TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS RECIENTES; UBICADOS AL NORTE DE EL GUAPO, ENTRE LOS RÍOS TUY Y GUAPO, MUNICIPIOS BRIÓN Y PÁEZ DEL ESTADO MIRANDA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Conde F., Roberto A.
Schmidt P., Lised K.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo.

Caracas, 2006

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS RECIENTES; UBICADOS AL NORTE DE EL GUAPO, ENTRE LOS RÍOS TUY Y GUAPO, MUNICIPIOS BRIÓN Y PÁEZ DEL ESTADO MIRANDA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Rafael Falcón
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Carlos Sánchez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Conde F., Roberto A.
Schmidt P., Lised K.
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo.

Caracas, 2006

Caracas, Marzo 2006

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Conde Roberto, y Schmidt Lised, titulado:

"ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS RECIENTES; UBICADOS AL NORTE DE EL GUAPO, ENTRE LOS RÍOS TUY Y GUAPO, MUNICIPIOS BRIÓN Y PÁEZ DEL ESATDO MIRANDA"

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

Prof. Armando Díaz Q.
Jurado

Prof. José Cavada
Jurado

Prof. Rafael Falcón
Tutor

Ing. Carlos Sánchez
Tutor

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, como la casa que vence las sombras.

A nuestro tutor, Rafael Falcón.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, por habernos brindado la oportunidad de graduarnos como ingenieros geólogos.

A HIDROCAPITAL, por haber colaborado para la realización de este Trabajo de Grado.

A la empresa PERFO STAR, específicamente a los señores Khatchich Hovsepian, y Oscar Navarrete, por su cordialidad, interesa y gentiliza para con nosotros.

Al MARNR (Luís Herrera, Fernando de Carlis, Germán Zerpa, Manuelito), por habernos tendido la mano para la realización de este trabajo.

A INPARQUES en especial a Yajaira Vargas, David y a todos los que conforman el personal de INPARQUES de la Laguna de Tacarigua, por la colaboración prestada gracias.

Al ingeniero civil Flores, por la colaboración prestada.

A INTEVEP, especialmente al señor Alberto Campos.

A los profesores y amigos, Ricardo Alezones y Lenin González, por ser un ejemplo a seguir en la búsqueda de la superación profesional, y siempre haber estado allí incondicionalmente.

A la señora más hermosa y adorable y alcahueta de la Escuela de Geología, Sra. Morela Mikaty, por ser nuestra amiga incondicional, no la olvidaremos y la llevaremos por siempre en nuestros corazones.

A nuestras familias por confiar en nosotros y brindarnos el apoyo necesario para alcanzar esta meta.

A todos nuestros amigos y compañeros de carrera y ahora de profesión.

DEDICATORIAS

Roberto Conde: Agradezco principalmente a Nuestro Padre Sagrado, Creador de lo más hermoso (LA VIDA), el haberme permitido cumplir una meta más, así como también el haber conocido tantas Almas con las cuales compartí ideas, opiniones, alegrías, tristezas, salidas de campo, y en especial, esa fraternidad que nos hace merecedores de llamarnos HUMANOS. Agradezco también, a los seres que permitieron que Yo viniera al Mundo, Mary y Álvaro, por haber formado al ser humano que hoy soy; que Nuestro Padre Celestial los bendiga por la Eternidad; a mis hermanos Álvaro y Pedro por haber estado en todo momento conmigo; a mi dulce y tierna amiga, y compañera de tesis Lised; a mi muy querida y hermosa limoncita (Magui), a mi siempre y querida Adri; a mi linda panita Antonella; a mis estimados y nunca olvidados amigos y guías, Ricardo Alezones y Lenín González (eternamente gracias Lenín); al Prof. Díaz Quintero por su valiosa colaboración; a la Sra. Morela Mikaty, el Alma más hermosa de la Escuela de Geología, y que nunca será olvidada.

Agradezco en especial a la Sra. y Sr. Isabel y Edgar, así como a Tabo, por ese apoyo gentil y fraternal durante la elaboración de ésta tesis; a mis panas Orleth, Katy, Alicia, Francisco, Jhonathan, Diana, Chuchú, Pablo, Mauricio T, Isabel, Marismelia, El Brujo, Alexis, Milagros, Edegma, Dorys, Susana, Natalia, Karen y a todos que aquellos que por razones de espacio no nombro y que siempre los tengo en mente y pido que me disculpen. Dedico ésta tesis a la memoria de mi Papá Álvaro y mi Madrina Glori. Misión cumplida……

Lised Schmidt: A mis padres Isabel y Edgar, hermanos, cuñada y sobrina (José, Edgar, Yeilyn y Kaethe), por ser motivo de inspiración y fortaleza, así como nunca haberme dejado sola confiando en mi en todo momento, gracias. A las Sras. Laila, Carmen Díaz, Egle, Felicia, Mary y Morela Mikaty, por haberme abierto las puertas de su casa y hacerme sentir como su hija cuando estaba lejos de la mía. A mis compañeros de estudio y amigos, (Jose Antonio, Hector, Elinor, Victor, Alicia, Katty, Yarima, Liliana Anjos, Magui, Susana, Veioska, Arturo, Fredy, Jonathan, Eduardo, Oscar, Leonardo Astro), por haberme permitido formar partes de sus vidas y recuerdos, a Chelito, Dino y Víctor Manuel, por sus sabios consejos. Agradezco a ¨ami¨ (Mayra Mijares) por estar siempre pendiente de mí y permitirme conocer a su familia y amigos, gracias ami!, así como a mis amigos los sabelotodos de eléctrica, (José, Austín, Luís y falseando (RJRD)). A los profesores Ricardo Alezones, Paúl Romero y Díaz Quintero por haber tenido tiempo y paciencia para escucharnos, además de los conocimientos impartidos.

A nuestro ángel de la guarda (Lenin), sin tí no lo hubiésemos logrado, gracias por tendernos la mano de corazón y haber asumido las riendas como nuestro tutor. A Beto, a ti amigo, por haberme tenido paciencia, haber sido mi compañero de tardes cuando recién llegue a la Ciudad de Caracas, por esas largas noches de estudio para los parciales de Geodinámica, donde nunca me olvidaste, también por ayudarme a vencer los obstáculos presentes y juntos alcanzar la meta de ser Ingenieros Geólogos. A todos los preparadores y demás profesores por contribuir en la mejora de mis conocimientos académicos, gracias.

RESUMEN

Conde F. Roberto A. & Schmidt P. Lised K.

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS RECIENTES; UBICADOS Al NORTE DE EL GUAPO, ENTRE LOS RÍOS TUY Y GUAPO, MUNICIPIOS BRIÓN Y PÁEZ DEL ESTADO MIRANDA.

Tutor Académico: Rafael Falcón. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica (Geología). 2006, 145p.

Palabras Claves: Sedimentología-Estratigrafía, Acuíferos, Modelo Hidrogeológico, Economía

En un área ubicada entre los ríos Tuy y Guapo, en los municipios Brión y Páez del estado Miranda, se elaboró un modelo hidrogeológico conceptual de los acuíferos; una base de datos hidrogeológico para posteriores simulaciones; un análisis comparativo preliminar de una red de pozos de agua contra la derruida Represa El Guapo y una caracterización sedimentológica y estratigráfica de los potenciales acuíferos. Todo esto, con el propósito de conocer la extensión, geometría e hidrodinámica de los acuíferos, así como los períodos de recarga, a fin de disminuir la dependencia y costo operativo de la Represa El Guapo, y por ende mejorar el aprovechamiento de las aguas subterráneas.

Para la ejecución de los objetivos, se realizaron revisiones de estudios preliminares en el área, así como verificaciones puntuales de afloramientos. También se llevó a cabo la toma de 119 muestras de ripio del pozo Sara V, para su análisis granulométrico y difracción de rayos X, y aunado con los registros eléctricos de los pozos Sara I, II-IV, III, Santa Bárbara, además del obtenido en Sara V, establecer el ambiente sedimentario de la zona de estudio.

Se determinó el balance hídrico a partir de datos de evapotranspiración y precipitación, obtenidos del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, con la ayuda de un programa de algoritmos, perteneciente al ente gubernamental antes mencionado, con el propósito de conocer los periodos de recarga.

De un inventario de pozos obtenido del ente gubernamental antes mencionado, se seleccionaron los pozos presentes en el área de estudio y se actualizó la información.

Se efectuaron pruebas de bombeo (a caudal constante, recuperación y abatimiento escalonado) en el pozo Sara V, con la finalidad de conocer las

características hidráulicas de los acuíferos, como la trasmisibilidad, sus niveles dinámicos y abatimientos.

Se integraron los datos geofísicos (sondeos eléctricos verticales y registros eléctricos), con la información litológica para definir las unidades hidrogeológicas, así como también, una vez definidos las unidades hidrogeológicas se efectuó una recopilación de datos para la generación de una base de información hidrogeológica, que servirá al momento de realizar una simulación o modelo matemático.

Se realizó una proyección económica a partir de los gastos en insumos (gas cloro y sulfato de aluminio) utilizados en los pozos de agua y en la Represa El Guapo, y los caudales a portados por ambos, con la finalidad de establecer una comparación entre un sistema y el otro.

Por último, se concluyó que posiblemente el ambiente sedimentario al cual están asociados los acuíferos, es fluvial anastomosados, a pesar de la pobre información litológica recopilada de los pozos y la poca presencia de estos en el área;

La caracterización de las muestras de ripio obtenidas del pozo Sara V, reflejaron un 19.79% (±15% de error), de lodo bentonítico, lo que influyó en los resultados obtenidos, a partir de la caracterización y por ende la interpretación correcta del modelo sedimentológico.

Se definieron en el área de estudio, dos unidades hidrogeológicas impermeables UHB_1 y UHB_3, y dos permeable UHB_2 y UHB_4 de gran importancia, de características anisotrópicas.

Por último, se determinó que en cuanto a gasto líquido es necesario incrementar en 3,23 veces la capacidad en pozos para alcanzar la demanda de la represa, con la ventaja de que en costos, utilizando sólo los pozos hay un ahorro del 99,13%, lo que conlleva a plantear el uso en conjunto de ambos.

INDICE GENERAL

Carta de aprobación ii
Agradecimientos iii
Dedicatoria iv
Resumen v
Índice general viii
Índice de figuras xi
Índice de tablas xiv

CAPITULO I:
1.- INTRODUCIÓN:
1.1.- Planteamiento del problema 1
1.2.- Objetivos
1.2.1.- Objetivos Generales 2
1.2.2.- Objetivos Específicos 2
1.3.- Alcance 2
1.4.- Ubicación y vías de acceso de la zona de estudio 3
1.5.- Características geográficas de la zona de estudio 4
1.5.1.- Clima y vegetación 4
1.5.2.- Drenaje 7
1.5.3.- Geomorfología 10
1.6.- Metodología:
1.6.1.- Etapa de búsqueda y procesamiento de documentación previa 16
1.6.2.- Etapa de campo 16

1.6.2.1.- Geología de superficie 16
1.6.2.2.- Hidrogeología 17
1.6.3.- Etapa de laboratorio 19
1.6.3.1.- Análisis granulométrico 19
1.6.3.2.- Análisis morfológico 23
1.6.3.3.- Difracción de Rayos X 26
1.6.4.- Etapa de Oficina
1.6.4.1.- Interpretación e integración de datos geológicos, geofísicos e hidrogeológicos. 30
1.6.4.2.- Análisis comparativo entre la Represa el Guapo y la red de Pozos Saras. 31
1.7.- Antecedentes 37
1.8.- Marco teórico 39

CAPÍTULO II:
2.- Marco Regional 63
2.1.- Geología Regional 63
2.1.1.- Estratigrafía Regional 63
2.1.2.- Geología Estructural Regional 72
2.2.- Hidrogeología Regional:
2.2.1.- Unidades hidrogeológicas 76
2.2.2.- Análisis Piezométrico 78
2.2.2.1.- Cuencas hidrogeológicas 78

CAPÍTULO III:
3.- Geología, Geofísica e Hidrogeología local

3.1.- Estratigrafía Local 85
3.1.1.- Caracterización y análisis sedimentológico 85
3.1.2.- Litoestratigrafía Local 89
3.2.- Geofísica Local 98
3.2.1.- Análisis Geofísico 110
3.3.- Hidrometeorología Local 111
3.3.1.- Valores de precipitación 112
3.3.2.- Evapotranspiración 112
3.3.3.- Balance Hídrico 112
3.4.- Hidrogeología Local:
3.4.1.- Inventario de pozos 116
3.5.- Pruebas de bombeo 117
3.6.- Recarga y descarga 127
3.7.- Unidades Hidrogeológicas 128
3.9.- Base de datos 130

CAPITULO IV
4.- Análisis económico 131

CONCLUSIONES 138
RECOMENDACIONES 141
BIBLIOGRAFÍA 143

INDICE DE FIGURAS

Fig.1. Mapa de ubicación del área de estudio	3
Fig.2. Mapa climático del área de estudio	6
Fig.3. Fotografía donde se muestra el limite entre la llanura aluvial y la unidad de valles y colinas	10
Fig.4a. Planilla tipo para pruebas de bombeo a caudal constante	18
Fig.4b. Planilla tipo para pruebas de abatimiento escalonado	19
Fig.5. Gráfica visual para determinar esfericidad	24
Fig. 6.- Forma de ZINGG	24
Fig.7. Gráfica para determinar esfericidad y redondez	25
Fig.8. Diagrama de flujo que indica las sucesivas etapas y subetapas de laboratorio	29
Fig.9ª y b. Muestra la vida útil para la Represa el Guapo y la red de Pozos	34
Fig.10. Ciclo hidrológico	39
Fig.11. Esquema que identifica como reconocer acuíferos confinados.	44
Fig.12 Esquema que identifica como reconocer acuíferos semiconfinados	44
Fig.13. Esquema que representa el	46

comportamiento de las líneas de flujo
Fig.14. Ley de Darcy 51
Fig.15. esquema que refleja las partes de un pozo 55
Fig.16 a y b. Tipos de bombas 58
Fig.17. Cuadro de correlación de las diferentes formaciones presentes en el área y sus unidades hidrogeológicas. 71
Fig.18. Mapa que describe la forma triangular de la Cuenca de Barlovento 72
Fig.19. Mapa neotectónico 74
Fig.20. Corte antrópico 90
Fig.21 a y b. muestra la parte lateral del afloramiento 91
Fig.22. Fotografía que muestra el hiautus no depositacional 92
Fig.23. Secuencia de arcilla limitada por horizonte de óxido. 93
Fig.24. Muestra de sedimento extraído de la terraza del río Tuy 95
Fig.25. Muestra las facies definidas en este trabajo 97
Fig.26. Muestra los modelos de ambiente de depositación propuesto por GALLOWAY & HOBDAY. 98
Fig.27. Gráfica que refleja el comportamiento del balance hídrico para Tacarigua de Mamporal. 103
Fig.28. Cinta de medición 118
Fig.29.- Prueba a caudal constante del 119

pozo Sara V
Fig. 30.- Refleja el abatimiento después de para la bomba de Sara V 120
Fig.31.- Muestra el comportamiento del pozo a caudal constante Sara I 122
Fig.32. Muestra el desarrollo para caudal escalonado Sara I 123
Fig.33. Muestra el desarrollo para la prueba de recuperación Sara II-IV 124
Fig.34. Muestra el comportamiento para la prueba de abatimiento escalonado Sara III 125
Fig. 35. Muestra el comportamiento del pozo después de haber parado la bomba, pozo Sara III 126
Fig.36. Ensayo de recuperación para Santa Barbara 127

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos granulométricos para cada doscientos (200g) gramos de muestra, según NAVARRO	20
Tabla2.- Intervalos del grado de escogimiento según FOLK	21
Tabla 3. Intervalos del coeficiente de asimetría según TUCKER	22
Tabla 4. Intervalo de kurtosis	22
Tabla 5. Datos morfológicos para arenas, según NAVARRO	24
Tabla 6. Datos morfológicos para gravas	25
Tabla 7. Resultados obtenidos de la caracterización mineralógica de la fracción total de muestra para Sara V	27
Tabla 8. Resultados obtenidos de la caracterización mineralógica de la fracción menor a 2 micras total de muestra para Sara V	27
Tabla.9. Consumo mensual de sulfato de aluminio en Kg.	32
Tabla.10. Valor promedio del sulfato de aluminio sólido por Kg	32
Tabla.11. Valor promedio por Kilogramo de gas cloro	33
Tabla 12. Muestra el consumo mensual y anual de las bombonas de gas cloro par los pozos	33

Tabla 13. Valor promedio por kilogramo de gas cloro para los pozos 33
Tabla 14. Gasto anual por consumo de sulfato de aluminio y gas cloro para la Represa El Guapo 35
Tabla 15. Gasto anual por consumo de gas cloro para los pozos. 35
Tabla 16. Resumen de las características hidrogeológicas de los acuíferos 43
Tabla17. Resumen sobre el comportamiento de descarga de los acuíferos según sus características hidráulicas 45
Tabla 18. Valores estimados de porosidad 47
Tabla 19.Valores estimados de conductividad 48
Tabla 20. Permeabilidad típica 48
Tabla 21. Valores típicos de s 49
Tabla.22. Valores de transmisibilidad 49
Tabla 23. Valores de Reynolds 51
Tabla 24. Diámetros recomendados para pozos 56
Tabla 25. Áreas de rejillas Johnson 57
Tabla 26. Resumen de métodos a caudal constante 59
Tabla 27. Cuadro resumen de las características hidrogeológicas de la cuenca del Tuy 83

Tabla 28. Unidades Geoeléctricas presentes en el área de estudio según Alvarado 99
Tabla 29. Unidades Geoeléctricas presentes al sur del área de estudio por Sánchez (2000). 101
Tabla 30. Unidades Geoeléctricas presentes en San Juan La Madre Vieja Sánchez (2000). 102
Tabla 31. Unidades Geoeléctricas presentes en el sector los cerritos, Sánchez (2000). 103
Tabla 32. Unidades Geoeléctricas presentes en la encrucijada Cacao, Sánchez (2000). 105
Tabla 33. Unidades Geoeléctricas presentes entre el monumento al cacao y la perimetral este, Sánchez (2000). 107
Tabla 34. Unidades Geoeléctricas presentes a lo largo de la perimetral este, Sánchez (2000). 108
Tabla 35. Unidades Geoeléctricas presentes al sur de la encrucijada, Sánchez (2000). 110
Tabla 36. Valores de precipitación mensual 112
Tabla 37. Valores estimados de la evapotranspiración potencial 112
Tabla 38. Valores de las variables que conforman al balance hídrico. 113

Tabla 39. Inventario de pozos 116
Tabla 40. Muestra los valores teóricos de resistividad según Astier 129
Tabla 41. Consumo Mensual de sulfato de aluminio en Kg 134
Tabla 42. Consumo mensual y anual de bombonas de gas cloro para la represa 134
Tabla 43. Valor promedio en sulfato sólido 135
Tabla 44. Valores promedios de gas cloro para la represa 135
Tabla 45. Costo promedio par bombonas de gas cloro para los pozos 135
Tabla 46. Gasto anual por consumo de sulfato de aluminio y gas cloro 136
Tabla 47. valor anual por el factor del monto compuesto a una tasa de interés del 29% 136

CAPÍTULO I
1.- INTRODUCCIÓN

1.1- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Con el fin de disminuir la deficiencia en el suministro de agua para la región de Barlovento, y con la interrupción del funcionamiento de la represa El Guapo desde finales de 1999, surge la necesidad de realizar un estudio hidrogeológico detallado, para evaluar la factibilidad de establecer una red de pozos de aguas subterráneas, como alternativa a futuras situaciones críticas que afecten el funcionamiento del sistema construido en base a la represa El Guapo y/o a los nuevos requerimientos que se van a generar debido a la expansión de la demanda por el aumento urbano de la región.

