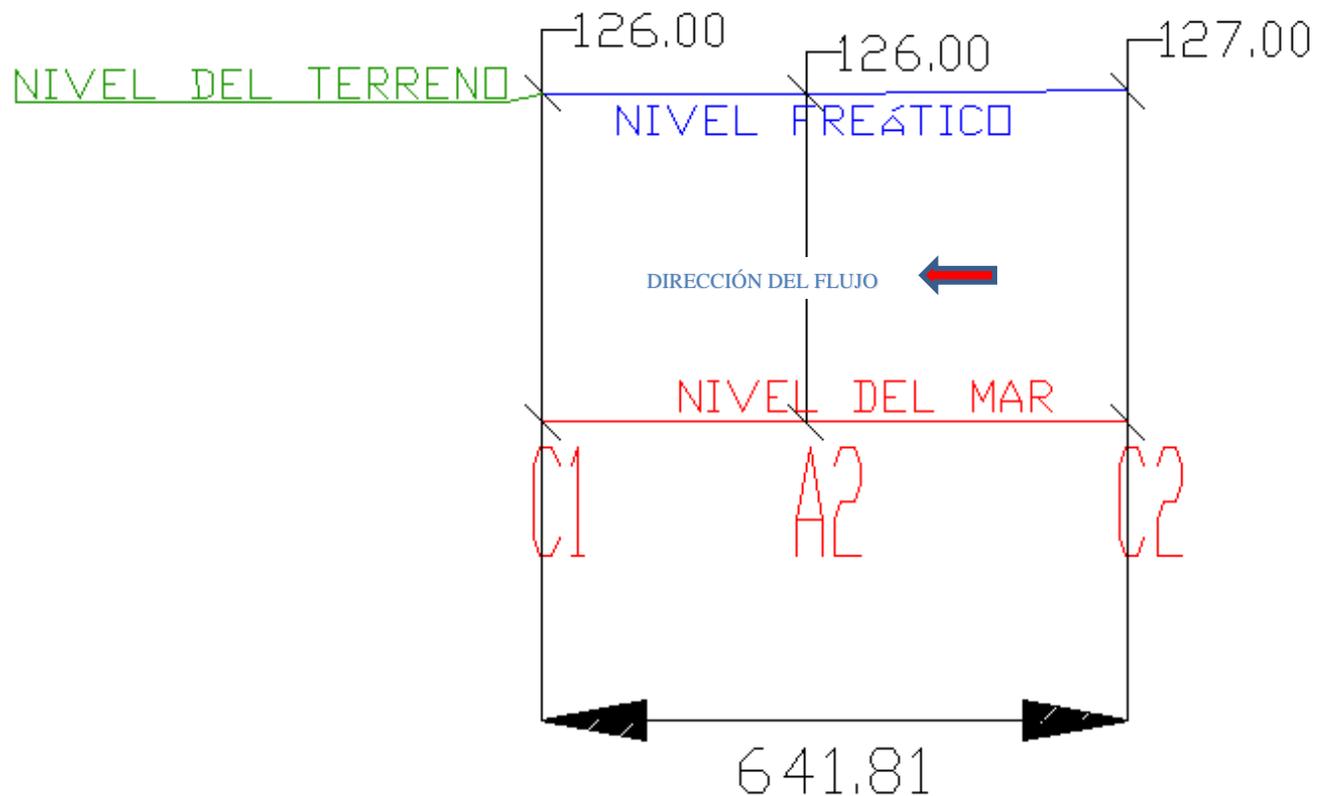


Ilustración 18. Corte Transversal C1-C2

Coordenadas		Alturas (m)		Longitud (m)	Porcentaje de Pendiente
C1	A2	126	126	101,17	0%
A2	C2	126	126	123,28	0%

Tabla 8. Porcentaje de pendientes cotas B3-B2

En la quinta sección transversal tomada desde la cota C1 a la C2 los porcentajes de pendiente de 0% denotaron que el flujo no tiene movimiento alguno, en la longitud horizontal tomada.