Tomando como base los estudios hidrogeológicos realizados en el área de Barlovento, específicamente en la cuenca del bajo Tuy, se ha encontrado muy poca información integrada en el ámbito sedimentológico-estratigráfico hidrogeológico; que permita mejorar el diseño de la construcción de los pozos de bombeo, así como elaborar una base de datos hidrogeológica del área, que sirvan para realizar posteriormente simulaciones en el comportamiento hidrogeológico de los acuíferos.

Sobre la base de todo lo antes expuesto, se ha planteado la idea de estudiar y caracterizar hidrogeológicamente los principales acuíferos del Reciente, ubicados al norte de El Guapo, entre los ríos Tuy y Guapo; municipios Brión y Páez del estado Miranda.

1.2.- OBJETIVOS:

1.2.1- Objetivo General:

Estudiar y caracterizar hidrogeológicamente los principales acuíferos del Reciente, ubicados al norte de El Guapo, entre los ríos Tuy y Guapo.

1.2.2.- Objetivos Específicos:

- Elaborar un modelo hidrogeológico conceptual de los acuíferos presentes en el área.
- Elaborar un banco de datos hidrogeológicos para posteriores simulaciones en el comportamiento hidrogeológico de los acuíferos estudiados.
- Realizar un análisis comparativo preliminar de una red de pozos de agua, que compita con la colapsada represa El Guapo.
- Elaborar una caracterización sedimentológica y estratigráfica, de los potenciales acuíferos, presentes en el área.

1.3.- ALCANCES:

Con el desarrollo y los resultados obtenidos del presente estudio, se hará una importante contribución al acervo científico geológico, cultural y económico de la región, ya que permitirá lo siguiente, conocer la geología, extensión, geometría e hidrodinámica de los acuíferos, así como los periodos de recarga, a fin de disminuir la dependencia de las aguas provenientes de la Represa el Guapo y establecer un mejor aprovechamiento de las aguas subterráneas, en la región barloventeña, a fin de disminuir el costo operativo de la actual Represa El Guapo.

1.4.- UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO DE LA ZONA DE ESTUDIO:

El área de estudio para esta investigación se encuentra ubicada geográficamente en la cuenca del bajo Tuy, en el estado Miranda entre los municipios Brión y Páez, específicamente entre los poblados Sotillo - El Silencio, en sentido SE; y entre Pueblo Nuevo -Tacarigua de la Laguna, en sentido NE . Esta área abarca aproximadamente **57,328** Km^2, siguiendo una geometría trapezoidal cuyos vértices están representados bajo las siguientes coordenadas, **1**. (1.142.700 N, 820.500 E); **2** (1.142.000 N, 821.800 E).; **3**(1.140.900 N, 823.100 E). y **4.** (1.131.400 N, 831.500 E), **8**.(1.131.600 N, 831.400 E), **9**. (1.132.400, 830.600 E); **10**. (1.132.000 N, 833.000 E); **11.** (1.139.800 N, 827.200 E).; **12**(1.138.500 N, 826.700 E). y **13.** (1.139.000 N, 826.100 E), **14**.(1.140.200 N, 826.700 E), **15**. (1.140.900, 822.000 E) y **16**. (1.142.200, 820.100 E); (fig. 1).

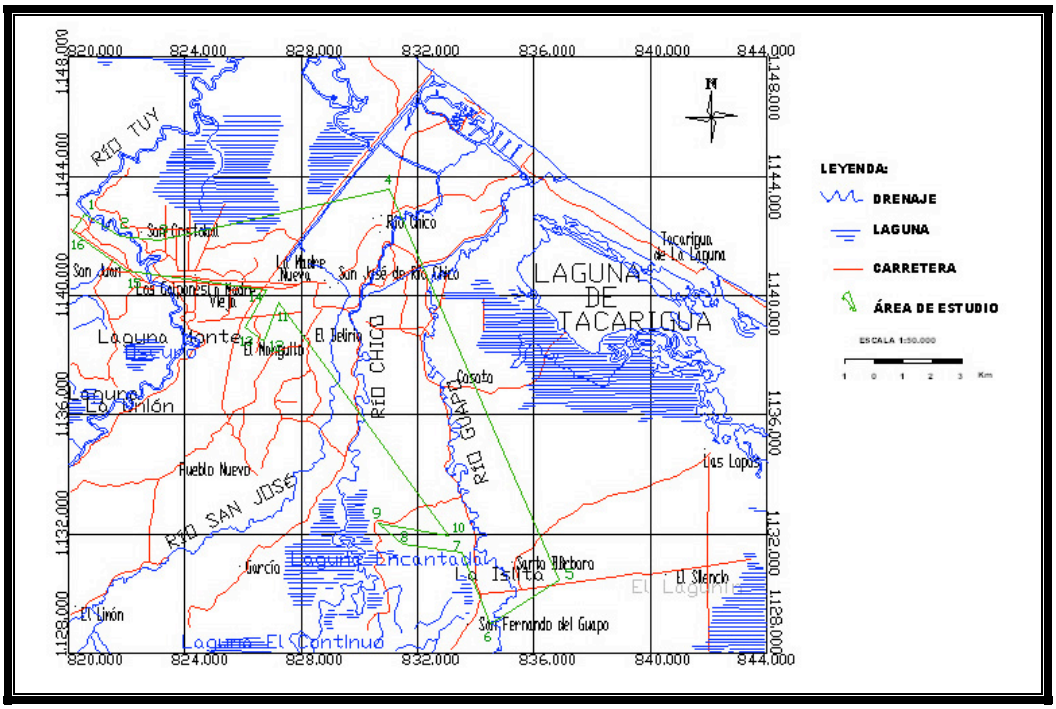


Fig. 1: Mapa de ubicación del área de estudio.

Para acceder al área de estudio se utiliza como vía principal la autopista Gran Mariscal de Ayacucho hasta llegar a la Encrucijada en Caucagua, donde se pueden tomar las carreteras pavimentadas: Caucagua – Tacarigua de Mamporal en sentido NE y Caucagua – El Guapo en sentido SE.

Siguiendo las carreteras antes mencionadas se encuentran otras carreteras asfaltadas y de tierra. Entre las carreteras se distinguen:

- El tramo Caucagua – Tacarigua de Mamporal, se localiza la vía que parte desde Tacarigua de Mamporal, pasando por La Madre Nueva hasta llegar a San José de Río Chico, la cual atraviesa los ríos Tuy y San José .
- En el segundo tramo Caucagua - El Guapo, se encuentra la carretera que parte del Guapo y pasa por San Fernando culminando en San José de Río Chico, la cual sigue una trayectoria paralela al Río Guapo, en sentido S-N.(ver fig. 1)

1.5.- CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO:

1.5.1.- Clima y vegetación:

La definición de clima se basa en los promedio de los estados del tiempo atmosférico de un lugar especifico y durante un periodo de tiempo determinado. Los factores que intervienen en este proceso son: la irradiación, temperatura, insolación, precipitación, humedad, evaporación, nubosidad, presión atmosférica y vientos.

Estos parámetros antes mencionados al interactuar con factores geográficos como la latitud, altitud, vegetación, formas de relieve y cuerpos de agua, permiten definir el clima como la suma total de condiciones geoatmosféricas que caracterizan el ambiente de un lugar específico.

Luego de haber definido en el párrafo anterior que es el clima, podemos

conocer como es el mismo en la región de Barlovento, ubicado en el estado Miranda.

Según ZAMBRANO (1970), quien define y reinterpreta las zonas climáticas definidas por KOEPPEN (1948), establece las siguientes en la zona de Barlovento:

a).- Clima tropical o lluvioso cálido (A): este es el grupo climático mas representativo del país. Son climas típicos del trópico, se caracterizan por mantener una elevada temperatura durante todo el año superior a 18 ºC (tipo A), con precipitaciones durante gran parte del año. Este grupo se encuentra dividido en el área de la siguiente manera:

- **Clima tropical cálido lluvioso de selva ecuatorial, tipo Amazónica Afi, sub tipo ($Afigi_2$):** en el área regional del Tuy, las temperaturas medias anuales según el gradiente geotérmico oscilan entre los 23° y 26 °C . El sub tipo de clima Afi, se presentan al sur de la llanura de Barlovento, en un área que se extiende desde los limites de la cuenca de Lagartijo hasta las inmediaciones de la cuenca de El Guapo, en una extensa superficie que cubre la selva de Guatopo. La vegetación presente en esta zona climática, corresponde a selva higrófila (pluvial), megatérmica a mesotérmica tipo ecuatorial (amazónica). (Fig. 2).

- **Clima tropical lluvioso de bosque húmedo Perennifolio tipo amazónico Ami, sub tipo ($Amigi_0$ y $Amigi_2$):** corresponde a la sub región climática adyacente a la anterior descrita y se corresponde con los bosques húmedos tipo mónzonicos transicionales entre los climas de selva ecuatorial y los de sabana. Se presenta en forma de franja bordeando las áreas montañosas Selva de Guatopo y llanura de Barlovento y se corresponde con los piedemonte y áreas montañosas al norte de Caucagua y Capaya que bordean dicha llanura. La temperatura media anual oscila entre 28° y 24°C. El tipo de vegetación característico en esta área es de bosques húmedos perennifolios

tipo monzónico (selvas eupluviales tipo monzonicas). (Fig. 2).

- **Clima tropical calido lluvioso, de sabanas y bosques tropófilos tipo Awi, sub tipo ($Aw'(m)g'i_0$ y $Aw''(m)g'i_0$):** esta región climática presenta una temperatura de 18°C, las temperaturas medias anuales son de 26°C a 28°C, las precipitaciones anuales van de 1000 a 700 mm. La vegetación característica esta conformada por: costas de manglares, herbazales y matorrales halófilos, en algunas áreas son de sabanas y bosques sub húmedos tropófilos. (Fig. 2).

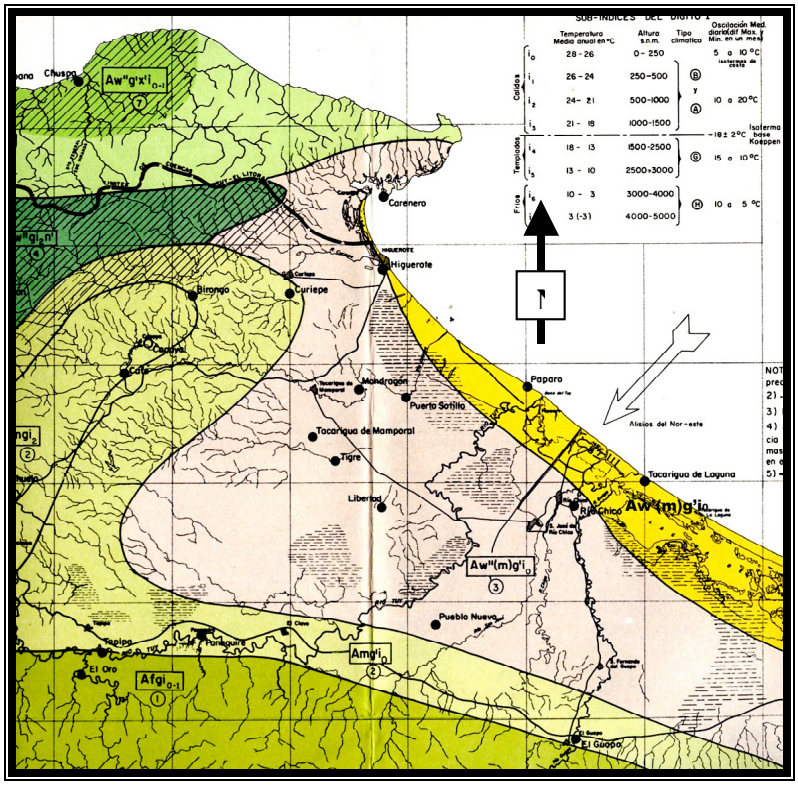


Fig. 2: Mapa climático de la zona de estudio, ZAMBRANO (1970).

Leyenda. **$Afigi_2$**:Clima tropical cálido lluvioso de selva ecuatorial amozónica.. **$Amigi_o$ y $Amigi_2$**: clima tropical lluvioso de bosque húmedo Perennifolio tipo amazónico Ami. **$Aw'(m)g'i_0$ y $Aw''(m)g'i_0$:** Clima tropical calido lluvioso, de sabanas y bosques tropófilos tipo Awi.

1.5.2.- Drenaje:

La Cuenca de Barlovento presenta una extensión de 2.490 Km^2, según Zambrano (1970), esta está constituida principalmente por el río Tuy y cuatro (4) ríos secundarios (Curiepe, Capaya; San José –Chico, Guapo y Cúpira), dando origen a cuatro (4) subcuencas hidrográficas, que se describen a continuación:

- **Cuenca del Bajo Tuy o de Barlovento:**

  El drenaje principal de esta cuenca, es el río Tuy, el cual atraviesa el área de estudio y tiene una dirección de flujo oeste - este, hasta el poblado de El Clavo, para luego cambiar con un sentido suroeste-noreste. Su geometría desde el poblado de Aragüita hasta su desembocadura es tortuosa, la cual permite la formación de meandros. En su margen norte tiene como afluente principal al río Grande o Caucagua de curso irregular. Al igual que el resto de los tributarios, presenta un patrón subparalelo próximo a éste. La presencia de tributarios en este margen es muy escasa.

  En cuanto al margen sur, el patrón de sus afluentes es subparalelo; siendo sus afluentes principales, los ríos Taguaza, Cuiria y Panaquirito, que aguas arriba presentan un curso irregular, y los afluentes secundarios de estos, un patrón subparalelo.

  Es de hacer destacar, que dentro del área de estudio (Anexo 1), el río Tuy presenta dos cambios abruptos en la dirección de su curso muy resaltantes, uno al sur del poblado de Caraquita y el otro al noreste del poblado La Troja.

- **Subcuenca del río Curiepe:**

Se encuentra situada al noroeste del área de estudio, con una extensión de 200 Km^2, teniendo como drenaje principal el río Curiepe, el cual nace al norte de la población de Birongo y cuya dirección de flujo va de este a o este, describiendo una forma irregular aguas abajo y regular aguas arriba.

En el margen norte del río Curiepe, se encuentra una red de tributarios, con un patrón subparalelo al aproximarse a éste, y muy abundante, en comparación con la escasa presencia de afluentes en el margen sur (Anexo1).

- **Subcuenca del río Capaya:**

Se localiza, también, al norte del área de estudio, específicamente al sur de la subcuenca del río Curiepe; siendo sus dimensiones de aproximadamente 367 Km^2. El drenaje principal es el río Capaya, cuya dirección de corriente va de oeste a este, y se caracteriza por presentar un patrón que varía de transicional a rectilíneo aguas arribas, e iregular aguas abajo.

En el margen norte se encuentra una red de tributarios que presenta un patrón dendrítico a subparalelo aguas arriba, y subparalelo al acercarse a éste; sin embargo, en el margen sur la presencia de estos, es pobre a nula. Cabe destacar, que al norte de la población Gamelotal y oeste de Las Colonias, se observan tres puntos el cambio abrupto de dicho curso de agua (Anexo 1).

- **Subcuenca de los ríos San José-Chico:**

Esta se ubica al sureste del área de estudio, abarcando una extensión de 146 Km^2, siendo sus drenajes principales el río San José, el cual nace al sur de la población de El Mango de Coita, en el piedemonte de la Serranía del Interior, y el río Chico, cuya cabecera se ubica al noroeste de la población de el Guapo. Estos drenajes presentan una dirección de flujo que van desde el

sureste al noreste con un curso transicional; una escasa presencia de afluentes en sus márgenes, con patrón subparalelo, aguas arriba, y nula aguas abajo.

- **Subcuenca del río Guapo:**

Se encuentra al sur de la zona de estudio, abarcando parte de ésta; presenta un área de 714 Km^2. El drenaje principal es el río Guapo, cuya cabecera se ubica al sur de la Serranía del Interior. El sentido de la corriente es de sur a norte, y presenta un curso irregular con tendencia a formar meandros.

En el margen este, se localiza aguas arriba, el río Aragua, el cual es un afluente principal; sin embargo aguas abajo, carece de afluentes. Con respecto al margen oeste, se ubican aguas arriba dos afluentes principales, como son el río Chuspita, con un curso irregular, y el río Guayas, con un curso transicional y rectilíneo; que al igual que los afluentes secundarios presentan un patrón subparalelo al acercarse al río Guapo. Sin embargo, aguas debajo de este margen, al igual que del otro margen no se observan afluentes.

- **Subcuenca del río Cúpira:**

Presenta una dimensión de 375 Km^2, y se localiza en el extremo sureste de la cuenca de Barlovento. Su drenaje principal es el río Cúpira, el cual nace al suroeste de la población de Cúpira, cuyo sentido de la corriente va de suroeste a noreste, presentando un curso irregular.

En los márgenes este y oeste los afluentes presentan un patrón de drenaje, aguas arriba, subparalelo, pero aguas abajo, en los dos márgenes, no se observa presencia de afluentes.

1.5.3.- Geomorfología:

Según el MARNR (1980), la Cuenca de Barlovento se encuentra constituida morfológicamente por tres unidades caracterizadas por sus correspondientes formas y procesos modeladores, ellos son: piedemonte, llanura aluvial (Fig. 3), y planicie costera.

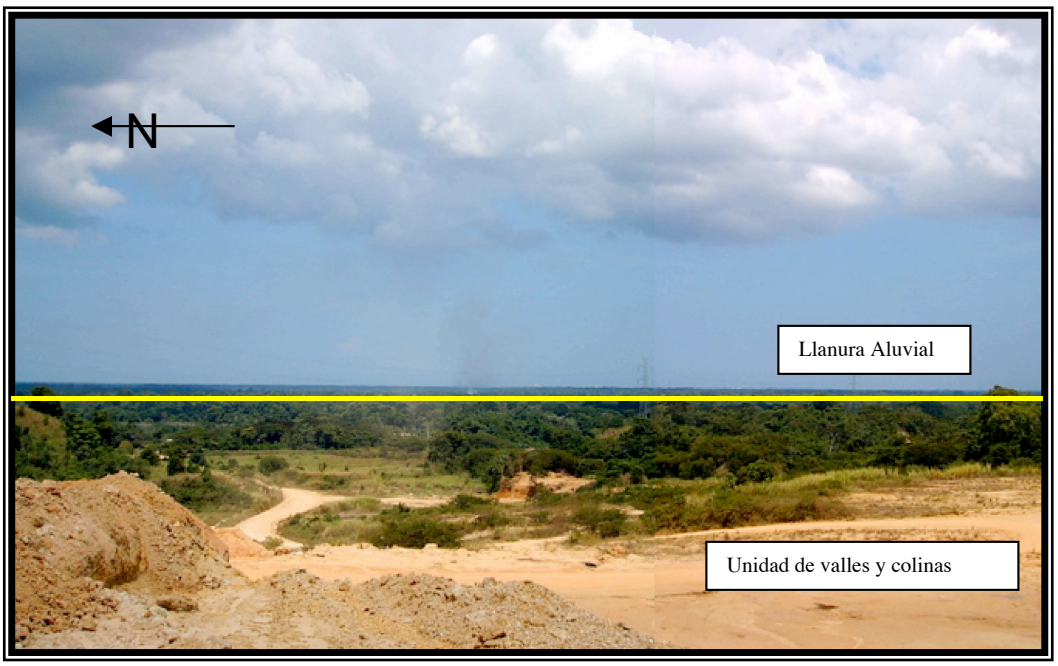


Fig. 3: Fotografía donde se muestra el límite aproximadamente entre la llanura aluvial y la unidad de valles y colinas, sector San Juan – La Madre Vieja, rumbo N80°W.

- **Unidad de Piedemonte:**

Se localiza al norte y constituye el límite de las estribaciones de la Cordillera de la Costa. Presenta una topografia semiabrupta (15/100 m.s.n.m.) y pendientes que oscilan entre 15 y 20%.

Esta unidad ocupa una zona muy pequeña en comparación con el resto ya que conforma el 5,9% del área, lo que representa 4.400 Has.

Dentro de esta unidad se observan pequeños conos de deyección y antiguas terrazas adosadas a las colinas bajas que corresponden a terrazas residuales inestables resultantes de diferentes procesos modeladores entre los cuales destaca el escurrimiento difuso como el proceso morfogenético de mayor importancia, representado por cursos intermitentes de carácter torrencial. Estas características, unidas a las condiciones litológicas (arcillitas, areniscas y conglomerados mal consolidados y pobremente estratificados) y climáticas (precipitaciones medias anuales entre 1.300 y 1.500 mm y temperaturas entre 25 y 26ºC), favorecen una fuerte erosión.

Los suelos se caracterizan por presentar texturas medias con un drenaje rápido tanto externo como interno, favorecido por la pendiente.

- **Unidad de Llanura Aluvial:**

Es una amplia planicie con un área de 23.515 Has, equivalentes al 31.3% del área total. Está constituida por depósitos aluviales transportados por los numerosos cursos de agua que drenan el área ríos Curiepe, Capaya, Tuy, San José, Chico, Guapo y Cúpira, además de numerosas quebradas de régimen esporádico. Se encuentra inmediato al sector de piedemonte.

Debido al escaso declive que caracteriza a la llanura, soportada por pendientes con promedio general inferior al 5%, suelos caracterizados por arcillas y limos y precipitaciones medias anuales que varían entre 1.000 y 1.600 mm, se presentan zonas inundadas.

Dentro de la llanura aluvial se distinguen las siguientes subunidades:

Subunidad de Planicie de Inundación permanente:

Se localiza en ambas márgenes de los ríos principales antes mencionados. Posee una topografía plana con pendientes menores al 1%, constituida por sedimentos de granulometría medias a finas (arena, limos y arcillas). Representa lo que comúnmente se denomina lecho mayor ordinario, inundable anual o periódicamente, forma una franja paralela al río y está generalmente separada de la planicie propiamente dicha por un pequeño talud de 0,5 hasta 1m de altura.

Esta subunidad constituye un medio morfogenético muy activo de constantes aportes y de erosión, que se aprecia en un socavamiento constantes de las orillas. Los suelos de esta subunidad muestran una superposición en las facies deposicionales, las cuales incluyen meandros abandonados, pequeñas cubetas playas de ríos, etc.

Subunidad de Planicie de Inundación Temporal:

Posee características similares a las de la planicie de inundación permanente, la pendiente es muy baja, y frecuentemente es superior a la de la planicie de inundación permanente.

En la planicie de inundación permanente, ésta se genera a partir de un eje único constituido por el lecho del río. En la planicie de inundación temporal, en cambio, no hay un solo eje principal sino varios (los ríos Capaya, Tuy, San José, Chico, y Guapo), además de numerosos brazos de creciente formados por afluentes de estos ríos.

Los suelos que constituyen esta subunidad se caracterizan por poseer texturas arcillo-limosas, formadas sobre los depósitos aluviales recientes.

Subunidad de Planicie no Inundable: estas formas se localizan al sur de la Laguna de Tacarigua, al norte de Tacarigua de Mamporal, al suroeste de Higuerote y alrededores de Mamporal. La topografía es plana con pendientes entre 2% y 5%. El contacto con la planicie de inundación es muy gradual, casi imperceptible. Al suroeste de Higuerote, aguas arriba del Río Curiepe y en Tacarigua de Mamporal, estas formas pasan a una posición de glacis-terrazas, limitadas por un pequeño talud.

El contacto entre estos glacis y la planicie de inundación se hace por intermedio de una sucesión de pequeñas depresiones (cubetas).

En el sector sur de la Laguna de Tacarigua la pendiente se hace superior debido al contacto con el área montañosa; luego la pendiente disminuye progresivamente (inferior al 2%) a medida que se acerca a la laguna.

En general estas formas tiene su origen en aportes coluviales provenientes de las formaciones cercanas y aportes laterales de ríos y quebrada. El material constituyente es estereométrico: arcillas, arenas, gravas, cantos y fragmentos de roca, en función del área donde se localizan.

Subunidad de Planicie Ondulada: corresponde a antiguas terrazas muy disceptadas y erosionadas de las formaciones Aramina y Mamporal. Se localizan al borde de la planicie (norte de Higuerote, sur de Curiepe y norte y sur de Tacarigua de Mamporal), y restos aislados que sobresalen de las acumulaciones recientes, al sur de la Laguna de Tacarigua.

Presenta una topografía ondulada, cuyas alturas varían entre 20 y 100 m (m.s.n.m), con pendientes que oscilan entre 5 y 15%; los suelos son de textura media.

Los procesos morfogenéticos que han dado origen a estas formas, han sido por la acumulación de sedimentos y a la acción posterior de los agentes climáticos y de los ríos dándole su forma actual.

- **Unidad de Planicie Costera:**

Se caracteriza por presentar un relieve plano, de escasos desniveles con una pendiente menor a 1%. Es una franja alargada paralela a la línea de costa de aproximadamente 16 Km de longitud. Se extiende desde Cabo Codera hasta Boca de Uchire.

Los suelos que integran a esta unidad son predominantemente de textura areno-arcillo-limosa muy salinos.

Están constituidos por depósitos fluvio-marinos poco consolidados y mal estratificados, lo que le confiere una baja resistencia desde el punto de vista geotécnico. Dentro de esta unidad se distiguen diferentes áreas, según el MARNR (1981):

a). **Subunidad de Cordón Litoral:** se extiende desde Carenero hasta Boca de Uchire. Se trata de una acumulación arenosa edificada por la corriente litoral, tiene una forma convexa de aproximadamente 1m (m.s.n.m) y en numerosos sitios está entallado por pequeños caños de marea.

b). Subunidad de Albuferas: constituye la transición entre planicie aluvial y formas típicamente marinas (cordones y playas). Se trata de tierras bajas pantanosas en las cuales se puede hacer una diferenciación en función del tiempo de inundación:

b.1). Albuferas funcionales: todo el tiempo presentan agua salobre y están comunicadas con el mar a través de un caño de marea.

b.2). Albuferas: inundables parcialmente por lluvias y por la elevación de la mesa de agua.

c). Subunidad de Dunas: acumulaciones de arena perpendiculares a la acción del viento, su altura no sobrepasa de 1 m, se observan al sur del centro poblado de Higuerote (Playa Sotillo), sobre la línea de playa.

d). Subunidad de Marismas: se localizan al norte de la Cuenca de Barlovento Cabo Codera). Corresponden a terrenos bajos pantanosos inundables por las mareas. Se pueden diferenciar:

Schorre [(1)]: inundable excepcionalmente y cubierta por vegetación herbácea.

Slikke [(2)]: inundable con mayor frecuencia. Correspondiente a manglares.

e). Subunidad de Playas: corresponde a un tramo de la línea de costa, de aproximadamente 95.5 Km de longitud, que se extiende desde Laguna Grande hasta la desembocadura del Río Uchire.

1.6.- METODOLÓGIA

En este trabajo se destaco todo lo referente a la hidrogeología de los acuíferos recientes, ubicados en la región de Barlovento en el estado Miranda; tomando en cuenta los aspectos hidrogeológicos y sedimentológicos-estratigráficos citados en los objetivos específicos. A continuación se mencionan y describen las cuatro etapas desarrolladas en este trabajo:

---

(1) **Shorre:** Es la parte mas alta de la zona pantanosa y por lo tanto sus zonas fangosas son mas estables y están pobladas de vegetales.

(2) **Slikke:** Corresponde la parte mas blanda y sin vegetación del estuario.

1.6.1.- Etapa de búsqueda y procesamiento de documentación previa:

Esta etapa consistió en realizar una revisión de toda la información existente de la zona en estudio, la cual consta de:

- Recopilación y análisis de los trabajos previos, referidos a los temas de aguas subterráneas y/o geológicos; realizados en el área de estudio.
- Interpretación de las cartas topográficas 6946, 6947, 7046 y 7047, a escala 1:100.000, cartas geológicas e hidrogeológicas de la zona de estudio, a escala 1:100.000.

1.6.2.- Etapa de campo:

La siguiente etapa se subdividió en dos subetapas, geología de superficie e hidrogeología, las cuales se describen a continuación:

1.6.2.1.- Geología de superficie:

Consistió en corroborar en el área de estudio, la existencia de las formaciones presentes tanto en superficie como en el subsuelo, así como en ubicar, describir y recolectar muestras de sedimentos de las terrazas de llanuras de inundación fluviales, presente en la zona, así como del pozo Sara V.

En la terraza de la llanura de inundación fluvial ubicada a los márgenes del río Tuy, se recolectó 1,5 m de muestra, seleccionando sietes porciones de 10 cm, por medio del método SPT, en el sector llamado por los pobladores Manati de San Cristóbal.

Este método consistió, hincar, con 1 tubo de PBC de dos 2¨, previamente rotulado cada 10 cm, y con un largo de 2 m, esto con el fin de comparar mineralógicamente, por difracción de rayos X, las arcillas presentes en las áreas circundantes a la red de pozos Sara, y la obtenida del pozo Sara V.

En el pozo Sara V, se extrajeron 120 m de muestras de ripio por cada metro, a través del método de perforación rotatoria, con la finalidad de caracterizar granulométrica, morfológica y mineralógicamente, los sedimentos que constituyen al acuífero presente en el subsuelo.

1.6.2.2.- Hidrogeología

Esta subetapa, consistió en la realización de mediciones de los parámetros hidrogeológicos y elaboración de gráficas. Esta subetapa, se basó en:

1. Medición del nivel estático antes de cada prueba, hecha en el pozo Sara V, y de la descarga en cada prueba.

2. Realización de tres tipos de pruebas de bombeos:

- A caudal constante, donde a partir de un caudal de 50 l/s, se procedió a medir en intervalos de tiempo el abatimiento, con lo cual se generó una gráfica semilogarítmica de abatimiento vs. tiempo, y se obtuvo la transmisibilidad, asi como la capacidad especifica para un abatimiento dado.

- A caudal escalonado, donde a partir de tres descargas distintas, para intervalos de tiempos se midió el abatimiento, con el cual se generó una gráfica semilogaritmica de abatimiento específico vs.

descarga para obtener los coeficientes de pérdida lineal del pozo y del acuífero.

- Recuperación, donde a una vez parado el bombeo, se midieron los abatimientos residuales, en intervalos de tiempo en minutos, con los cuales se generó una gráfica de abatimiento residual contra relación de tiempo de inicio de bombeo y cese de bombeo, y se obtuvo el valor de la trasmisibilidad.

3. Relleno de tablas con las mediciones obtenidas, ver figura 4a y 4b.

4. Por último se utilizaron los datos de los pozos perforados por TAHAL (2001), suministrados por el la empresa HIDROCAPITAL, y los pozos BPO-3, BPO-4 y BPO-5 del MARN.

<table>
<tr><td colspan="7">PRUEBA DE CAUDAL CONSTANTE</td></tr>
<tr><td colspan="2">Pozo:</td><td colspan="2">Fecha:</td><td colspan="3">NE:</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Mediciones Realizadas Por:</td><td rowspan="2">Mediciones en:</td><td colspan="3">☐ Piezómetro:</td></tr>
<tr><td colspan="3">☐ Pozo de Bombeo</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Referencia</td><td>☐ Cota Brocal</td><td rowspan="3">Observaciones:</td><td rowspan="3">Datos del Piezómetro</td><td>☐ Cota Brocal</td><td rowspan="3">Distancia al pozo:</td></tr>
<tr><td>☐ Cota:</td><td>☐ Cota:</td></tr>
<tr><td>☐ Otra:</td><td>☐ Otra:</td></tr>
<tr><td>HORA</td><td>Tiempo (minutos)</td><td>CAUDAL (l/s)</td><td>NIVEL (m)</td><td colspan="3">OBSERVACIONES</td></tr>
<tr><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td>2</td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

Fig.4a . Planilla tipo para pruebas de bombeo a caudal constante, utilizada por HIDROCAPITAL(2005).

ENSAYO DE ABTIMIENTO ESCALONADO			
Pozo:		Fecha:	NE:
Mediciones realizadas por:		Mediciones realizadas en:	☐ Piezómetro: ☐ Pozo de Bombeo
Referencia de la medición	☐ Cota Brocal ☐ Cota: ☐ Otra:	Observaciones:	Distancia del piezómetro al pozo de bombeo:

ESCALONES					
1		**2**		**3**	
Hora Inicio		Hora Inicio		Hora Inicio	
Hora Final		Hora Final		Hora Final	
Q1		Q2		Q1	
Tiempo (min)	Nivel (m)	Tiempo (min)	Nivel (m)	Tiempo (min)	Nivel (m)
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	

Fig.4b: Planilla tipo para pruebas de bombeo, para abatimiento escalonado, utilizado por HIDROCAPITAL(2005).

1.6.3.- Etapa de laboratorio

Esta etapa consistió en la caracterización de 119 muestras de sedimentos aluviales provenientes del pozo Sara V, de la empresa HIDROCAPITAL; para esta etapa se definieron dos subetapas:

1.6.3.1.- Análisis granulométrico:

1. Se seleccionaron 31 muestras de un total de 119, sobre la base de la respuesta eléctrica y del tamaño de grano.

2. Se procedió al secado y posterior disgregación manual de las 31 muestras, seguido del cuarteado de las mismas.

3. Previo al tamizado se tomó 200 g, por muestra, como medida estandar, ya que no todas poseían grandes masas, para lo cual se utilizó una balanza electrónica, marca KERN 572, capacidad máxima 3100 g, error 0.1 g.

4. Posteriormente se procedió al tamizado de las muestras, durante 10 minutos, utilizando un juego de tamices que van desde la abertura phi (ϕ) : -3, -2.5, -2,-1.5,-1,-0.5, 0 ,0.5, 1.5, 2, 2.5,3, 3.5,4 y 4.5, y un tambor vibratorio, marca Endecotts Limited, modelo OCT-DIGITAL 4183-00, voltaje 110, frecuencia 60, fase 1, Watts 300 y Max : 43kg.

5. Luego se midió la fracción de sedimentos retenidos en cada tamiz y se asentó en una tabla diseñada por NAVARRO (1999), ver tabla 1.

Tamiz	Abertura	Pret	Mcorr	%Mcorr	%Macum	Intervalo de clase	%Mcorr(clase)
C	-3						
A	-2.5						
5	-2						
7	-1.5						
10	-1						
14	-0.5						
18	0						
25	0.5						
35	1						
45	1.5						
60	2						
80	2.5						
120	3						
170	3.5						
230	4						
Bandeja	4.5						
Ptf							

Tabla 1. Datos granulométricos por cada doscientos (200g) gramos de muestra, NAVARRO (1999).