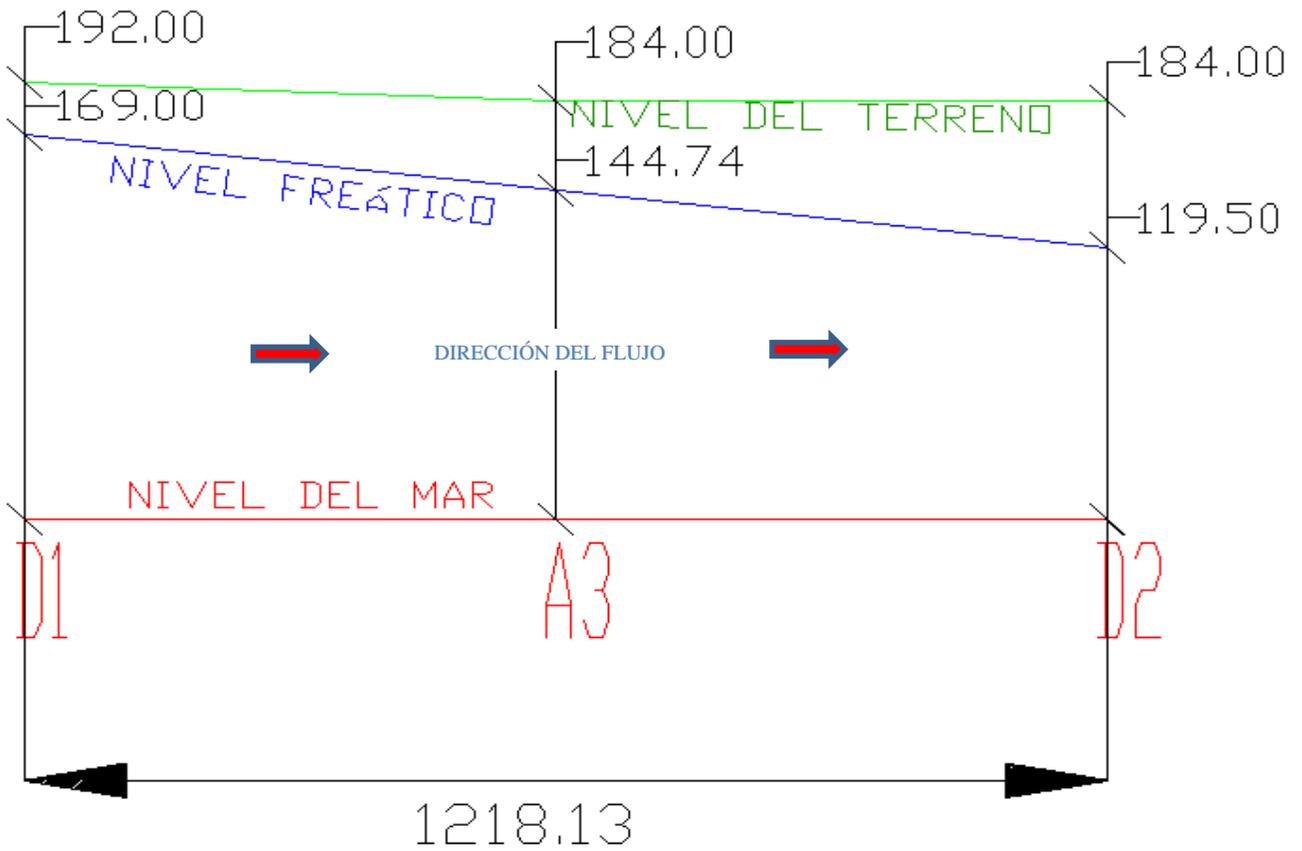


Ilustración 19. Corte Transversal D1-D2

Coordenadas		Alturas (m)		Longitud (m)	Porcentaje de Pendiente
D1	A3	126	184	208,79	28%
A3	D2	192	184	217,37	4%

Tabla 9. Porcentaje de pendientes cotas D1-D2

Según la sexta sección Transversal tomada desde la cota D1 a la D2 el flujo es abruptamente dirigido en dirección “Nor-Este” con una pendiente de 28% según el terreno desde D1 a A3 y luego se suaviza a 4% a partir de la segunda cota, las flechas de flujo terminan en la finca Los Rosales.

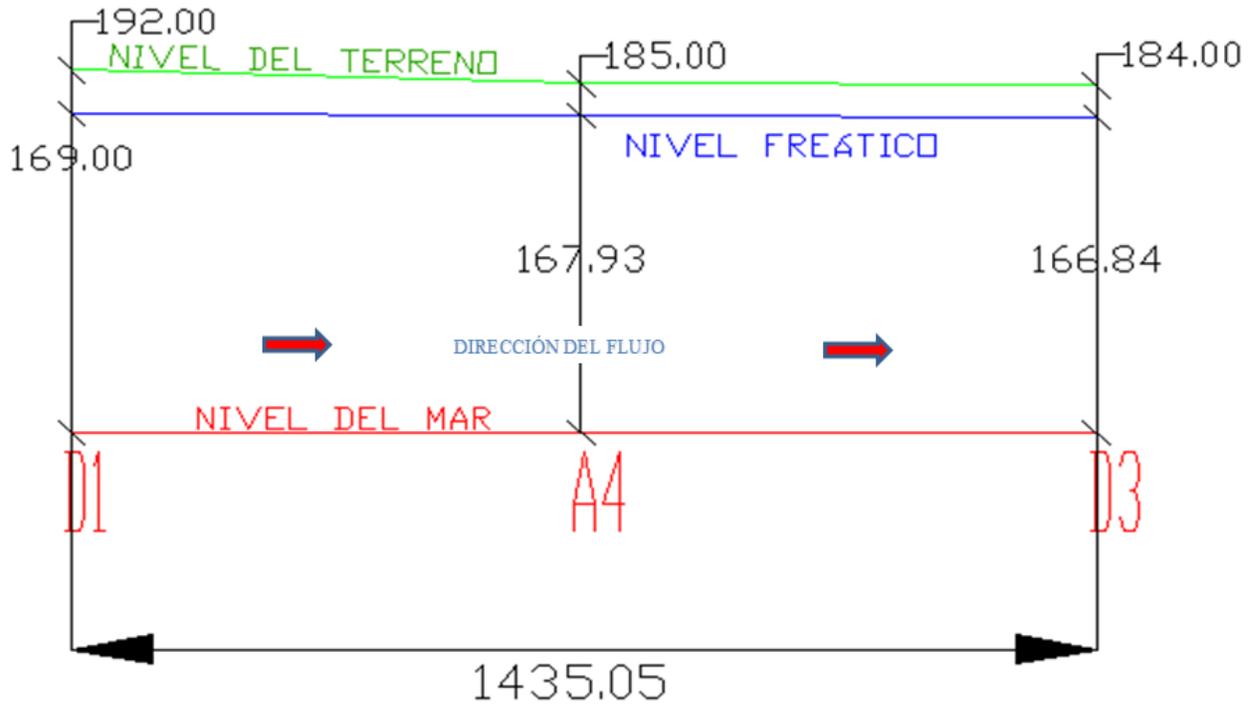


Ilustración 20. Corte Transversal D1-D3

Coordenadas		Alturas (m)		Longitud (m)	Porcentaje de Pendiente
D1	A4	192	185	249,76	3%
A4	D3	185	184	252,5	0%

Tabla 10. Porcentaje de pendientes cotas D1-D3

En la séptima y última sección transversal realizada, que abarco desde la cota D1 a la D3 el flujo presenta un divorcio a partir de la cota A4 en el cual la pendiente es de 0% según el terreno, por lo tanto el flujo seguirá su curso hasta la zona de Los Laureles.