6. Se procedió a la elaboración de gráficas de histogramas, curvas de frecuencia y curvas acumuladas, para cada muestra, y se calcularon los parámetros granulométricos como mediana, coeficiente de escogimiento, coeficiente de angulosidad y de asimetría, utilizando las siguientes definiciones y fórmulas:

a).- Mediana: Se define en sedimentológia como el tamaño que tiene el 50% de granos gruesos y el de granos finos. Nos permite indicar el nivel de energía presente en el ambiente de sedimentación. El cálculo de la mediana es el tamaño obtenido con la intersección de la curva y el percentil (ϕ) 50. Se expresa mediante la siguiente fórmula NAVARRO(ob.cit).

$$\mathbf{Md = \phi\ 50}$$

b).- Coeficiente de escogimiento: este permite indicar el grado de escogimiento de la muestra y las fluctuaciones en el nivel de energía. NAVARRO (ob.cit). Para esto se utilizó la siguiente fórmula (Tabla 2):

$$\sigma_1 = ((\phi_{84}-\phi_{16})/4) + ((\phi_{95}-\phi_5)/6{,}6)$$

σ_1	Grado de escogimiento
< 0.35	Muy bien escogido
0.35 – 0.50	Bien escogido
0.50 – 0.71	Moderadamente bien escogido
0.71 – 1.00	Moderadamente escogido
1.00 – 2.00	Mal escogido
2.00- 4.00	Muy mal escogido
> 4.00	Extremadamente mal escogido

Tabla 2: Intervalos del grado de escogimiento según FOLK. (1957).

c).- Coeficiente de asimetría: Indica las tendencias de la energía promedio del agente de transporte NAVARRO (ob.cit). (Tabla 3). La fórmula para calcular el coeficiente de asimetría es:

$$Sk_1 = ((\phi_{84}+\phi_{16}-2\phi_{50})/(2(((\phi_{84}-\phi_{16}))+ ((\phi_{95}+\phi_5-2\phi_{50})/(2(\phi_{95}-2\phi_5))$$

Sk_1	Asimetría
1.0 a 0.3	Muy asimétrica hacia tamaños finos
0.3 a 0.1	Asimétrica hacia tamaños finos
0.1 a 0.1	Casi asimétrica
-0.1 a –0.3	Asimétrica hacia tamaños gruesos
-0.3 a –1.0	Muy asimétrica hacia tamaños gruesos

Tabla 3: Intervalos del coeficiente de asimetría, según TUCKER (1991)

d).- Coeficiente de angulosidad K_G: indica el grado de agudeza o angulosidad de una curva de frecuencia, lo cual es reflejado del grado de escogimiento (Tabla 4), NAVARRO (ob.cit). Este coeficiente esta expresado por la siguiente fórmula:

$$K_G = ((\phi_{95}-\phi_5)/(2{,}44(\phi_{75}-\phi_{25}))$$

K_G	Kurtosis
< 0.67	Muy platicurtica
0.67 – 0.90	Platicurtica
0.50 – 0.71	Mesocurtica
0.71 – 1.00	Leptocurtica
1.00 – 2.00	Mal escogido
2.00- 4.00	Muy Leptocurtica
> 4.00	Extremadamente Leptocurtica

Tabla 4: Intervalos de Kurtosis, TUCKER (1988).

1.6.3.2.- Análisis morfológico:

Después de haber tamizado las 31 muestras seleccionadas del pozo Sara V, se realizó un estudio morfológico del retenido de los tamices, tanto para los sedimentos tipo grava como para los tipos de arena. Con las gravas se procedió de la siguiente forma:

1. Se eligieron 45 granos de las muestras previamente tamizadas.

2. Se procedió a medir la longitud, con un vernier, de sus ejes A (eje mayor), B (eje intermedio) y C (eje menor), los cuales son ortogonales entre sí, para calcular la relaciones B/A y C/B.
3. Luego se determinó con la ayuda de la carta de estimación visual de POWERS (1953), ver Fig. 5 y de ZINGG (1954), ver Fig. 6, la redondez y esfericidad.

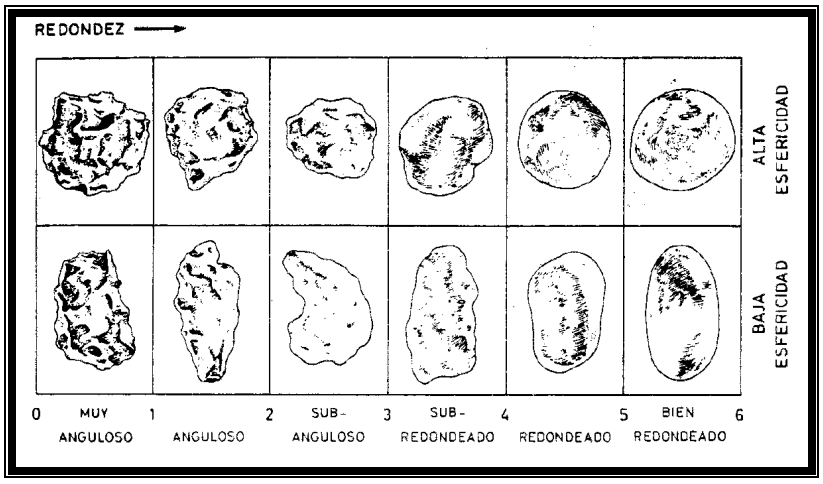


Fig. 5. Gráficas visuales para la determinación de la esfericidad y redondez Según POWERS, (1953). (CORRALES, 1977. Pág. 87)

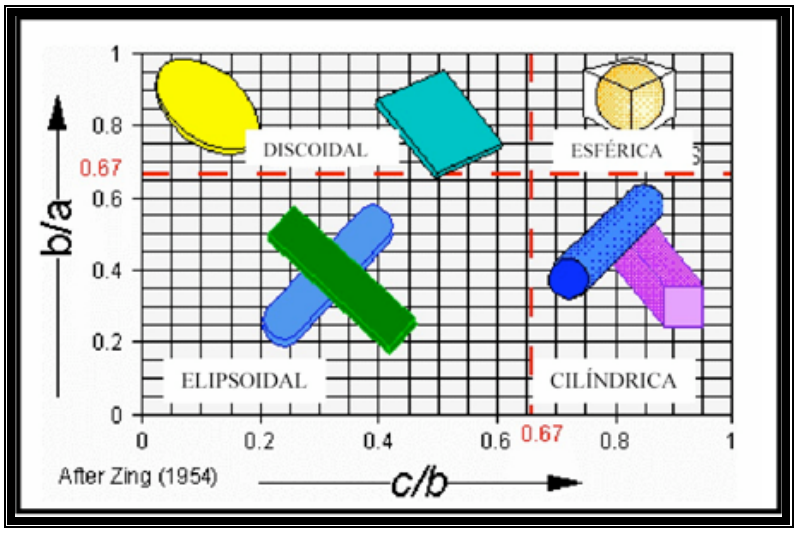


Fig. 6. Forma de ZINGG (1954), tomado de LA FORTUNE, (2002).

4. Por último, estos datos se colocaron en una tabla para gravas, ver tabla

Composición	Dimensiones / ejes			B/A	C/B	Forma de sing.	Redondez
(mineral o roca)	A	B	C			Calculada	
.							

Tabla 5. Datos morfológicos para gravas, tomado de NAVARRO (1999).

Con respecto a los sedimentos tipo arenas:

1. Se escogieron 45 granos de arena, de las muestras retenidas entre el tamiz 14 al 230.
2. Posteriormente, se determinó la redondez y esfericidad, con la ayuda del microscopio lupa de luz directa, marca WILD M3, y la carta de estimación visual de KRUMBEIN y LOSS (1955), ver Fig. 7.

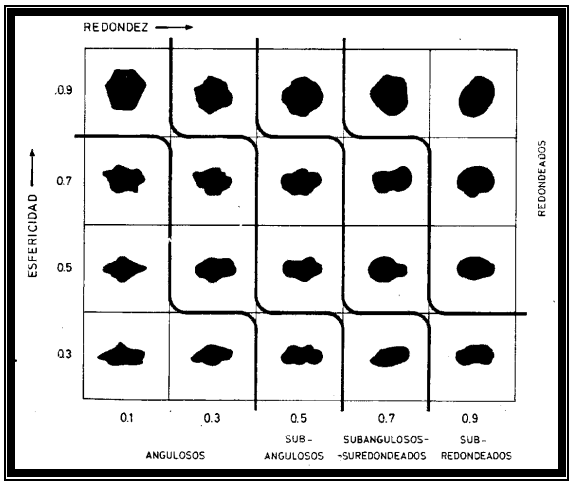


Fig. 7. Gráficas visuales para la determinación de esfericidad y redondez. Según KRUMBEIN y SLOSS (1955). (CORRALES, 1977, pág. 87).

3. Luego los datos se asentaron en una tabla (Tabla 6), las cuales no se anexan en éste trabajo.

Esfericidad y Redondéz	Frecuencia para la esfericidad	Frecuencia para la redondez
0,1		
0,3		
0,5		
0,7		
0,9		

Tabla 6: Datos morfológicos para las gravas, tomado y modificado de NAVARRO (1999).

4. Por último se graficaron y analizaron los histogramas de frecuencias para cada muestra, los cuales no se muestran en éste trabajo.

Cabe destacar que tanto a las gravas como a las arenas se les realizó un reconocimiento mineralógico, con la finalidad de determinar el tipo de roca fuente.

1.6.3.3.- Difracción de Rayos X:

1. Sobre la base de los registros eléctricos, del tamaño de grano, y del color que presentaron los sedimentos finos, se seleccionaron 16 muestras de ripios de un total de 119 muestras extraídas del pozo Sara V; además de las siete tomadas en la terraza de la llanura de inundación del río Tuy, a las cuales se les realizó un análisis de difracción de rayos X, para su caracterización, con la colaboración del departamento de Difracción de Rayos X de INTEVEP.

2. Luego se pesaron y tomaran entre 10 y 35 gramos, dependiendo del tipo de sedimento (arcillas o limos).

3. Posteriormente, estas fracciones de muestras fueron disgregadas en un mortero Ágata y separadas en dos porciones:

3.1 A la primera porción de 2 gramos se le pulverizó en un pulverizador tipo SHATTERBOX, marca SPEX modelo 1676, por espacio de un minuto. El polvo obtenido de esta pulverización, fue montado en forma no orientada en un portamuestra de aluminio y analizado cuantitativa y cualitativamente, en un difractómetro marca Phillips, modelo X´PERT, equipado con monocromador de cristal de grafito curvo, usando radiación CuK@ (Cobre K alfa), en el rango de 45 a 2 grados teta, para el cual se obtuvo la mineralogía de la roca total.

3.2 Luego la segunda porción, de 10 gramos o más, se dejó en remojo con acetato de sodio en baño de Maria por 24 horas. Seguido a esto fue tratado con agua oxigenada al 30% de volumen y ditionito de sodio. Estos tratamientos son para la eliminación de carbonatos, óxidos de hierro y materia orgánica, que son impurezas en el análisis de las

arcillas. Posteriormente, fué dispersada por ultrasonido, con el fin de separar aún más los cristales finos. La suspensión obtenida, pasó a hacer centrifugada con la finalidad de separar la fracción menor de 2 micras, la cual es concentrada sobre microfiltros ¨nucleares¨ por medio de vacío. Dicho concentrado fue montado sobre una lámina de vidrio, de manera orientada por sedimentación y analizado en un difractómetro, antes mencionado, en un rango de 35 a 2° 2θ. Posteriormente, dichas muestras fueron solvatadas en una atmósfera de Etilenglicol por 72 horas y corridas de nuevo en el mismo rango. Los resultados arrojados de estos difractogramas mostraron la mineralogía de las arcillas de dichas muestras.

4. Por último todos los resultados obtenidos de la difracción de rayos X, fueron a sentados en tablas, como se muestra en las tablas 7 y 8.

PROF	CUARZO	ARCILLA	FELD - K	FELD - Na	PIRITA	SIDERITA	CALCITA	DOLOMITA

Tabla 7. Resultados obtenidos de la caracterización mineralógica de la fracción de sedimento total, de las muestras provenientes del pozo Sara V (análisis cualitativo y semicuantitativo). Abreviaturas: PROF= profundidad, FELD-K= Feldespato potasico, FELD-Na= Feldespato sodico, Error del método se estima en +/- 15%, para cada uno de los compuestos mineralógicos.

PROF	CAOLINITA	CLORITA	CAO+CLO	ILITA	I/S	Sm	%I EN I/S	Tipo de I/S

Tabla 8. Resultados obtenidos de la caracterización mineralógica para las muestras del pozo Sara V, de la difracción menor 2 micras (análisis cualitativo y semicuantitativo). Abreviaturas: PROF= profundidad, I/S= ilita/smectita, Sm= smectita, % I en I/S = % ilita en ilita/smectita, Tipo de I/S = Tipo de ordenamiento (ordenado, o desordenado), El error del método se estima en +/- 15, para cada uno de los componentes mineralógicos.

Todo lo antes descrito en la fase de laboratorio, se ha resumido en un diagrama de flujo (Fig 8), donde se muestra la secuencia de todos los pasos seguidos, en la caracterización de los sedimentos provenientes del pozo Sara V, el cual forma parte del inventario de pozos necesario para la culminación de los objetivos planteados en este trabajo.

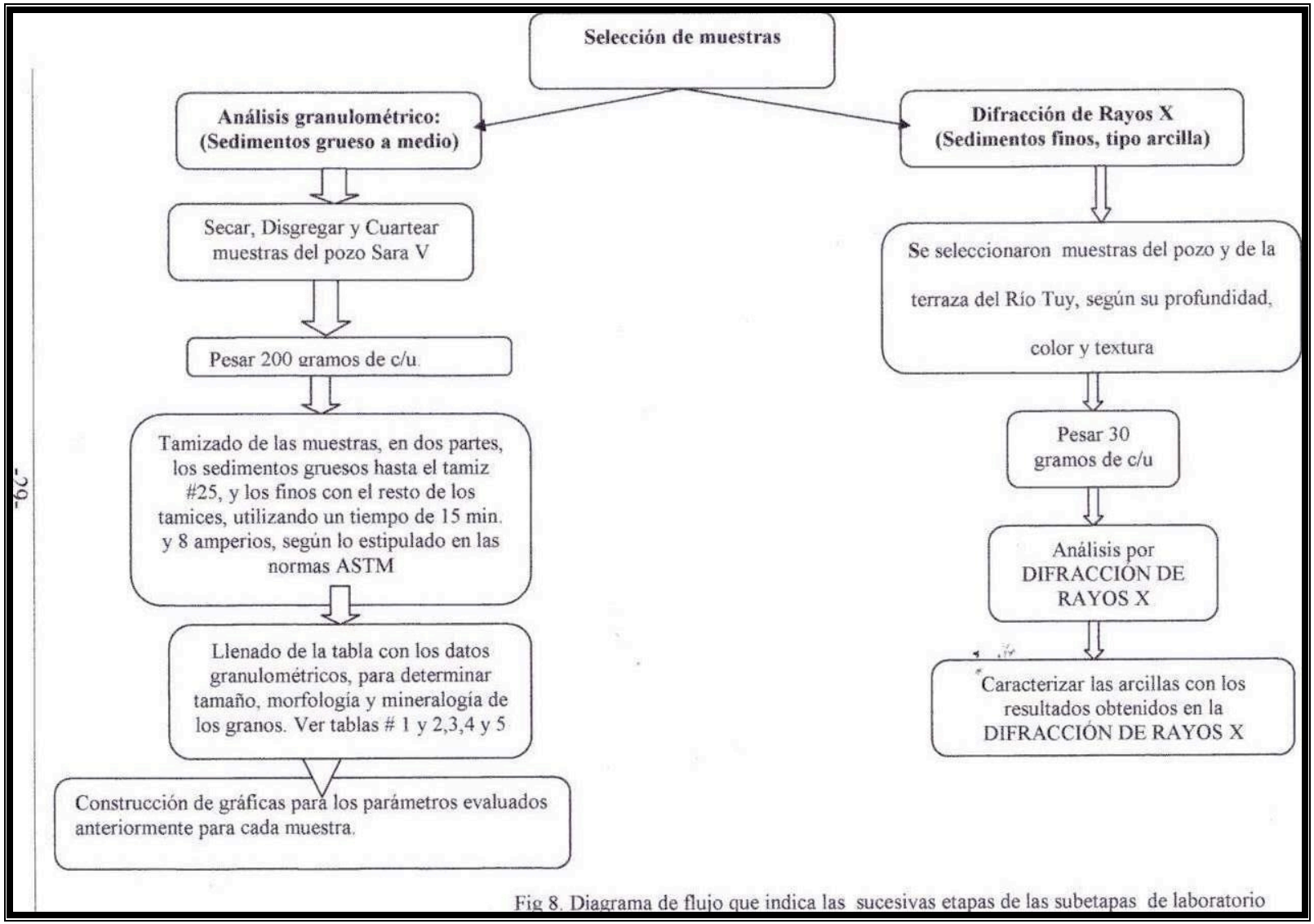


Fig 8. Diagrama de flujo que indica las sucesivas etapas de las subetapas de laboratorio

1.6.4.- Etapa de Oficina:

Esta etapa al igual que la de laboratorio, se subdividió en dos subetapas denotadas 1 y 2 respectivamente, las cuales se describen a continuación:

1.6.4.1.- Interpretación e integración, de datos geológicos, geofísicos e hidrogeológicos:

Se caracteriza por la interpretación e integración de los datos obtenidos de las etapas anteriormente desarrolladas (etapa de documentación, campo y laboratorio), la cual consistió en:

- Elaboración de una base de datos hidrogeológica para posteriores simulaciones, esta incluye la elaboración de balance hídrico, cálculo de porosidad, permeabilidad, etc.

- Interpretación de los perfiles geoeléctricos (tomados en agosto del año 2000), a partir de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), para determinar las características hidrogeológicas y geometría de los acuíferos en estudio.

- Elaboración de columnas litoestratigráficas a escala 1:500.

- Construcción de un perfil de unidades hidrogeológicas entre los pozos Sara, a escala 1:5000, para esto se utilizó la información de los sondeos eléctricos verticales y la sedimentología de la zona. (Anexo 4).

- Construcción de un perfil de unidades geoeléctricas reinterpretadas, para los pozos Sara, a escala 1:5000, para esto se utilizó la información de los sondeos eléctricos verticales y la sedimentología de la zona, realizados por SÁNCHEZ, F.(2001), (Anexo 7).

- Elaboración de perfil A-B, de la litología presente de cada pozo, a escala vertical 1:500. (Anexo 2).

- Elaboración de mapa de distribución de porcentual litológica para cada pozo, a escala 1:50000), el cual consintió en la representación gráfica por medio de tortas la cantidad de arenas, gravas, arcillas y limos presentes en cada pozo. (Anexo 3).

- Construcción de mapa hidrológico a escala 1:50000. (Anexo 1).

- Construcción de mapa hidrogeológico a escala 1:50000, utilizando la información ya existente y la actualizada. (Anexo 5).

- Elaboración de mapa geológico a escala 1:50000. (Anexo 6).

1.6.4.2.- Análisis comparativo entre la represa el Guapo y la red de pozos Sara:

Consistió en la elaboración de un análisis económico parcial, de los costos de operación, tomando en cuenta solo el costo en insumos potabilizadores de agua por litro bombeado entre la represa El Guapo y la red de pozos pertenecientes al plan Sistema Barlovento, ya que un análisis económico real, hubiese requerido en el caso de la represa, los costos en construcción de aliviaderos, muros de contención, equipos hidráulicos, mantenimiento, energía eléctrica, etc., datos que no pudieron ser facilitados por la empresa HIDROCAPITAL, así como también en el caso de los pozos los costos relacionados a estudio previos hidrogeológico, construcción de los mismos,

consumo energético, etc. Tomando lo anterior como premiosa, a continuación se describe como se realizó el análisis económico parcial para este trabajo:

- Recopilación de todos aquellos datos vinculados al área de costo de operaciones y sistema de tratamiento.

- Realización de una base de datos que reflejó las cantidades consumidas por kilos en sulfato de aluminio sólido, gas cloro de 907 Kg y de 68 Kg, con sus respectivo valor monetario promedio anual, los cuales fueron vaciados en el siguiente formato :

1.- El primer grupo de tablas, (Tabla 9, 10 y 11) pertenece a la Represa el Guapo antes de su colapso y en el proceso de recuperación.

Mes	cantidad de sulfato de aluminio por año(Kg)						
	93	94	95	96	97	98	99
Enero							
. . .							
Diciembre							

Tabla 9. Datos de consumo mensual de sulfato de aluminio sólido (en Kg.), utilizado en la represa. Fuente HIDROCAPITAL, (2005).

Año	93	94	95	96	97	98	99
(Bs/kg) promedio							

Tabla 10. Datos de Valor promedio del sulfato de aluminio sólido, en costo por Kg de sulfato de aluminio. Fuente HIDROCAPITAL,(2005)

Año	93	94	95	96	97	98	99	2000	2001	2002	2003

2000 lbs(lBs/Kg) promedio											

Tabla 11.Valor promedio por kilogramo de gas cloro. Fuente HIDROCAPITAL, (2005).

2.- El segundo grupo de tablas 12 y 13, corresponde a los datos recopilados en los pozos pertenecientes al Sistema Barlovento.

FUENTE DE PRODCCIÓN (POZOS)	DESCARGA l/s	SUSTANCIA QUÍMICA	CONSUMO (Kg / Días)	DURACIÓN (Días)	CANTIDAD POR POZO *MENSUAL*	CANTIDAD POR POZO ANUAL

Tabla12.Muestra el consumo mensual y anual, de bombonas de gas cloro utilizado en los 11 pozos que conforman el sistema Barlovento. Fuente HIDROCAPITAL, (2005).

Año	97	98	99	2000	2001	2002	2003
68 kg (Bs/Kg) promedio							

Tabla 13. Valor promedio por kilogramo de gas cloro. Fuente HIDROCAPITAL,(2005).

Posteriormente a la generación de la base de datos preliminar, se procedió a realizar una representación gráfica, donde se igualó la vida útil de la represa hasta el año 2006, para poder ser comparada con la vida útil de los pozos, para así poder hacer una proyección a diez años, como se ve en la Fig. 9(a) y 8 (b), los cálculos realizados se explican con mas detalles en el capitulo IV.

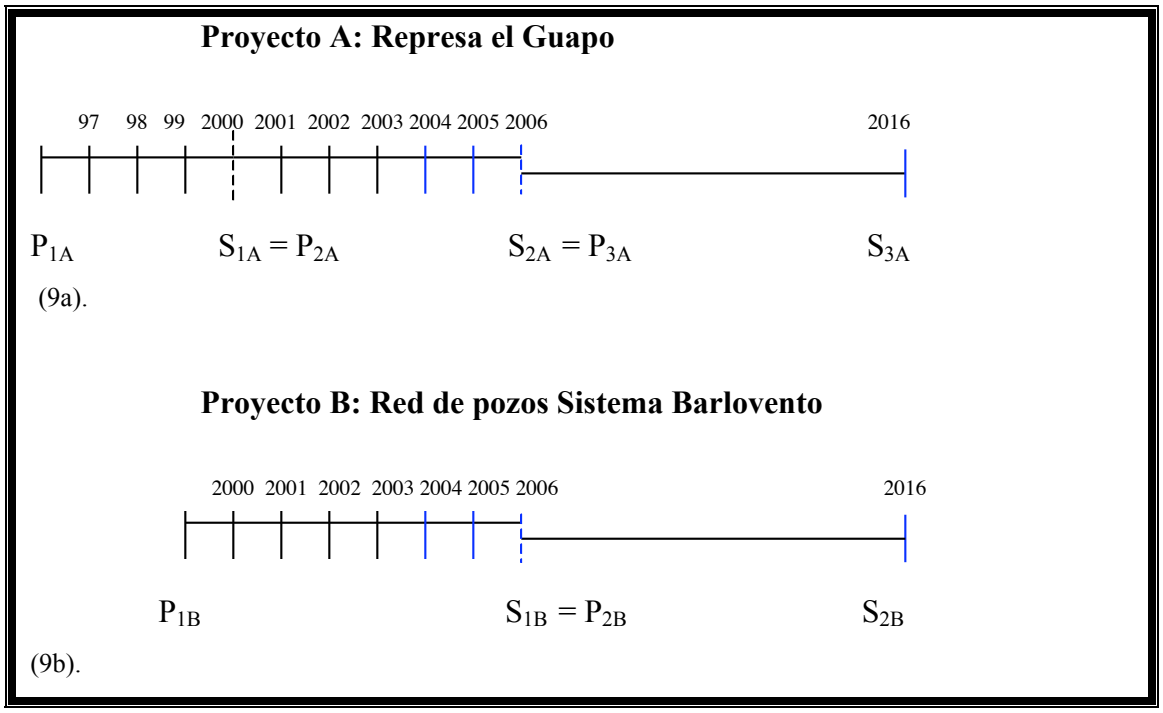


Fig. 9a. Esta representada por tres segmentos, el primero corresponde al año 1997 hasta el año 2000, el segundo segmento va desde el 2000 hasta el 2006, el cual fue utilizado para poder ser comparado con los años de vida útil de los pozos, como la muestra la figura 9b., después de tener ambos proyectos en el mismo tiempo se procedió a graficar un tercer segmento que corresponde con la proyección anual de diez (10) años de operación, para hacer las proyecciones económicas planteadas en uno de los objetivos de este trabajo.

Luego que las vidas útiles de los proyectos se igualaron, se procedió a la construcción nuevamente de otro grupo de tablas, donde se resumió el valor total en bolívares tanto para la represa como la de los pozos, por el factor financiero $FMC29_{\%,n}$, respectivamente . Estos datos fueron vaciados de la siguiente manera (Tabla 14, 15).

INSUMO/AÑOS	93	94	95	96	97	98	99
Sulfato de aluminio							
gas cloro 2000 lbs							
Total Nominal (Bs)							
Total Bs. (Trasladados al año 2006 con una tasa de interés de 29%)							

Tabla 14. Gasto anual por consumo de sulfato de aluminio y gas cloro para la represa, Fuente HIDROCAPITAL, (2005).

Gas cloro 150 lbs	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
Valor promedio							
Gasto Anual							
Total Bs. (Trasladados al año 2006 con una tasa de interés de 29%)							

Tabla 15: Gasto anual por consumo de gas cloro para los pozos, Fuente HIDROCAPITAL, (2005).

Posteriormente se calculó el valor **S_{1A}, S_{2A}, S_{3A}** (valor futuro) para cada proyecto hasta el 2006, con la siguiente formula financiera:

$$S_{1A}=(C1*FMC_{29\%,7})+(C2*FMC_{29\%,6})+(C3*FMC_{29\%,5})+(C4*FMC_{29\%,4})+(C5*FMC_{29\%,3})+$$
$$(C6*FMC_{29\%,2})+(C7*FMC_{29\%,1}) \quad \textbf{(Ecuación 1)}$$

$$S_{1A}=P_{2A}$$

$$S_{2A}=P_{2A}*(FMC_{29\%,6}) \quad \textbf{(Ecuación 2)}$$

Ahora calculamos el costo en insumo dentro de diez años:

$$S_{2A}=P_{3A}$$

$$S_{3A}=P_{3A}*(FMC_{29\%,10}) \quad \textbf{(Ecuación 3)}$$

Nota: los valores C1 hasta C7, corresponden al gasto anual para la represa.

FMC: factor de monto compuesto con una rasa de interés del 29%

El mismo procedimiento que se aplicó en la represa, se aplicó para los pozos, de la siguiente manera, (Tablas 15). Muestra el valor promedio por el factor financiero a 29% de la tasa de interés actual

Con los datos obtenidos en la tabla 15, se procedió a calcular el valor futuro para el 2006, posteriormente el valor para diez años de funcionamiento. Las fórmulas usadas fueron:

$S_{1B}=(D1*FMC_{29\%,6})+(D2*FMC_{29\%,5})+(D3*FMC_{29\%,4})+(D4*FMC_{29\%,3})+$
$(D5*FMC_{29\%,2})+(D6*\ FMC_{29\%,1})$ **(ecuación 4)**

Ahora calculamos el costo en insumo dentro de diez años:

$$S_{1B}= P_{2B}$$

$S_{2B}= P_{2B}\ (FMC_{29\%,10})$ **(ecuación 5)**

Nota: los valores D1 hasta D6, corresponden a l gasto anual para los pozos.

FMC: factor de monto compuesto con una rasa de interés del 29%

Después de haber efectuado los cálculos en consumo de sustancias químicas potabilizadoras de agua, tal como se describe a detalle en el capitulo IV, se estableció una comparación entre los pozos y la represa, y así poder concluir cuanto pozos deberían existir para satisfacer la demanda que proporcionaba la represa el Guapo antes de su colapso y como disminuirían los costos con el uso en conjunto entre ambos sistemas.

1.7.- ANTECEDENTES:

BERMÚDEZ (1966): Estudio los sedimentos Miocenos hasta el Reciente de la Costa Central y Oriental de Venezuela, considera las variaciones ecológicas de la Cuenca del Bajo Tuy, donde afloran rocas de las formaciones Cumaca (facies lacustrina), Aramina (facies marina de aguas someras), y Carenero (facies de aguas profundas), siendo esta la más antigua.

RAMOS, SPENA (1977), Explican en forma detallada la geología de la región de Curiepe- Birongo y Capaya donde observan, diversos tipos litológicos, estructurales y otros aspectos geológicos presentes en la zona. Este incluye observaciones y conclusiones de carácter geoquímico y geoeconómico correspondiente al área de estudio.

MARNR (1981): Por intermedio del Ing. Mario Julio, realizó un estudio geofísico, consiste en la ejecución e interpretación de cuarenta (40) SEV (sondeos eléctricos verticales), efectuados a lo largo de cuatro (4) perfiles geoléctricos que totalizan una longitud de 100 Km, con el fin de determinar de un modelo general las zonas con mejores perspectivas en las prospección y ubicación de acuíferos económicamente explotables.

ALVARADO, et.al.(1982): Realizaron un diagnostico hidrogeológico de la región de Barlovento, el cual consistió en la evaluación de las posibilidades de acumulación de aguas subterráneas y la calidad de las mismas, así como la ubicación de las áreas más promisorias para futuras exploraciones detalladas que permitan establecer las características hidráulicas y la capacidad de los acuíferos.

DIAZ, (1982): Elaboró un estudio geológico de las rocas y sedimentos del Mio-Plioceno del área norte de Barlovento, para determinar su sedimentología,

estratigrafía y contenido faunal, haciendo una reconstrucción paleoambiental de las unidades identificadas y análisis de los contactos con las rocas metamórficas.

R.G.R. INGENIERIA, C.A (2000): Efectuó una evaluación hidrogeológica en el sector San Juan, donde se encuentran los caseríos la Troja, El Hoyo, El Anzuelo y San Juan, a unos 8 Km al oeste de San José de Río Chico, con el propósito de conocer las aptitudes acuíferas del subsuelo.

MARNR (2000): por intermedio del Ing. Sánchez, se realizó en estudio de prospección geoléctrica de aguas subterráneas en las cercanías de Sta. Barbara – Río Chico, Barlovento, estado Miranda.

TAHAL, CONSULTING ENGINEERS (2001): Este trabajo estable un " Plan de emergencia y estudio de prefactibilidad para el sistema de Barlovento", donde se analiza y se evalúan las fuentes potenciales para el abastecimiento de agua subterraneas, por medio de un análisis hidrogeológico de la región de Barlovento y la selección de soluciones para dicho sector.

HERNÁNDEZ Y ROJAS, E. (2002): Realizaron una reinterpretación de todos los datos sobre la evolución tectonoestratigráfica de la cuenca de Barlovento, basado en la geología convencional y microtectónica, ésto con el fin de generar un modelo neotectónico, para una posterior correlación de la Cuenca de Barlovento –Río Tuy con la Cuenca de Barcelona.

ESPÍNOLA Y OLLARVES (2002): Realizaron un estudio tectono-estratigráfico del borde septentrional de la Cuenca de Barlovento, estado Miranda. Este estudio se concentró en la neotectónica y estratigrafía, con el objetivo de generar un modelo geológico, y la estratigrafía de las unidades litoestratigraficas que afloran entre los pueblos de Aragüita, Carenero y Cogollal.

1.8 Marco Teórico:

Previo a los capítulos siguientes, es necesario hacer un breve repaso sobre conceptos básicos a nivel de hidrología e hidrogeología.

Dentro de los parámetros hidrológicos tenemos:

- **Ciclo Hidrológico:**

Se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación o paso directo del agua sólida vapor de agua. (Fig. 10).

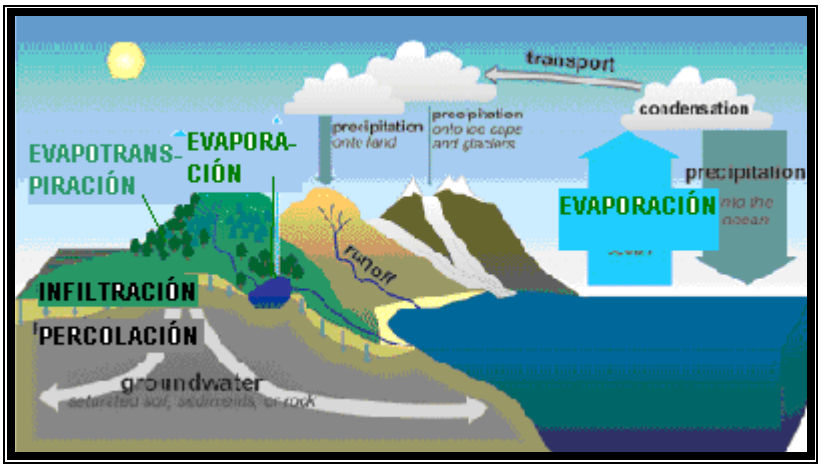


Fig 10. Anne E. Egger, M.A./M.S. "El Ciclo Hidrológico: El viaje del agua a través del tiempo," *Visionlearning* Vol. EAS-2 (2s), 2003.[Revista en línea]. Disponible en: http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=99&l=s. [Consulta: 2005, noviembre 25].

De esta definición, se desprenden otros conceptos importantes, como son:

1. **Precipitación**: es el término con el cual se denominan las formas de agua en estado líquido o sólido que caen directamente sobre la superficie terrestre. Esto incluye la lluvia, llovizna, llovizna helada, lluvia helada, granizo, hielo granulado, nieve, granizo menudo, y nieve, ver Fig. 10.

2. **Evaporación**: se define como la tasa de vapor de agua transportada desde la biosfera a la atmósfera. Los factores que controlan el proceso de evaporación son: factores meteorológicos, así como la naturaleza de la superficie expuesta a la evaporación. FLORES, inédito (2000), ver Fig. 10.

3. **Evapotranspiración**: Es la combinación de la evaporación y de la transpiración de las plantas, donde el agua que se queda en la zona saturada o zona de humedad del suelo vuelve a la atmósfera por medio de estos procesos. (DÍAZ, 2004), ver Fig. 10.

4. **Evapotranspiración potencial:** la cantidad de agua que puede pasar a la atmósfera únicamente en estado gaseoso, suponiendo que la cantidad de agua disponible no sea un factor limitante. Es común, en el estudio de los balances hídricos, comparar las precipitaciones P y la evapotranspiración potencial ETP, lo cual permite distinguir diferentes situaciones en función de los valores que son directamente significativos para un lugar o un período dado:

- Si P < ETP, la evaporación real será igual a P; habrá deducción sobre las reservas, ausencia de escurrimiento; el período se denominará deficitario.

- Si P > ETP, la evaporación real será igual al ETP, habrá escurrimiento y constitución de reservas; el período se llamará excedente. Los problemas prácticos relativos a las mediciones, a los órdenes de magnitud considerados, imponen variaciones en los métodos de estudio y de presentación de los balances hídricos.

5. **Infiltración**: Es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que en un determinado lapso de tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes. (DÍAZ, 2004), ver Fig. 10.

6. **Escorrentía**: Es el volumen que pasa por un punto de un río, en un determinado período de tiempo y se mide mediante estaciones de aforo localizadas estratégicamente. Esta puede ser directa, superficial y subterránea. (ob.cit).

7. **Recarga natural:** es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de curso de agua, esta es equivalente a la infiltración eficaz. (ob.cit).