Los pozos encontrados en la parte superior, por encima de los 180m de altura sobre el nivel del mar, se han visto en la necesidad de profundizar los pozos debido a que en la época de verano decaen los niveles freáticos, esto debido a la presencia de nuevos pozos para el abastecimiento de los nuevos conjuntos residenciales, sobre todo los que poseen mayor cercanía entre ellos, entre estos destacamos Valle Country 60 metros, Urbanización El valle 47 metros, Prado Verde 130 m, Finca Los Rosales 90 m, Sin mencionar los pozos ilegales tanto en las cercanías a estos como también en las zonas bajas que reducen notablemente los niveles freáticos.

4.6 MAPA DE FLUJO HIDROGEOLÓGICO

Con base en los mapas suministrados por el informe CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184 DE 2005 presentado a CARDIQUE se ubicaron las zonas geológicas concernientes a nuestra área de estudio, para las cuales debido a su homogenización presentaban características hidráulicas similares, por tanto factores tales como la transmisibilidad se hicieron en base a la capa de roca superficial, donde se afirma que se trata de un acuífero libre basados en la hipótesis planteada en el anterior informe. El estrato que se repite a lo largo de todo el área de estudio del acuífero es el de la FORMACIÓN POPA la cual está compuesta por rocas calcáreas altamente fracturadas debido a la intensa actividad tectónica que le confiere la característica de reservorio y capacidad secundaria. Acuífero de productividad alta-media.

Tomando en cuenta los datos obtenidos en las secciones transversales y superponiéndolos en el mapa topográfico de la zona, obtenemos el mapa de flujo hidrogeológico (*ilustración 21*) en el que se resumen los resultados obtenidos en los cortes realizados y se muestra la dirección del flujo representado por las flechas rojas, partiendo de las zonas de recargas o áreas azules hasta la probable desembocadura. En el mapa hidrogeológico se aprecia que existe una desviación del flujo hacia el punto B4, el cual corresponde al pozo 10 del estudio ubicado en el Estadio, el cual posee como coordenadas $10^{\circ}19'39.68''N$ y $75^{\circ}25'10.03''O$, dicho flujo pareciera desviarse del cauce natural subterráneo, esto ocurrió debido a que el día que se realizó la visita este pozo se encontraba en uso, por lo tanto el nivel freático estaba abatido al momento de tomar las lecturas.

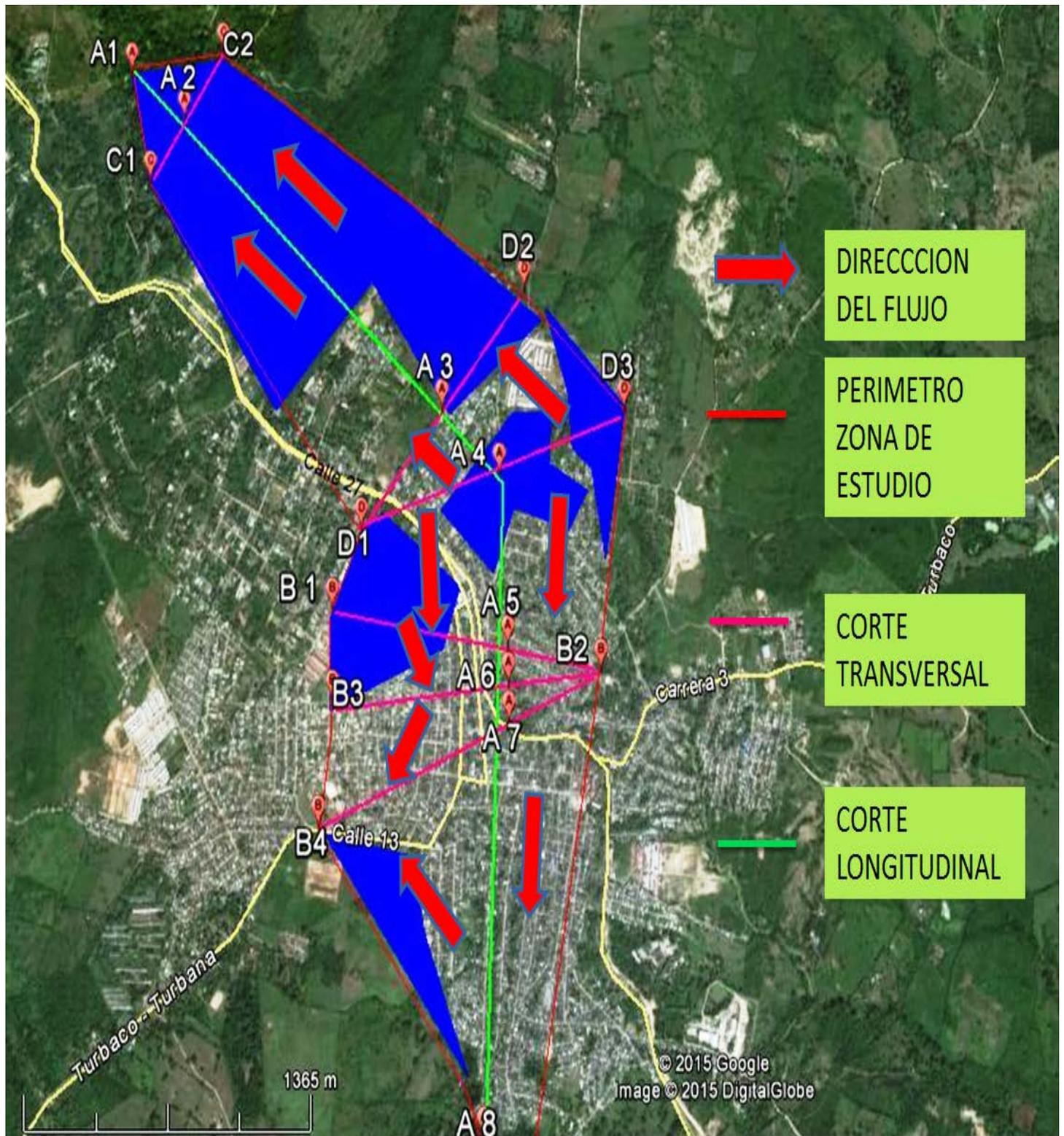


Ilustración 21. Mapa de Flujo Hidrogeológico



4.7 TRANSMISIVIDAD

La Ley de Darcy solo será citada para definir el concepto de permeabilidad o conductividad hidráulica y obtener sus unidades, si despejamos la ecuación se comprueba que las unidades de K son las de una velocidad (L/T) si nos vamos al Sistema Internacional sería **m/seg**, pero en el caso de la prueba de bombeo realizada por CARDIQUE se utilizó por comodidad las unidades **m/día**. Efectivamente se comprobó que el parámetro que nos indica la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica es una combinación de la Conductividad Hidráulica y del espesor:

Transmisividad = Conductividad hidráulica · Espesor

Como las unidades de la Conductividad Hidráulica son L/T y las del espesor L, las unidades de la Transmisividad serán L²/T. Por ejemplo: m²/día, o cm²/seg, y según la prueba de bombeo realizada se determinó que el acuífero es libre (Ver Tabla 2) se llega a la conclusión de que su espesor saturado varía con las oscilaciones de la superficie freática, es decir los valores de las Transmisividad variarían dependiendo de si los valores son tomados durante el invierno o el verano.

Si regresamos a la *Tabla 2* los valores de la Transmisividad para un día de bombeo y un metro de espesor aproximadamente, son de 7 m²/día para la recuperación y 15 m²/día para el bombeo, entonces según la *Tabla 11* mostrada a continuación, tenemos que muy probablemente el suelo en el cual se realizó la prueba está en una mezcla de arenas para un tipo de formación semi impermeable, por lo tanto un grado de permeabilidad mala, Cabe aclarar, que este término de mala permeabilidad, no quiere decir que la formación acuífera no sea explotable, ya que es explotada por la mayoría de aljibes o pozos artesianos, o que el agua no pueda desplazarse a estratos inferiores, solo que comparada con gravas y arenas más gruesas, la permeabilidad es inferior, si comparamos este análisis con los datos tomados en campo sobre las características del suelo, realizados en entrevistas con los habitantes de la zona de estudio encontramos muchas gravas limpia, que los habitantes y dueños de los pozos llaman “chito”, llegamos a la conclusión de que existen zonas en las cuales la permeabilidad es muy buena, pero para tener certeza de esto



será necesario realizar nuevas pruebas de bombeo en nuevos puntos de afloramiento de aguas subterráneas.

Roca	k (m/día)	Grado de permeabilidad	Tipo de formación
Grava limpia	1000	Buena – muy buena	Permeable
Arena gruesa limpia	10 - 1000	Buena – muy buena	Permeable
Mezcla de arena	5 -10	Mala	Semi impermeable
Arena fina	1 - 5	Mala	Semi impermeable
Arena limosa	0.1 - 2	Mala	Semi impermeable
Limo	0.001 – 0.5	Mala	Semi impermeable
Arcilla	< 0.001	Nula	impermeable

Tabla 11. Valores de conductividad hidráulica de las rocas, (Vélez 2004)

4.8 FACTORES EXTERNOS

Debido a la no existencia de alcantarillado en muchas zonas del municipio de Turbaco se presentan una serie de flujos que se infiltran en el terreno a causa de pozas sépticas también por parte del sistema de agua potable que presenta una intermitencia en la prestación del servicio, debido a estos factores suponemos que estos datos se compensan con la salida de flujos de forma ilegal mediante pozos de bombeo y artesianos.



5. CONCLUSIONES

Después de realizado el respectivo análisis del comportamiento hidrogeológico en el Municipio de Turbaco Bolívar, representado por medio del modelo hidrogeológico conceptual, procedemos a concluir lo siguiente:

1. La guía metodológica elaborada para el modelo hidrogeológico conceptual está compuesta de 3 factores que se consideraron fundamentales para su realización. La Geología, la Hidrología y la Hidráulica, de aquí se desprendieron los factores secundarios o medios para llegar a los resultados finales, cuyo resultado fue el mapa hidrogeológico de flujo subterráneo y la caracterización del acuífero como “Acuífero Libre” es decir que su espesor saturado varía con las oscilaciones de la superficie freática, por lo tanto los valores de la Transmisividad varía dependiendo de si los valores son tomados durante el invierno o el verano.
2. La investigación se realizó durante los meses de estación seca del municipio de Turbaco Bolívar que va desde febrero a Mayo por lo tanto los niveles piezométricos resultaron ser bajos de lo habitual.
3. Las zonas impermeables son un factor ajeno a la geología existente en la zona de estudio por esto fue de gran importancia tenerlas en cuenta en el modelo conceptual, debido a que en estas no existe flujo de infiltración ni evapotranspiración, estas zonas fueron consideradas como un porcentaje de la zona urbana.
4. El Inventario de pozos realizados que realmente no es la totalidad de los pozos que se encuentran en el Municipio de Turbaco Bolívar demuestra que a mayor altura, el nivel freático del acuífero estará más profundo, ya sea por las mismas condiciones del terreno o por el abatimiento aguas abajo del acuífero, esta hipótesis se afianzó con el concepto dado



por CARDIQUE en donde caracteriza de “Acuífero libre” como el tipo de acuífero que se encuentra bajo el suelo del Municipio de Turbaco Bolívar