8. **Descarga Natural:** es el volumen de agua que sale de un embalse subterráneo, en un periodo de tiempo, a través de los manantiales terrestres, subfluviales o submarinos y también por evapotranspiración. DÍAZ, A. (2004).

9. **Balance hídrico**: se establece para un lugar y un período dado, por comparación entre los aportes (precipitaciones) y las pérdidas (por evaporación y transpiración de las plantas) de agua en ese lugar y para

ese período. El balance es positivo cuando la diferencia es positiva o cuando la relación es superior a uno. DÍAZ, A.(ob.cit)

En el segmento anterior se hizo un breve repaso de los conceptos hidrológicos de interés. A continuación se definen algunos términos hidrogeológicos utilizados en este trabajo:

- **Formaciones geológicas**: a diferencia de las estratigráficas, en hidrogeología se definieron de acuerdo con la capacidad de almacenamiento y transmisión de aguas subterráneas (Tabla 16 y 17). GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002), las subdivide de acuerdo a su litología en:

1. **Acuíferos**: es un estrato o formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua, y permanentemente esta caracterizado por: gravas, arenas, materiales calizos, etc.). GONZALEZ DE VALLEJO (ob.cit).

2. **Acuitardos**: Son formaciones geológicas capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad. Su capacidad de drenaje es de media a baja. En la naturaleza juegan un papel importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies. GÓNZALEZ DE VALLEJO (2002).

3. **Acuicludos**: pueden almacenar el agua en grandes cantidades, pero no tienen la posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad. (ob.cit).

4. **Acuifugos**: son formaciones incapaces de almacenar y transmitir el agua; están representadas por las rocas compactas, como granitos y

gneises, y a veces incluso calizas muy compactas GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002).

Tipo de acuífero	Capacidad de almacenamiento	Capacidad de drenar	Capacidad de transmitir	Formaciones características
Acuíferos	Alta	Alta	Alta	Gravas, arenas y calizas
Acuitardos	Alta	Media Baja	Baja	Limos, arenas limosas y arcillosas
Acuicludos	Alta	Muy Baja	Nula	Arcillas
Acuifugos	Alta	Nula	Nula	Granitos, gneises, marmoles

Tabla 16. Resumen de características hidrogeológicas según el tipo de acuífero. Fuente: GONZÁLEZ DE VALLEJO, 2002**.**

- Según las características hidráulicas y estructurales:

1. **Acuíferos cautivos o confinados:** Son aquellos que se encuentran aislados en el subsuelo, rodeados por material impermeable a su alrededor. El nivel freático en los acuíferos cautivos está por encima del material permeable (acuífero). (Fig.11) GÓNZALEZ DE VALLEJO (2002).

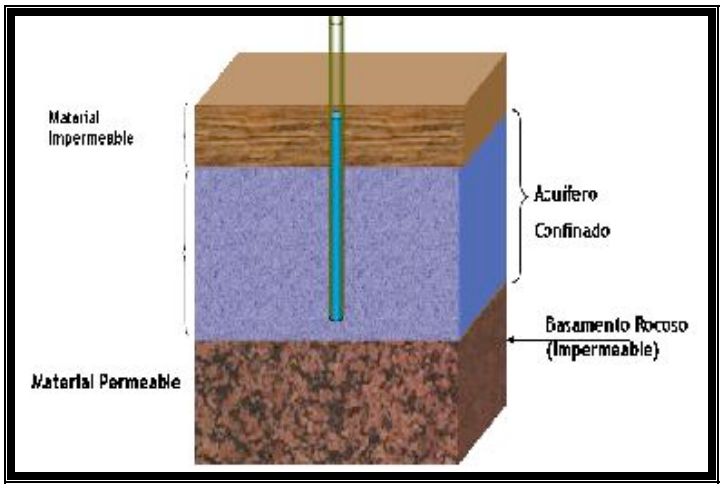


Fig. 11. Esquema de acuífero confinado, tomado de SÁNCHEZ, (2005) y modificado.

2. **Acuíferos semiconfinados:** en este el material que los rodea no son todos impermeables, así el paquete superior o semiconfinante lo constituyen formaciones semipermeables, que permiten el paso del agua de otros acuíferos superiores al inferior semiconfinado (Fig. 12). GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002).

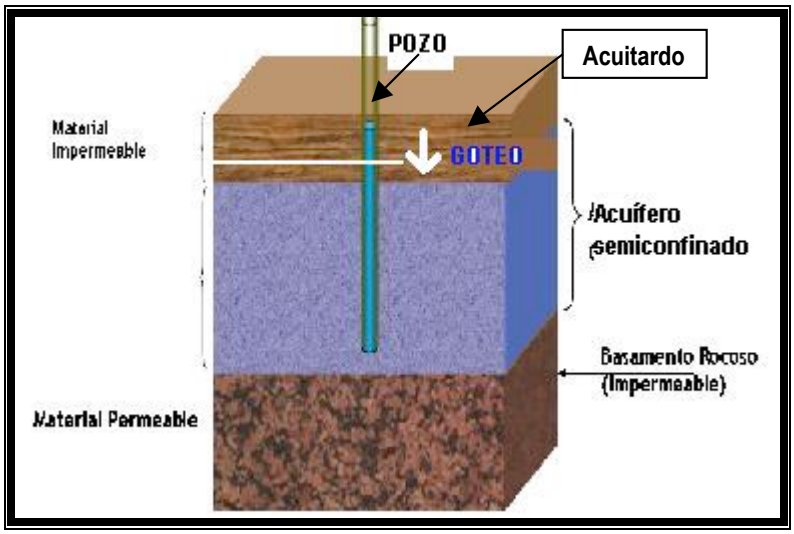


Fig.12: Esquema de un acuífero semiconfinado, tomado de SÁNCHEZ, (2005) y modificado.

Tipo de acuíferos	Características
Libres	Liberación de agua por desaturación
Confinados	Liberación elástica del agua
Semiconfinados	Recarga, drenaje o goteo vertical

Tabla 17. Cuadro resumen sobre el comportamiento de descarga de los acuíferos según sus características hidráulicas y estructurales. GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002).

Según GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002), menciona otros aspectos, que son necesarios tener claros a la hora de clasificar acuíferos y trabajar en agua subterráneas, que son los siguientes:

1. **Nivel piezométrico: e**s la altura que alcanza el agua, sobre una horizontal de referencia, cuando se deja éste a la presión atmosférica. (Fig. 13). (ob.cit).

2. **Superficie piezométrica:** Es el lugar geométrico de los puntos de igual nivel piezométrica dentro de la formación. Siempre que se hable de superficie piezométrica de un acuífero es necesario indicar a que fecha se refiere. (ob.cit).

3. **Superficie freática:** es el lugar geométrico de los puntos del acuífero en el que la altura de presión es nula y coincide con la superficie del agua en los acuíferos libres. (ob.cit).

4. **Isopiezas:** Son líneas de igual nivel piezométrico. Estas curvas son perpendiculares a los bordes impermeables del acuífero y paralelas a línea de recarga y descarga. (Fig. 13). (ob.cit).

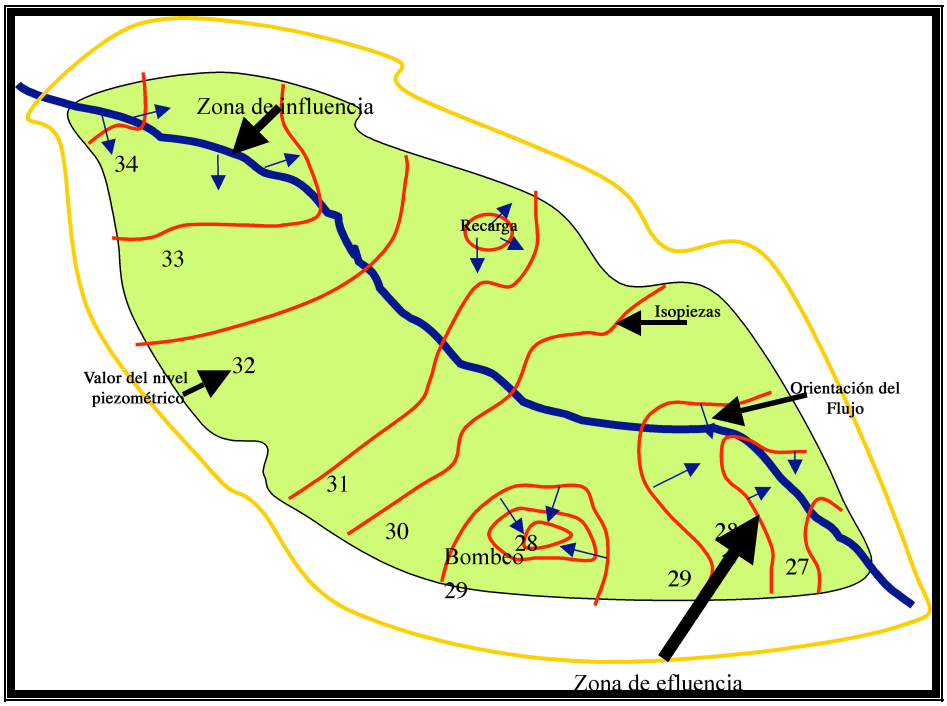


Fig. 13: Gráfica que refleja las líneas de Isopiezas y líneas de flujo entre otras, cabe destacar que la zona de influencia el drenaje recarga al acuífero, y en la zona de afluencia el acuífero aporta al drenaje. GONZÁLEZ DE VALLEJO(2002).

Luego de haber hablado de los conceptos tanto en hidrología así como en Hidrogeología, existes otros puntos que deben ser considerado dentro de la hidrogeología según GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002), y que son de real importancia al igual que los descritos anteriormente, para la interpretación del compartimiento hidráulico y características físicas de los acuíferos, estas se presentan a continuación:

1. **Porosidad:** es la relación entre el volumen de huecos o espacios vacíos y el volumen total de una roca. Dentro de la porosidad podemos hablar de la porosidad total y la porosidad especifica.(ob.cit)

- **Porosidad total, (Pt):** se expresa como el porcentaje del volumen total de roca ocupado por los poros o intersticios (Tabla 18). La

porosidad del material se determina mediante pruebas de laboratorio. Donde:

Pt = V – Vp / V [%]

V = Volumen total de la roca.

Vp = Volumen de poros.

- **Porosidad Eficaz, (Pe)**: volumen poroso del material que contiene agua almacenada, la cual, es liberada por gravedad. Se determina en pruebas de laboratorio.(ob.cit)

Donde:

n= (Volumen de poros conectados/ volumen total)

Tipo de sedimento	Pt	Pe
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Arenisca	5 a 35	0,5 a 10
Calizas, dolomitas no carstificadas	0,1 a 25	0,1 a 5
Calizas, dolomitas carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0,01 a 1	0,0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

Tabla 18. Valores estimados de porosidad (%).Fuente: SANDERS, 1998

2. **Permeabilidad:** permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de la misma, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica. (Tabla 19 y 20), GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002). De este concepto se generan dos más:

- **Permeabilidad efectiva o conductividad hidráulica, *K*: e**s el caudal capaz de atravesar una sección unitaria del acuífero, normal al flujo, bajo un gradiente piezométrico unitario. Por lo tanto este parámetro

depende de las características del medio físico (acuífero), como la del flujo que los atraviesa. (ob.cit)

Material	Valor de *K*
Gravas	10^{4}
Gravas con arena	10^{2}
Arenas gruesa	1 a 100
Arena media	1 a 10
Arena fina	0,01 a 1
Arena Arcillosa	0,01 a 1
Arcilla	10^{-6} a 10^{-3}
Calizas carstificadas	0,1 a 10^{7}
Calizas, dolomias	10^{-4} a 1
Areniscas	10^{-3}
Pizarras, sedimentarias Intactas	10^{-4} a 10^{-8}

Tabla 19. Valores estimados de conductividad hidráulica, *K*, (m/días) SANDERS (1998).

Permeabilidad típica

Material	Valor de *K(cm/seg)*
Grava Limpia	> 1
Arena gruesa limpia	1- 10^{2}
Arenas bien gradada	10^{-2} a $5*10^{-3}$
Arena fina	$5*10^{-2}$ a 10^{-3}
Arena Limosa	$2*10^{-3} – 10^{-4}$
Limos	$5*10^{-4}$ a 10^{-5}
Arcillas	< 10^{-6}
Concreto	< 10^{-8}
Concreto compactado	< 10^{-10}

Tabla 20: Permeabilidad típica, SÁNCHEZ (2005).

- **Permeabilidad intrínseca, *K*:** este parámetro solo depende de las características internas del medio permeable. GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002).

3. **Coeficiente de almacenamiento (S):** Es el volumen de agua capaz de liberar o absorber por unidad de superficie. (ob.cit). (Tabla 21).

- Para acuíferos libres, **S** es igual a la producción específica del material desaguado durante el bombeo.

- Para acuíferos artesianos o confinados, **S** es igual, a la obtenida por el almacenamiento, por compresión de una columna de acuíferos, y por expansión del agua contenida en él.

Tipo del material del acuífero	Funcionamiento del acuífero	Valor de S
Acuíferos kársticos Calizas Dolomías	**Libre**	**0,02 - 0,06**
	Semiconfinado	**10^{-3} - 5*10^{-4}**
	Confinado	**10^{-4} - 5*10^{-5}**
Acuíferos porosos intergranulares Gravas y arenas	**Libre**	**0,05 - 0,15**
	Semiconfinado	**10^{-3}**
	Confinado	**10^{-4}**
Acuíferos kársticos y porosos Calcarenitas	**Libre**	**0,15 - 0,18**

Tabla 21: de valores típicos de S, SANDERS (1998).

4. **Coeficiente de Transmisibilidad:** indica cuanta agua se moverá a través de la formación. Se define también como el producto de la conductividad hidráulica ***k*** y el espesor del acuífero. GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002), ver tabla 22.

T(m^2/dia)	Calificación estimada
T< 10	Muy baja
10 < T < 100	Baja
100< T < 500	Media
500 < T < 1000	Alta
T > 1000	Muy Alta

Tabla 22. Valores de transmicibilidad, SANDERS (1998).
Nota :T(m^2/dia)= 100 qe = 100 Q (l/seg)/Δs(m)

5. **Abatimiento: e**s la distancia entre el nivel estático del agua y el nivel del bombeo en el pozo. DÍAZ (2005).

6. **Caudal (Q):** rata de bombeo en el pozo bombeado, en m^3 por día. (ob.cit)

7. **Capacidad específica (Q/s):** es el gasto o caudal, divido por el abatimiento. La unidad de medida es (l/(seg*m)).DÍAZ (2005).

8. **Ley de Darcy:** enuncia que el caudal de flujo de un fluido a través de un medio poroso, es directamente proporcional a la caída de potencial, e inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria recorrida por el flujo y directamente proporcional al coeficiente K, esta ley es valida solo para flujo laminar. (Fig. 14). (ob.cit). La ley se expresa de la siguiente forma:

$$Q = K\ A\ S* \quad \text{ó} \quad Q/A = V = K\ S*$$

Donde:

Q: es el caudal (m^3 /día)

S∗: es el gradiente hidráulico (adimensional) (_h/_l)

K: es la conductividad Hidráulica (m / día)

V: es la velocidad de flujo (m / día)

A: sección transversal total perpendicular a la dirección del flujo (m^2)

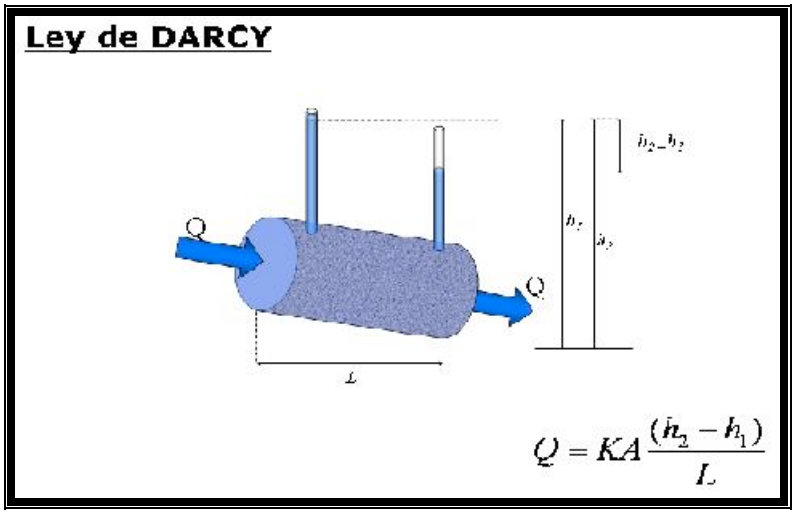


Fig 14. Muestra el compartimiento del flujo o caudal de flujo a través de un medio poroso, y es directamente proporcional a la caída de potencial. SÁNCHEZ(2005).

- **Número de Reynolds:** Representa la relación entre las fuerzas de inercias y viscosas en el seno de un fluido, y su importancia es que evalúa el régimen de comportamiento de un flujo laminar. DÍAZ (2005), ver tabla 23.
- Esta se expresa por la siguiente ecuación:

$$\mathbf{R_e = (\rho * v * d)/\mu}$$

Donde:

v: es velocidad del fluido

d: tamaño medio de las partículas, se considera el d_{50} en medio granulares, y 2*e en medios fisurados, siendo el ancho medio de las fisuras

ρ: densidad del fluido.

μ: viscosidad dinámica.

El número de Reynolds en adimensional.

Característica	Lineal	Cuasi-turbulento	Turbulento	Turbulento puro
Numero de Reynolds	1 a 10	10 a 60	60 a 180	> 180

Tabla 23. Expresa los valores de Reynolds para cada tipo de flujo laminar.

9. **Formula de no equilibrio THEIS, (1930):** esta ley toma en cuenta el tiempo transcurrido, desde el comienzo (o terminación) del bombeo. Se puede predecir el abatimiento a cualquier momento después del comienzo del bombeo y determinar la permeabilidad (o transmisibilidad). Esta también permite la determinación de los coeficientes del acuífero de las medidas tiempo – abatimiento en un solo pozo de observación. DÍAZ (2005). La fórmula se expresa como:

$$s = (Q/4\pi T)* W(u)$$

Donde:

s: abatimiento o recuperación del nivel de agua en metros (puede ser en cualquier punto en la vecindad de un pozo bombeado a rata constante).