5. En el mapa hidrogeológico se apreció una desviación del flujo hacia el punto B4, el cual corresponde al pozo 10 del estudio cuyo nombre es Estadio, posee como coordenadas $10^{\circ}19'39.68''N$ y $75^{\circ}25'10.03''O$, al parecer el flujo se desvía del cauce natural subterráneo, esto ocurrió debido a que el día que se realizó la visita este pozo se encontraba en uso, por lo tanto el nivel freático estaba abatido al momento de tomar las lecturas, por tal motivo en esa zona muestra un flujo diferente si lo comparamos con el patrón uniforme de flujo que se presenta en los demás pozos estudiados.
6. Desde el punto de vista hidrolitológico, que se consideró tiene una gran relevancia en cuanto condiciona la ocurrencia de la etapa terrestre subterránea del ciclo hidrológico en función de la facilidad con que las unidades geológicas permiten la circulación y el almacenamiento del agua, luego de una zona no saturada cuyo espesor puede variar dependiendo de su composición podemos decir que el acuífero se localiza una capa freática ubicada en los sedimentos cuaternarios del Municipio de Turbaco Bolívar, es decir el periodo del deshielo de los glaciales y donde suponemos que es el estrato en el cual se encuentra almacenada la mayor parte del agua subterránea encontrada bajo el suelo de Turbaco Bolívar.
7. Mediante el tratamiento e identificación de los elementos que condicionan el movimiento del flujo (recargas, descargas), se definió el modelo conceptual de funcionamiento del sistema acuífero en Turbaco Bolívar. En él se identifica que el flujo subterráneo de la zona estudiada presenta una dirección predominante desde el centro – noreste, donde se presentan los afloramientos de la finca Matute, y del centro- sureste, teniendo los afloramientos en la finca Manzanares a la altura del arroyo de Mameyal. Pero este flujo puede variar debido a la existencia, de pozos que están funcionando sin ningún tipo de control, es decir, se desconoce la cantidad de agua que es extraída por medio de ellos, por lo tanto la explotación descontrolada afecta obligatoriamente el modelo de flujo.



8. Debido a la gran importancia que tienen estas aguas para el Municipio de Turbaco Bolívar, se llegó a la conclusión que no existe riesgo alguno para los habitantes, sea cual sea el lugar de afloramiento es considerada una oportunidad de beneficios propios, o como bien es llamado por los habitantes del sector, “un regalo de la naturaleza” ya que la utilización de estas aguas va desde el riego agrícola y consumo propio, hasta su uso para la construcción de nuevas viviendas.
9. El esquema de las áreas de recarga que hipotéticamente se establecieron, tienen como fin garantizar la preservación de los niveles freáticos históricos del acuífero, es decir se considera necesario el uso responsable de dichas áreas para no comprometer el buen funcionamiento del acuífero.
10. En el corte A3-A4 se nota una caída abrupta de los niveles freáticos debido a la gran explotación del recurso hídrico por parte una serie de conjuntos residenciales tales como; Finca Los Rosales, Prado verde, Monte Carmelo, los cuales no están conectados al sistema de acueducto del municipio de Turbaco, quedando obligados a obtener el suministro de agua del acuífero.
11. Debido a que las cotas que nos suministraron los planos del POT de Turbaco tenían una diferencia de 100 metros lo cual era muy impreciso. Los niveles freáticos en el eje que se realizó el corte fueron realizados mediante semejanza de triángulos dándonos una idea aproximada de los niveles reales en la zona. Las alturas del terreno por la cual pasaba el eje del corte fueron tomadas gracias al software de Google Earth.
12. La naturaleza del estudio de las aguas subterráneas son poco precisas, por ello es necesario el uso de equipos sofisticados con los cuales se pueda realizar unas mediciones con mayor exactitud, se resalta que los métodos de medición utilizados durante el estudio, son de cierto modo inexactos, por ello los datos obtenidos fueron de carácter aproximado, es recomendable en un futuro utilizar métodos más innovadores y/o de una mayor tecnologías



para que la percepción de dicho estudio se asemeje más a la realidad de la naturaleza presentada en el entorno de las aguas subterráneas.

13. Si bien las bases están sentadas para tratar de predecir un comportamiento hidrodinámico del flujo de las aguas subterráneas de Turbaco-Bolívar, las herramientas necesarias para construir ese modelo hidrodinámico del flujo se sale de nuestro alcance, debido a que para un buen ejercicio de modelos matemáticos, es necesario conocer la transmisibilidad de todas las capas del suelo y al no existir esa clase de estudios nos imposibilita la realización de este modelo matemático, ya que como planteamos en nuestro alcance, nuestro modelo es netamente conceptual y lo realizamos con base en información secundaria.



6. RECOMENDACIONES

- Para futuros estudios se recomienda tomar datos próximos al pozo que presento la inconsistencia, o que se le realizasen a este mientras no tenga un abatimiento considerable, para que de esta manera se pueda presentar un modelo de flujo aproximado a la realidad.
- El estudio fue realizado durante los meses de estación seca, Febrero y Marzo considerados como los meses de precipitaciones más bajas, por ello es recomendable realizar esta investigación durante los meses de estación lluviosa para tener un marco comparativo entre las dos épocas del año.
- Para un análisis más completo se recomienda la realización de un modelo matemático basándose en el presente modelo, para profundizar el análisis de aguas subterráneas en el Municipio de Turbaco.
- Es recomendable que entidades como CARDIQUE, se encargue de brindar capacitaciones al talento humano en las aquellas disciplinas relacionadas con el manejo de los recursos hídricos.
- Realizar un balance hídrico con proyecciones hacia el futuro, con el fin de garantizar la sostenibilidad del acuífero para el aprovechamiento óptimo del acuífero de las próximas generaciones.
- Entidades como CARDIQUE pueden elaborar de un plan de manejo de los recursos hídricos que garantice su desarrollo sustentable, centrándose en los recursos que yacen bajo nuestros pies para evitar la explotación masiva del mismo.