Q: tasa de bombeo en el pozo bombeado, en m^3 por día.

T: coeficiente de transmisibilidad (del acuífero en m^3 por día/metro).

W(u): se llama la función u del pozo. Se la obtiene calculando primero u.

$$(u) = (r^2S/4Tt)$$

donde:

r: distancia desde el centro del pozo bombeado hasta el sitio donde se mide el abatimiento o la recuperación en metros.

S: Coeficiente de almacenamiento, adimensional.

T: Coeficiente de transmisibilidad.

t: tiempo desde el comienzo o terminación del bombeo en dias.

Bases de la derivación de la formula:

- El acuífero es uniforme en carácter y permeabilidad en dirección de la formula.
- La formación tiene un espesor uniforme, extensión infinita.
- La formación no recibe recarga de ninguna fuente.
- El pozo bombeado penetra la totalidad del espesor del acuífero.
- El agua removida del almacenamiento, se descarga instanteamente con descenso de la carga.

10. **Fórmula de no equilibrio de JACOB, (1946):** Jacob en 1946, notó que para valores de **u** menores que 0.05, **u** viene a ser cada vez más pequeño cuando el tiempo de bombeo (t) aumenta y cuando la distancia desde el centro del pozo de bombeo (r) es pequeña, pudiendo escribirse la fórmula de Theis como:

$$s = (2{,}3\ Q/4\pi T)\log(2{,}25Tt/r^2)$$

Donde los símbolos representan las mismas variables que en la fórmula de Theis. DÍAZ (2005)

11. **Métodos de aforo:** la medición del caudal o gasto de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal, tubería) de agua, se conoce como aforo o medición de caudales. Este caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua. (ob.cit).

La fórmula que representa este concepto es la siguiente:

$$Q = A \times V \quad (1)$$

Donde:

Q: Caudal o Gasto.

A: Área de la sección transversal.

V: Velocidad media del agua en el punto.

12.- Método Volumétrico: Se emplea por lo general para caudales muy pequeños y se requiere de un recipiente para colectar el agua. El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en colectar dicho volumen. Tomado de, "La era agricola: El método volumétrico, un procedimiento sencillo para medir caudales," Vol. (16), 2004.[Revista en línea]. Disponible en: **http://www.eraecológica.org/revista_16/era_agricola_16.htm**.[Consulta: 2005, septiembre 10].

$$Q = V / t$$

Q: Caudal m3 /s

V: Volumen en m3

t: Tiempo en seg.

Después de tener claro todos los conceptos ante explicados en este marco referencial, se puede pasar a la siguiente etapa dentro del mundo de las aguas subterráneas, como lo es el diseño de pozos. Es importante a la hora de plantear un diseño de pozo, conocer la granulometría con exactitud y el tipo de sedimento que se tiene en el área a explotar, puesto que de esta dependerá el tipo de rejilla a emplear, entre otras cosas. A continuación se describen todos los aspectos que se deben tener en cuenta para el diseño del pozo:

a).- Ubicación del pozo: este punto toma en cuenta el uso de el agua subterránea, si es va ser destinada para consumo humano, uso industrial, riego, etc. (DÍAZ, 2005).

b)- Profundidad del pozo: se determina en base al perfil litológico, información proveniente de otros pozos cercanos; de la información obtenida por sondeos eléctricos verticales. JOHNSON (1975).

c).- Entubado: Requiere estar por encima de la superficie para evitar la contaminación del acuífero y la formación de cavernas. También sirve de protección de la bomba y conducir el agua subterránea a la superficie. (Fig. 15). HERRERA (2001).

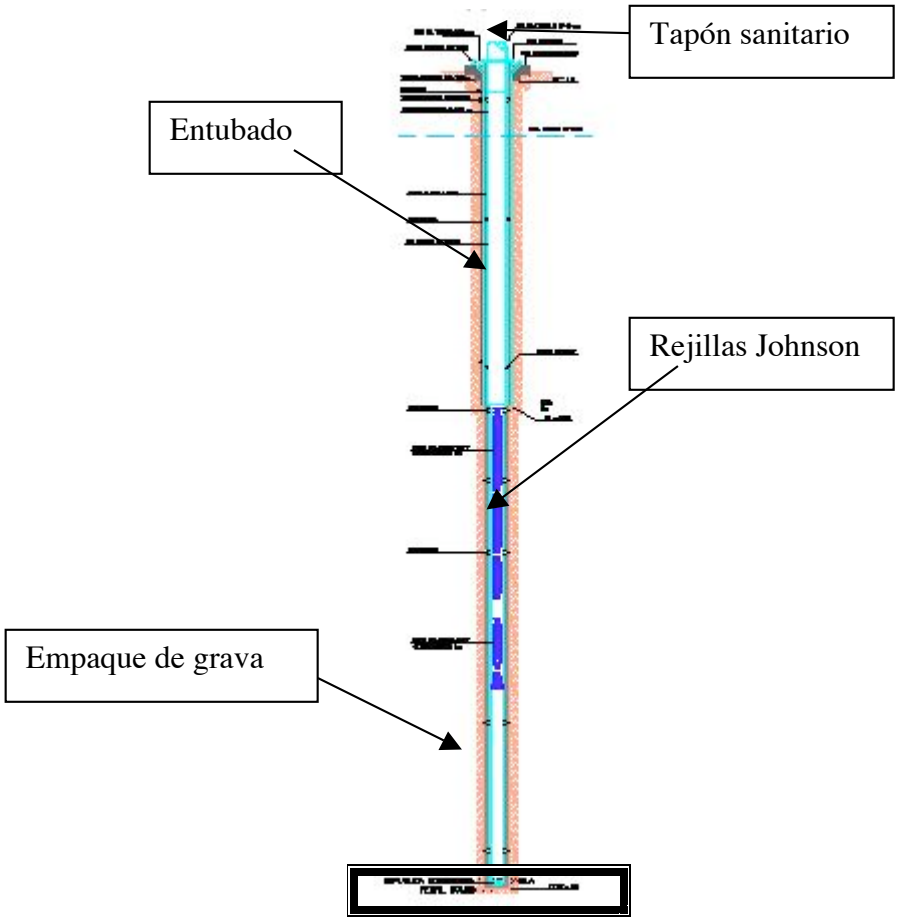


Fig. 15. Esquema que refleja, las partes de un pozo para extracción de agua.

d).- Diámetro de la tubería de revestimiento: Esta dependerá de la cantidad de producción que se desea obtener, a su vez esta relacionado con el diámetro de la perforación, ver tabla 24. (JOHNSON 1975).

Producción prevista Del pozo. (m^3/min)	**Diámetro nominal de los tazones de la bomba en cm.**	**Diámetro Optimo del Ademe del pozo en cm**	**Mínimo diámetro de ademe en cm**
Menos que 0,4	10	15 ID	12,5 ID
0,3 a 0,7	12,5	20 ID	15 ID
0,6 a 1,5	15	25 ID	20 ID
1,3 a 2,5	20	30 ID	25 ID
2,3 a 3,4	25	35 OD	30 OD
3,2 a 5,0	30	40 OD	35 OD
4,5 a 6,8	35	50 OD	40 OD
6,0 a 12,0	40	60 OD	50 OD

Tabla 24. Diámetros recomendados para pozos, ID: Diámetro interior. OD: Diámetro exterior. (JONHSON 1975).

e).- Filtro o rejilla: Permite que el agua pase dentro del pozo, impide el paso de los sedimentos y suministra el soporte mecánico para mantener la perforación de la formación de cavernas. La apertura de las rejillas se hace en base al análisis de la curva granulométrica mas representativa de la formación, y en el caso de la formación homogénea se seleccionara una apertura que tiende a retener entre el 40% y 50 % del material. (Fig.15). (ob.cit).

- **Diámetro de la rejilla:** se escoge siguiendo un principio básico que consiste en que se debe proveer suficiente área de entrada para que la velocidad de acceso del agua al pozo no exceda de un cierto valor estipulado.(Tabla 25).

Diámetro de la rejilla en pulgadas	Área de captación por pie lineal de rejilla, en pulgadas cuadradas						
	Abertura N °10	Abertura N °20	Abertura N °40	Abertura N °60	Abertura N °80	Abertura N °100	Abertura N °150
3”	10	19	32	42	43	55	65
4”	14	26	44	57	58	74	88
5”	18	33	55	72	73	94	112
6”	21	39	65	85	87	111	132
8”	28	51	87	113	116	131	160
10”	36	65	110	143	147	166	203
12”	42	77	130	170	174	180	223
14¨OD	38	71	123	163	177	198	251
15¨OD	39	76	132	175	190	217	268
16¨OD	35	69	123	164	171	198	250
18 ¨OD	39	78	139	186	193	224	283
20¨ OD	47	88	156	209	218	252	318
24¨OD	46	87	158	217	266	307	389
26 ¨OD	49	91	166	227	278	321	406
30 ¨OD	57	108	192	268	239	379	480
36¨OD	65	124	224	307	376	434	550

Tabla 25. Áreas de rejillas Johnson del tipo Telescopio

- **Longitud de la rejilla:** Depende del espesor del estrato granular; el tamaño de las aberturas de las ranuras queda definido por la gradación de las arenas. Para acuíferos confinados no homogéneos, la rejilla debe ubicarse frente al estrato permeable. JOHNSON (1975).

f).- Empaque de grava: este tiene la finalidad de crear una zona más permeable alrededor de este, ya que el material natural es sustituido por una más grueso. El material se escoge en base a la granulometría del acuífero y debe cumplir dos condiciones: debe ser de clastos de mineral de cuarzo redondeado y luego una rejilla capaz de retenerlo. (Fig. 15). (ob cit).

g).- Tapón sanitario: es un mortero de concreto que sirve para sellar el forro del pozo y así el acuífero se vea libre de no sufrir contaminación por efectos de aguas superficiales. (Fig. 15). (ob.cit).

h).- Desarrollo de los pozos de bombeo: consiste en hacer llegar a la zona del filtro una corriente de aire comprimido, mediante un compresor, de forma que se genere una turbulencia alrededor del pozo que permita la remoción gradual de las partículas más finas. JOHNSON (1975)

i).-Bombas: dispositivos mecánicos destinados a la extracción del agua del subsuelo. Estas dependen de la profundidad del pozo, del caudal deseado (lts/seg) y de la carga hidráulica que tiene que vencer. Pueden ser de turbina o electrosumergible, como se pueden observar en las siguiente fig.16a y16b.(ob. cit).



(a) (b)

Fig 16. (a): Bomba tipo turbina (b): Bomba tipo electrosumergible

j).- Pruebas de bombeo: La ejecución de las pruebas de bombeo responde en general a uno de los dos objetivos siguientes, HERRERA (2001):

1. Estimar la cantidad de agua a extraerse de un pozo bajo condiciones previamente establecidas.

2. Determinar las propiedades hidráulicas de un acuífero, con el objeto de predecir su comportamiento bajo situaciones diversas, evaluar la

disponibilidad de recurso, etcétera. En general, en este caso, es necesario obtener información de varios puntos seleccionados del acuífero, para lo cual se utilizarán varios pozos de bombeo.

- **Método de ensayo de bombeo, SANDERS (1998):**
  - **a. A caudal constante**
    - Régimen de equilibrio (permanente).
    - Régimen no permanente.
  - **b. A caudal variable**:
    - Bombeo a caudal crítico.
    - Bombeo escalonado.
  - **c. Ensayos de recuperación:** este se resume en la tabla 26

TIPO DE ACUÍFERO	TIPO DE ENSAYO		MÉTODO DE ANÁLISIS
Confinado	Régimen permanente		Formula de Theim
	Régimen Variable	Prueba de descenso	Formula de Theis
			Aproximación logarítmica de jacob
		Recuperación	Formula de recuperación de Theis
Semiconfinado	Régimen permanente		Formula de Glee o Jacob-Hantush
	Régimen Variable	Descenso	Formula de Hantush
		Recuperación	Estudio de Ascenso teóricos (1)
Libre	Régimen permanente		Formula de Thiem (2) y corrección de jacob
			Formula de Dupuit (3)
	Régimen Variable	Prueba en descenso	Formula de Theis (4)
			Aproximación logarítmica de jacob (4)
			Corrección de Dupuit
			Formula de Boulton
			Formula Neuman
		Recuperación	Formula de recuperación de Theis

Tabla 26. Resumen de métodos a caudal constante, SANDERS (1998).

(1) Si el bombeo, es lo suficientemente largo para que los niveles se estabilicen, los ascensos teóricos coinciden con los medidos.
(2) Si los descensos son pequeños en comparación con el espesor saturado del acuífero.
(3) Admitiendo la aproximación de Dupuit – Forchheimer
(4) Si los descensos son pequeños en comparación con el espesor saturado del acuífero y si el drenaje es instantáneo y proporcional al descenso producido (no existe drenaje diferido).

Sabiendo como diseñar un pozo y cuales son los aspectos que se deben tener en cuenta para la ubicación y caracterización de acuíferos, podemos hablar de lo que es un modelo conceptual en el mundo de las aguas subterráneas y como se pueden construir dichos modelos para posteriores simulaciones, donde se pueda proyectar a través del tiempo como sería el comportamientos de los acuíferos para una región en particular. Es importante destacar que dichos modelos matemáticos deben ser bien calibrados para obtener un producto final confiable, por lo que primero hay que definir que se entiende por modelo conceptual.

Según HERRERA (2001), un ***modelo conceptual*** no es más que una simulación espacial de las aguas subterráneas, por medio de una representación matemática de la hidrología, ya sea superficial o subterránea de un sector, en donde se idealizan y simplifican las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas que permitan la descripción de las condiciones y procesos más importantes de una cuenca.

Dentro de los parámetros importantes a la hora de realizar un modelo conceptual, se tienen:

1. Datos hidrogeológicos adecuados, es decir, es necesario realizar un inventario de pozos, donde se verifique la profundidad alcanzada de los pozos, la litología presente, los niveles estáticos y dinámicos, los caudales extraídos, el ph de agua, TSD (total de sólidos disueltos), etc.

2. Conocer los valores de permeabilidad y porosidad de los sedimentos presentes en la zona de interés, como también los valores de conductancia (estimación de contenido de sólidos disueltos), entre otros.

3. Direcciones de flujo en las que se mueven las aguas subterráneas,

para determinar la posible ubicación de la zona de recarga del acuífero.

4. Poseer un balance hídrico lo más actualizado posible, ya que este nos brinda información sobre evapotranspiración potencial, y precipitación promedio anual, además de la infiltración; valores necesarios para ser introducidos posteriormente en un programa que permitirá realizar la simulación.

5. El número de acuíferos existentes dentro de la zona permeable o la composición cualitativa de los sistemas acuíferos.

6. Importancia del flujo vertical de los acuíferos.

7. Origen de las recargas y descargas de los acuíferos, si son por infiltración, por recarga de ríos, ambas, etc.

8. Uniformidad de las características hidrogeológicas tales como: tipo de formación, si son homogéneas o heterogéneas, caracterización de los ambientes sedimentarios al cual pertenecen, y tipos de acuíferos según su formación geológica y/o sus características hidráulicas y estructurales.

9. Definición de condiciones de bordes, alrededor del perímetro del modelo. Esto no es más que delimitar a través de un mallado el área que se desea simular, excluyendo los drenajes, lagunas, etc.

10. También deben tomarse en cuenta, las cuñas o plumas salinas y plumas contaminantes.

Después de haber definido todos los parámetros que conforman un modelo conceptual, necesario para la simulación, se realiza la escogencia del programa a utilizar, el más recomendado a nivel mundial, es el MODFLOW. HERRERA (2001).

Éste consiste en una representación matemática y sistemática, basándose en el método de las diferencias finitas que utiliza las ecuaciones fundamentales de flujo y conservación de la masa para simular el flujo de agua subterránea y el transporte de sustancias disueltas.

Permite la simulación de un sistema acuífero, restringido a condiciones de flujo y borde especificadas por el usuario; básicamente lo que entrega son los niveles de agua que tendrá la cuenca en diferentes puntos de interés a través del tiempo. Las ventajas que ofrece este tipo de programas son las siguientes:

1. Mejora el conocimiento que se tiene del recurso dentro de la cuenca que se esté analizando. Esta información dependerá sin duda de los antecedentes previos que se tengan y de la calidad de los datos que se manejen.
2. Ayuda a predecir diferentes impactos hidrológicos. Mediante distintos escenarios de evaluación, se pueden incorporar nuevas obras, cambiar patrones de cultivos, mejorar la eficiencia en el riego, aumentar la explotación incrementando el número de pozos, etc., que permitan visualizar el comportamiento de la cuenca frente a diferentes impactos sin tener que esperar que ocurran, para saber la respuesta que tendrá el sistema.
3. Permite el análisis de riesgos ambientales, frente a descargas de contaminantes o plumas de contaminación, para el caso de modelado de calidad de aguas.

CAPITULO II
2. MARCO REGIONAL

2.1.- GEOLOGÍA REGIONAL

La cuenca de Barlovento, la cual se ubica en la zona norcentral de Venezuela, en el estado Miranda. Está constituida por depósitos aluviales (Reciente) y rocas sedimentarias (poco consolidadas y consolidadas) pertenecientes a los periodos Terciario – Cuaternario, que corresponden a las formaciones Mamporal, Caucagua, Aramina, Cumaca y Carenero. Estas a su vez, son suprayacente a cuerpos rocosos ígneo – metamórfico – sedimentario que datan del Cretácico – Jurásico, los cuales fueron definidos como: Asociación Metasedimentaria Caracas, URBANI (2000), Asociación Meta-volcano-sedimentaria de Villa de Cura, URBANI (2000) y Formación Guárico (Miembro Río Aragua), CAMPOS *et al.* (1980).