7. ANEXOS

7.1 Horas de Bombeo en los Pozos

POZO # 1	VILLA LEIDY		
FECHA	08 DE MARZO DE 2015		
DIRECCIÓN			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	20 m
COORDENADAS			
NORTE	10°19'45.12"	OESTE	75°25'31.31"
REFERENCIA	Francisco Cano		
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00	X	X	X	X	X		
9:00 - 10:00	X	X	X	X	X		
10:00 - 11:00	X	X	X	X	X		
11:00 - 12:00							
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 12. Horas de bombeo Pozo Villa Leidy



POZO # 2	URB. EL VALLE		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCIÓN			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD (m)	47 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'03.11"	OESTE	75°25'11.37"
REFERENCIA	Jorge Espinosa Flores		
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00	X		X		X		
7:00 - 8:00	X		X		X		
8:00 - 9:00	X		X		X		
9:00 - 10:00	X		X		X		
10:00 - 11:00	X		X		X		
11:00 - 12:00							
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 13. Horas de bombeo Urb. El Valle



POZO # 3	MALIBÚ		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	27 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'14.69"	OESTE	75°25'07.78"
REFERENCIA			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00	X		X		X		
7:00 - 8:00	X		X		X		
8:00 - 9:00	X		X		X		
9:00 - 10:00	X		X		X		
10:00 - 11:00	X		X		X		
11:00 - 12:00							
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 14. Horas de bombeo Pozo Malibú



POZO # 4	MONTE CARMELO		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	27 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'42.93"	OESTE	75°24'42.23"
REFERENCIA			
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00	X	X	X	X	X	X	
9:00 - 10:00	X	X	X	X	X	X	
10:00 - 11:00	X	X	X	X	X	X	
11:00 - 12:00							
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 15. Horas de bombeo Pozo Monte Carmelo



POZO # 5	PRADO VERDE		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	27 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'47.17"	OESTE	75°24'45.47"
REFERENCIA			
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00	X	X	X	X	X	X	X
8:00 - 9:00	X	X	X	X	X	X	X
9:00 - 10:00	X	X	X	X	X	X	X
10:00 - 11:00							
11:00 - 12:00							
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							

Tabla 16. Horas de bombeo Pozo Prado Verde



POZO # 6	FINCA LOS ROSALES		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	120 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'44.37"	OESTE	75°24'42.61"
REFERENCIA			
<i>OBSERVACIONES: DEBIDO A LA GRAN PROFUNDIDA DEL POZO, SE NECESITABA UN EQUIPO MAS SOFISTICADO PARA SU MEDICION, LOS DATOS FUERON TOMADOS POR ENTREVISTA AL PROPIETARIO</i>			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00	X	X	X	X	X	X	X
7:00 - 8:00	X	X	X	X	X	X	X
8:00 - 9:00	X	X	X	X	X	X	X
9:00 - 10:00	X	X	X	X	X	X	X
10:00 - 11:00	X	X	X	X	X	X	X
11:00 - 12:00	X	X	X	X	X	X	X
12:00 - 13:00	X	X	X	X	X	X	X
13:00 - 14:00	X	X	X	X	X	X	X
14:00 - 15:00	X	X	X	X	X	X	X
15:00 - 16:00	X	X	X	X	X	X	X
16:00 - 17:00	X	X	X	X	X	X	X
17:00 - 18:00	X	X	X	X	X	X	X
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 17. Horas de bombeo Pozo Finca Los Rosales



POZO # 7	LOS LAURELES		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	14.70 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'24.72"	OESTE	75°24'36.86"
REFERENCIA	Carmelo David		
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00							
9:00 - 10:00	X		X		X		
10:00 - 11:00	X		X		X		
11:00 - 12:00	X				X		
12:00 - 13:00	X				X		
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 18. Horas de bombeo Pozo Los Laureles



POZO # 8	LOS LAURELES		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	23 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'32.69"	OESTE	75°24'24.64"
REFERENCIA			
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00	X	X	X	X	X	X	X
9:00 - 10:00							
10:00 - 11:00							
11:00 - 12:00							
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 19. Horas de bombeo Pozo Los Laureles



POZO # 9	VILLA COUNTRY		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	65 m
COORDENADAS			
NORTE	10°19'51.62"	ESTE	75°25'10.20"
REFERENCIA			
OBSERVACIONES: EL POZO NO ESTA ACTUALMENTE EN USO.			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00							
9:00 - 10:00							
10:00 - 11:00							
11:00 - 12:00							
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 20. Horas de bombeo Pozo Villa Country



POZO # 10	EL RECREO		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	65 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'08.13"	ESTE	75°25'01.47"
REFERENCIA			
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00	X		X		X		
9:00 - 10:00	X		X		X		
10:00 - 11:00	X				X		
11:00 - 12:00	X				X		
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 21. Horas de bombeo Pozo El Recreo



POZO # 11	EL RECREO # 2		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCION			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	65 m
COORDENADAS			
NORTE	10°20'11.98"	ESTE	75°25'02.48."
REFERENCIA			
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00							
9:00 - 10:00	X		X		X		
10:00 - 11:00	X		X		X		
11:00 - 12:00	X				X		
12:00 - 13:00	X				X		
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 22. Horas de bombeo Pozo El Recreo



POZO # 12	ESTADIO DE BEISBOL		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCIÓN			
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	65 m
COORDENADAS			
NORTE	10°19'39.87"	ESTE	75°25'09.93"
REFERENCIA			
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00	X	X	X	X	X	X	
9:00 - 10:00	X	X	X	X	X	X	
10:00 - 11:00	X	X	X	X	X	X	
11:00 - 12:00	X	X	X	X	X	X	
12:00- 13:00	X	X	X	X	X	X	
13:00- 14:00	X	X	X	X	X	X	
14:00- 15:00	X	X	X	X	X	X	
15:00- 16:00	X	X	X	X	X	X	
16:00- 17:00							
17:00- 18:00							
18:00- 19:00							
20:00- 21:00							
21:00- 22:00							
22:00- 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 23. Horas de bombeo Pozo frente al Estadio de Beisbol



POZO # 13	ARROYO LEJOS		
FECHA	08 de Marzo de 2015		
DIRECCIÓN	SECTOR PARAISO		
TIPO DE POZO	Artesiano	PROFUNDIDAD	10 m
COORDENADAS			
NORTE	10°19'55.60"	OESTE	75°24'30.45"
REFERENCIA	Jorge Ospino		
OBSERVACIONES:			

HORARIO DE BOMBEO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
0:00 - 1:00							
1:00 - 2:00							
2:00 - 3:00							
3:00 - 4:00							
4:00 - 5:00							
5:00 - 6:00							
6:00 - 7:00							
7:00 - 8:00							
8:00 - 9:00	X	X	X	X	X	X	
9:00 - 10:00	X	X	X	X	X	X	
10:00 - 11:00							
11:00 - 12:00							
12:00 - 13:00							
13:00 - 14:00							
14:00 - 15:00							
15:00 - 16:00							
16:00 - 17:00							
17:00 - 18:00							
18:00 - 19:00							
20:00 - 21:00							
21:00 - 22:00							
22:00 - 23:00							
23:00-23:59							

Tabla 24. Horas de bombeo Pozo Arroyo Lejos



7.2 Columnas litológicas, suelos de Turbaco- Bolívar

MODESTO BARRIOS FONTALVO INGENIERO CIVIL GEOTECNIA Y MATERIALES REGISTRO DE PERFORACIONES				
Proyecto: Plan De Drenajes Pluviales del Municipio de Turbaco-Departamento de Bolívar. Cliente: INSTITUTO DE HIDRÁULICA Localización: Cabecera Municipal de Turbaco - Bolívar, Sector Estadio - Via a Turbana - La Corraleja Cartagena de Indias - Colombia. 60858				
EQUIPO EMPLEADO: PERCUSION MANUAL		Febrero de 2012	SONDEO: S10 (Estadio de Béisbol)	
GRAFICA	PROFUND. (MTS)	ENSAYO SPT	NUMERO DE GOLPES/ft	DESCRIPCION Y OBSERVACIONES
	0,10			Relleno Arcilla Rojiza Con Zahorra Caliza.
				Arcilla Parda Rojiza con Fragmentos de Rocas Calizas. De Baja Plasticidad (CL). Dura. Expansiva.-
	1,00	11/12/17	29	
	2,00	21/25/32	57	Roca Caliza con Arena y Arcilla.
	3,00	>70	28	Rechazo al SPT.
				FIN
FIN: 3,00 mts				Nivel Freático: No Fue Detectado.



Ilustración 22 Columna Litológica de Turbaco Bolívar, (Por el Estadio de Beisbol), Ing. Modesto Barrios

MODESTO BARRIOS FONTALVO INGENIERO CIVIL GEOTECNIA Y MATERIALES REGISTRO DE PERFORACIONES				
Proyecto: Plan De Drenajes Pluviales del Municipio de Turbaco-Departamento de Bolívar. Cliente: INSTITUTO DE HIDRAULICA Localización: Cabecera Municipal de Turbaco - Bolívar, Sector Huevo Pelúo - El Recreo. Cartagena de Indias - Colombia. 80855				
EQUIPO EMPLEADO: PERCUSION MANUAL Febrero de 2012 SONDEO: S5 (Puente Huevo Pelúo)				
GRAFICA	PROFUND. (MTS)	ENSAYO SPT	NUMERO DE GOLPES/ft	DESCRIPCION Y OBSERVACIONES
●●●●	0,20			Capa vegetal. Arcilla Parda Oscura con Rastrojos (CH). Muy Expansiva. Con escombros y zahorra.
▨▨▨▨	1,00	2/2/2	4	Arcilla Parda Clara de Alta Plasticidad (CH). Dura. Seca. Expansiva. Con Oxido y Gravas calizas.
▨▨▨▨	2,00	7/7/9	16	Arcilla Parda Amarillenta. Arenosa. Con Vetas Grises, y Lentes de Mica. De Consistencia Firme a Dura. De Baja Plasticidad (CL).
	3,00	7/7/7	14	
	4,00	5/7/8	15	
▨▨▨▨	5,00	10/10/11	21	
FIN: 5,00 mts				
Nivel Freático: No Fue Detectado.				

Ilustración 23. Columna Litológica de Turbaco Bolívar, (Recreo-Puente de Huevo Peluo); Ing. Modesto Barrios



MODESTO BARRIOS FONTALVO INGENIERO CIVIL GEOTECNIA Y MATERIALES REGISTRO DE PERFORACIONES				
Proyecto: Plan De Drenajes Pluviales del Municipio de Turbaco-Departamento de Bolívar. Cliente: INSTITUTO DE HIDRÁULICA Localización: Cabecera Municipal de Turbaco - Bolívar, Sector Villa Leidy - Malibú Cartagena de Indias - Colombia. 60861-60860 EQUIPO EMPLEADO: PERCUSION MANUAL Febrero de 2012 SONDEO: S6 (Villa Leidy)				
GRAFICA	PROFUND. (MTS)	ENSAYO SPT	NUMERO DE GOLPES/m	DESCRIPCION Y OBSERVACIONES
●●●●●	1,00	7/7/9	16	Rellenos de Zahorra, Escombros.
▨▨▨▨▨	2,00	5/8/11	19	Arcilla Parda Amarillenta. Arenosa. Con Vetas Grises, y Lentes de Mica. De Consistencia Firme a Dura. De Baja Plasticidad (CL). con Gravas Tipo Zahorra.
	3,00	10/14/12	26	
	4,00	12/14/17	31	
	5,00	14/17/17	34	
FIN: 5,00 mts				Nivel Freático: No Fue Detectado.

Ilustración 24. Columna Litológica de Turbaco Bolívar, (Malibú); Ing. Modesto Barrios



MODESTO BARRIOS FONTALVO INGENIERO CIVIL GEOTECNIA Y MATERIALES REGISTRO DE PERFORACIONES				
Proyecto: Plan De Drenajes Pluviales del Municipio de Turbaco-Departamento de Bolívar. Cliente: INSTITUTO DE HIDRÁULICA Localización: Cabecera Municipal de Turbaco - Bolívar, Sector Villa Leidy - Malibú Cartagena de Indias - Colombia.				
EQUIPO EMPLEADO: PERCUSION MANUAL			Febrero de 2012	60881-60880 SONDEO: S6 (Villa Leidy)
GRAFICA	PROFUND. (MTS)	ENSAYO SPT	NUMERO DE GOLPES/ft	DESCRIPCION Y OBSERVACIONES
•••••	1,00	7/7/9	18	Rellenos de Zahorra, Escombros.
//	2,00	5/8/11	19	Arcilla Parda Amarillenta. Arenosa. Con Vetas Grises, y Lentes de Mica. De Consistencia Firme a Dura. De Baja Plasticidad (CL). con Gravas Tipo Zahorra.
//	3,00	10/14/12	28	
//	4,00	12/14/17	31	
//	5,00	14/17/17	34	
FIN: 5,00 mts				Nivel Freático: No Fue Detectado.

Ilustración 25. Columna Litológica de Turbaco Bolívar, (Villa Leidy); Ing. Modesto Barrios



7.3 ANEXOS FOTOGRAFICOS



Fotografía 1. Medición pozo Villa Leidy



Fotografía 2. Medición pozo Malibú



Fotografía 3. Medición pozo Urb. El Valle



Fotografía 4. Medición pozo Monte Carmelo



Fotografía 5. Medición pozo Villa Country



Fotografía 6. Medición pozo Villa Leidy



Fotografía 7. Medición pozo El Recreo



Fotografía 8. Medición pozo Los Laureles



Fotografía 9. Medición Pozo finca Los Rosales.



8. BIBLIOGRAFIA

- Alvarado M. ed. 2001. Ediciones Uninorte. Barranquilla 2001.
- Aparicio Mijares F. J. (1999). Fundamentos de Hidrología de Superficie. *Ed. Limusa. México*
- Ayote J.D. et al. 2003. Arsenic in groundwater in Eastern New England, Occurrence, Controls and Human Health Implications. *Environ. Sci. Technol.* 2003.37. 2075-2083.
- Bartholomew, Alick (2003). El libro del agua. *Fertilidad de la Tierra Ediciones.*
- CARDIQUE (2002). Agenda concentrada para la gestión ambiental de municipios.
- Luís Enrique Gómez Blanco. Elaboración del estudio hidrogeológico y determinación del potencial hídrico del área correspondiente al acuífero de Turbaco, CONTRATO DE CONSULTORIA No. 184, CARDIQUE 2005.
- CORREA, A. (1996). – La ingeniería de rocas en la explotación de canteras. Impacto Ambiental. Seminario de exploración y explotación de los recursos minero – energéticos y su manejo ambiental. Memorias, Agunal. Santafé de Bogotá.
- Espinoza, Carlos (2004). EXISTENCIA Y ORIGEN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS, CI51J Hidráulica de Aguas Subterráneas y Su Aprovechamiento. Universidad de Chile.
- EVALUACIÓN DEL POTENCIAL AMBIENTAL DE LOS RECURSOS SUELO, AGUA, MINERAL Y BOSQUES EN EL TERRITORIO DE JURISDICCION DE



CARDIQUE. Convenio Interadministrativo No. 095/1998 INGEOMINAS (Instituto De Investigaciones En Geociencias, Minería Y Química) Subdirección De Ingeniería Geoambiental - CARDIQUE (Corporación Autónoma Regional Del Dique). Julio de 1999. Santa Fé de Bogotá.

- EXPLOTACIÓN DE CANTERAS Y MEDIO AMBIENTE. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Santafé de Bogotá. Junio de 1996.
- Gleick (ed) 1993 Water in Crises: A Guide to the World's Fresh Water resources. Oxford University Press 374-378.
- Hernandez-Mora, N.; Martínez-Cortina, L. y Fornés, J. (2003). Intensive Groundwater Use in Spain. In: Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities (Llamas & Custodio, Eds.). Chapter 19, 387-414. Balkema Publishers. 478 pp
- HUGUETT A. 1988. Resumen de la Hidrogeológica a los Departamentos de Atlántico y Bolívar al Norte del Canal del Dique INGEOMINAS. Bogotá D.C.
- Hybrid-Optimization Approach for Estimating Parameters of a Virus Transport Process in Aquifer." J. Hazard. Toxic Radioact. Waste
- IDEAM (2012). Valoración de daños y pérdidas, ola invernal en Colombia 2010-2011.
- Ingeominas (2004). Programa de exploración de aguas subterráneas en Colombia.
- Loáiciga, H. (2013). "Consolidation Settlement in Aquifers Caused by Pumping." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 139(7), 1191–1204.



- LÓPEZ CASAS, J. (1956). – Reconocimiento geohidrológico preliminar para Turbaco y Turbana. Informe No. 1153. Ins. Geol. Nal. Bogota.
- Mathel T.H., Applegreen B. 1993. Políticas, Strategies and Planning for Integrated Rural Water Management. Integrated Water Management, FAO, pp 17-36.
- (PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE TURBACO, 2002)
- Shallow Aquifer Recharge from Irrigation in a Semiarid Agricultural Valley in New Mexico.” J. Hydrol. Eng., 18(10), 1219–1230.
- SIERRA L.M. 2002. Estudio Hidrogeológico para el Control de Áreas de Plan Parejo, Municipio de Turbaco-Bolívar.
- *Unesco.org/pagina web/Aguas-subterráneas.*
- Ward, N. and Lough, H. (2011). ”Stream Depletion from Pumping a Semiconfined Aquifer in a Two-Layer Leaky Aquifer System.” J. Hydrol. Eng., 16(11), 955–959
- Whipple, W., Jr. (1987). ”Strategy for Managing Depleted Aquifers.” J. Water Resour. Plann. Manage., 113(3), 368–377.