2.1.1.- ESTRATIGRAFÍA REGIONAL:

A continuación se describen las unidades litodémicas y litoestratigráficas de edad Jurásico – Cretácico, sobre las cuales descansan las unidades pertenecientes a los periodos Terciaro – Cuaternario, estas unidades fueron resumidas en la (Fig. 17):

- **Asociación Metasedimentaria Caracas:**

Descripción litológica: La litología característica de esta asociación metasedimentaria, esta constituida por: esquisto y/o (filita) cuarzo - muscovítico - feldespático ± clorítico, metaarenisca y metaconglomerado, ambas cuarzo - feldespático – micáceo, y mármol; correspondiente al Esquisto de Las Brisas. Esquisto cuarzo – calcáreo – muscovítico – grafitoso de color gris oscuro y mármol grafitoso; perteneciente al Esquisto de Las Mercedes, que es casi igual para el

Esquisto de Chuspita con la diferencia de que hay mayor abundancia de metareniscas. URBANI (2000).

Extensión geográfica: La asociación aflora típicamente en la región de Caracas - Los Teques y sus alrededores, y se ha cartografiado como una franja casi continua en sentido este - oeste que se extiende desde el estado Yaracuy, hasta la zona de Barlovento en el estado Miranda. Sus unidades constituyen una franja predominante de La Cordillera de La Costa. URBANI (2000).

Contactos: Los contactos entre las rocas de esta asociación con la asociación Metamórfica Ávila hacia el norte son tectónicos URBANI y OSTOS (1989, en URBANI (2000), y con las rocas de la faja Caucagua - El Tinaco al sur igualmente son tectónicos BECK (1986), en URBANI (2000). Los contactos entre los esquistos de Las Brisas y Las Mercedes son tectónicos URBANI *et al.*, (1989, en URBANI (2000), mientras que entre los Esquistos Las Mercedes y Chuspita parece ser concordante y transicional SEIDERS (1965), en URBANI (2000).

Edad: Jurásico – Cretácico. URBANI (2000).

- **Asociación Metavolcanosedimentaria de Villa de Cura:**

Descripción litológica: La asociación está constituida por rocas metavolcánicas y metasedimentarias, las cuales se han dividido en cinco formacions, que son: El Chino, El Caño, El Carmen, Santa Isabel y Las Hermanas. El Caño consiste en metatobas afaníticas finamente laminadas, con cantidades menores de metalavas basálticas y andesíticas. La Formación El Chino contiene metatobas estratificadas de grano fino, con cantidades menores de metabasalto, metaftanita, filita grafitosa, esquisto cuarzo - albítico y granofel cuarzo - albítico. La Formación El Carmen presenta una serie de metalavas basalticas con fenocristales de augita, intercalados con metatoba, granofel, metaftanitas y filitas grafitosas. La Formación Santa Isabel consiste en granofel cuarzo - feldespático - epidótico con intercalaciones

de esquisto clorítico y metalavas piroxénica y metaftanitas. La Formación Las Hermanas consiste de metatoba, metalava y aglomerados volcánicos. El metamorfismo varía de sur a norte como sigue en las siguientes zonas NAVARRO (1983), en URBANI (2000): prehnita - pumpellita, barroisita - zoisita/clinozoisita - albita, glaucofano - hornblenda barroisítica, epidota (zoisita/clinozoisita) - glaucofano, lawsonita - glaucofano, lawsonita - albita, pumpellita - actinilota y prehnita - pumpellita.

Extensión geográfica: En el mapa geológico de BELLIZZIA *et al.* (1976, en URBANI (2000) la asociación se extiende por más de 250 km de longitud con un ancho medio de unos 25 km, abarcando los estados Cojedes, Guárico, Carabobo, Aragua y Miranda.

Contactos: Los contactos de la asociación con las unidades adyacentes son tectónicos, interpretados por lo general como fallas de corrimiento. Los contactos entre las unidades El Chino, El Caño, El Carmen y Santa Isabel son concordantes, mientras que el contacto entre el Granofel de Santa Isabel y las Metavolcánicas de Las Hermanas ha sido interpretado como tectónico. (NAVARRO (1983) y OSTOS (1990), en URBANI (2000),.

Edad: Mesozoico sin diferenciar. URBANI (2000).

- **Formación Guárico (Miembro Río aragua):**

Descripción litológica: Adicionalmente a los miembros de la Formación Guárico, CAMPOS *et al.* (1980) propusieron como subunidad a un conjunto de paquetes arenáceo-turbidíticos, con intervalos de alternancia rítmica de delgadas capas de areniscas y lutitas, y conglomerados con fragmentos volcánicos. Las areniscas son de color verdoso a gris verdoso, silícias y algo micáceas, con estructura de carga; las lutitas son gris oscuro a negro y micáceas y los conglomerados están conformados por ftanita, cuarcitas, lavas andesíticas y granodioritas, entre otros.

Extensión Geográfica: Aflora en gran parte de la "serranía El Guapo-Bachiller". CAMPOS *et al.* (1980)

Contacto: Hacia el sur sobrecorre al Miembro Río Orituco de la Formación Guárico; al norte está en contacto de falla con las formaciones Ño Pedrote y/o El Guapo o bien cubierta discordantemente por la Formación Guatire (?). CAMPOS *et al.* (1980,)

Edad: La secuencia, es considerada de edad maastrichtiense-?paleoceno. CAMPOS *et al.* (1980)

Seguidamente a lo antes expuesto, se describen las unidades litoestratigráficas correspondiente al periodo Terciario – Cuaternario, suprayacentes a las previamente mencionadas:

- **Formación Carenero:**

Descripción litológica: Lutita calcárea suave, compacta y maciza, de color gris claro, que meteoriza en tonos castaños. BERMÚDEZ (1966)

Extensión geográfica: Hasta el presente sólo se reconoce en la localidad tipo, que se ubica en Carenero, estado Miranda. BERMÚDEZ (1966).

Espesor: Unos 15 metros expuestos, aunque se presume mayor. BERMÚDEZ (1966).

Contactos: No observados; se presume su discordancia sobre las metamórficas de la Cordillera de la Costa y su posición estratigráfica infrayacente a la Formación Aramina. BERMÚDEZ (1966)

Fósiles: *Globorotaria menardii*, BOLLI Y BERMÚDEZ (1965) y *Globorotaria acostaensis*, BERMÚDEZ (1966)

Edad: Mioceno Superior.

- **Formación Aramina:**

Descripción litológica: DUSENBURY (1956), reportó conglomerados basales con fragmentos angulares de esquistos, capas de calizas impuras, seguidos de lutitas arcillosas de color gris verdoso, arcillas, y areniscas, con escasas calizas limosas intercaladas en la parte inferior.

Espesor: Máximo de 1656 m, en la quebrada Aramina. DUSENBURY (1956)

Extensión geográfica: Cuenca inferior del río Tuy, Miranda oriental. DUSENBURY (1956)

Contactos: La unidad es discordante sobre rocas metamórficas, y posiblemente descanse sobre la Formación Carenero. Sin embargo, BERMÚDEZ (1966), reporta que un contacto superior con la Formación Mamporal. Al sur de la cuenca, se ha señalado como discordante sobre rocas del Cretáceo, Eoceno e ígneas básicas.

Edad: MENCHER *et al.* (1951) establece el Mioceno inferior; BUCHER (1952), DUSENBURY (1956) y YOUNG *et al.* (1956), el Mioceno medio. BERMÚDEZ (1966) la consideró Mioceno superior por su contenido de ostrácodos.

Fósiles: DUSENBURY (1956) mencionó los moluscos *Anadara (Larkinia) waringi, Chione cancellata, Turritella abrupta, T. gatunensis, T. mimetes* y *Oliva cylindrica*. BERMÚDEZ (1966) mencionó siete especies de foraminíferos de aguas someras reconocidas cerca de Los Fernández.

- **Formación Cumaca:**

Descripción litológica: Lutitas grises verdosas, achocolatadas y negras, y arcillas lutíticas con un porcentaje relativamente pequeño de areniscas.

Espesor: Máximo de 100 metros.

Extensión geográfica: La unidad se restringe al extremo oeste de la ensenada inferior del Tuy, Miranda oriental.

Contactos: Inferior, discordante sobre rocas metamórficas; según DUSENBURY (1956), el contacto superior es discordante debajo de la "Formación Guatire".

Fósiles: DUSENBURY (1956) menciona gasterópodos y pelecípodos de agues dulces. BERMÚDEZ (1966) reporta ostrácodos relativamente del género *Limnocythere*, dientes y escamas de peces, y oogonios de *Chara* (alga calcárea).

Edad: DUSENBURY (1956) estableció que la unidad pertenece al Mioceno medio, y BERMÚDEZ (1966) al Mioceno superior.

- **Formación Caucagua:**

Descripción litológica: PATRICK y URBANI (inéditos en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*, describieron a la Formación Caucagua, como sigue: lutitas de color marrón amarillento, gris a rojo, pobremente estratificadas en capa delgadas a masivas, limosas a arenáceas, con guijarros de cuarzo y fragmentos de rocas metamórficas, y algunas capas ligeramente carbonáceas; areniscas rojo oscuro a marrón, marrón amarillento a marrón oscuro, en capas delgada a masivas, irregulares, friables a ligeramente endurecidas, arcillosa a conglomeráticas, a veces carbonáceas; y conglomerado rojo oscuro a marrón amarillento, con estratificación delgada a

masiva lenticular, friable a levemente endurecida, con cantos de cuarzo y rocas metamórficas, en una matríz arcillosa; gradan frecuentemente a arenas.

Espesor: SEIDERS *(op. cit.)* reportó un espesor de 700 m, sin observar el contacto superior.

Extensión geográfica: Aflora en los valles del bajo Tuy, entre Araguita y Curiepe, en el flanco sur de la Cordillera de la Costa.

Contactos: La Formación Caucagua suprayace discordantemente a la Formación Aramina (Mio-Plioceno), e infrayace con discordancia a la Formación Mamporal (Pleistoceno ?) GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.* pero localmente, al oeste de la cuenca, la Formación Caucagua es discordante sobre rocas metamórficas.

Fósiles: se reportan macrofósiles no diagnósticos. WOLCOTT (inédito en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* op. cit.)

Edad: Por su posición estratigráfica, se considera que la edad de la Formación Caucagua, es Plioceno-Pleistoceno. L.E.E.V. (1999)

- **Formación Mamporal:**

Descripción litológica: Ésta Formación se caracteriza por presentar lentes de arcillas, areniscas y conglomerados ligeramente consolidados y pobremente estratificados. Los colores típicos de la formación son rojizo, amarillo y gris; las arcillas generalmente son moteadas y los sedimentos clásticos gruesos son ferruginosos. Las arcillas son finamente arenosas; las areniscas son de granos angulares y subangulares de tamaño variable, cementados con arcilla; los conglomerados contienen una mezcla heterogénea de fragmentos subangulares a subredondeados, del tamaño de guijas y peñas, de rocas ígneas y metamórficas, areniscas cuarzosas y ocasionalmente calizas, en una matriz arcillo-arenosa.

Espesor: PATRICK (*op. cit.*), estima un espesor de unos 120 m, aun cuando no ha sido posible medir una sección completa debido a la discontinuidad de los afloramientos.

Extensión geográfica: La Formación Mamporal se extiende por los valles del Bajo Tuy, estado Miranda. L.E.E.V. (1999)

Contactos: BERMÚDEZ (1966) suprayace discordantemente sobre la Formación Aramina en la cuenca del bajo Tuy. Sin embargo GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), consideran que la unidad suprayace discordantemente a la Formación Caucagua, observandose el contacto entre las dos formaciones en la carretera Caracas-Higuerote, a unos 5 km al oeste de Tacarigua de Mamporal, así como en diversos sitios a lo largo de la carretera Higuerote-Curiepe.

Fósiles: no se reportan.

Edad: Se establece que la Formación Mamporal pertenece al Pleistoceno medio, tomando como referencia a la Formación Caucagua.

- **Unidad de Aluvión:**

Litología: Está caracterizada por presentar, arcillas, con intercalaciones de grava y arenas no consolidadas.

Extensión geográfica: Cubre la zona oriental de la Cuenca del Bajo Tuy, ya que es el área de menor cota de toda la cuenca; así como en los bordes de los ríos que drenan la región en la parte occidental. ALVARADO *et. al*. (1982)

Contactos: se encuentra principalmente suprayacente en discordancia con las formaciones Mamporal y Caucagua.

Edad: pertenece al Reciente.

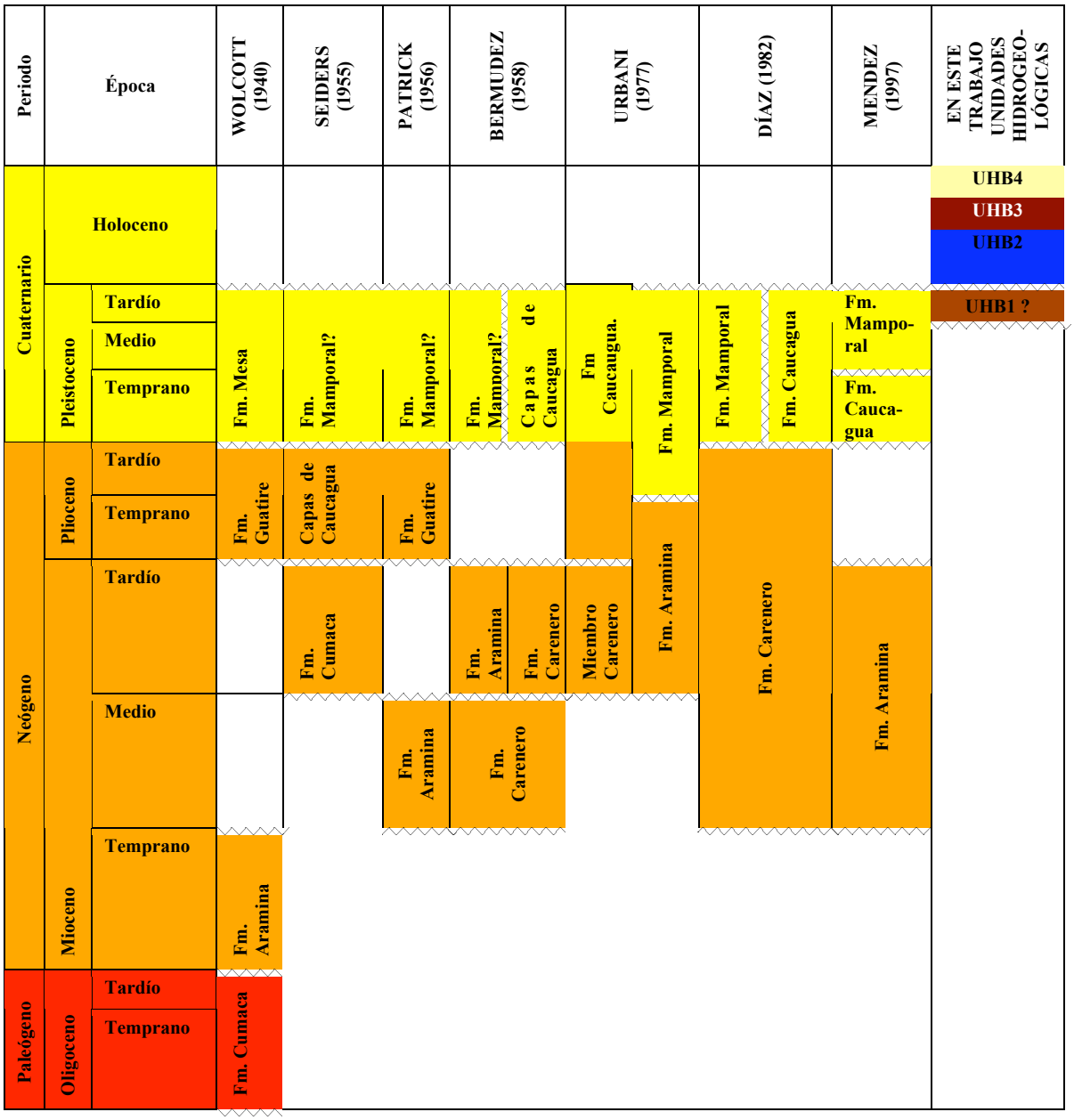


Fig 17. Muestra la variación de la definición de las formaciones presentes en la zona por diferentes autores, Hernández y Rojas (2002) y modificado. Nota: las unidades hidrogeológicas fueron definidas en el capitulo III con mas detalle.

2.1.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.

A continuación se citaran algunas teorías propuestas por distintos autores, que describen el marco estructural regional, como se muestra en la (Fig.19):

La Cuenca de Barlovento esta caracterizada por una geometría triangular, definida, entre los poblados de Aragüita, Carenero y Boca de Uchire (Fig.18), representando estos dos últimos la base del triángulo, con una distancia de 90 km a lo largo de la línea de costa.



Fig.18. Mapa esquemático de la geometría triangular que presenta la Cuenca de Barlovento, tomado de GOOGLE EARTH (2005). Disponible: http://www. **earth.google.com.** [Consulta: 2006, enero].

FEO-CODECIDO (1962), establece que la cuenca continúa por debajo del Mar Caribe, en sentido noreste, hasta la Isla de Margarita y Coche, mientras que SEIDERS (1965), menciona que la ensenada mayor del río Tuy, presenta buzamientos suaves que van de horizontales aun máximo de 35°, y una estructura similar a la cuenca de Santa Lucía, donde las rocas presentan forma de sinclinal asimétrico con rumbo N65°E y fallamiento a lo largo del borde norte del flanco norte, y poco control estructural al sur. Por otra parte, menciona que las cuencas sedimentarias dentro de la Cordillera, en el Terciario Superior, son el resultado de un evento estructural, el cual afectó a la región de Miranda Central, generando grandes levantamientos de alto buzamiento en las rocas terciarias.

DÍAZ (1982), estableció a la cuenca de Barlovento, como una cuenca graben que limita al norte con una falla, con rumbo N50°E, que tal vez forma parte del sistema de fallas de La Victoria – Pichao, y al sur limitada por una falla post-Paleoceno, SEIDERS (1965), cubierta por sedimentos del Cuaternario; así como también los sistemas de falla de Santa Rosa y parte de la falla de Onoto.

Sobre la base de sus investigaciones, propone que el graben se desarrolló en el Mioceno – Plioceno y que se generaron dos eventos tectónicos: uno distensivo en la época antes mencionada y caracterizado por fallas normales de orientación N80°E; y el segundo compresivo, durante el Plioceno tardío (?) – Pleistoceno y posiblemente hasta el Holoceno, con fallas conjugadas transcurrentes con rumbo NO- SE.

BELTRÁN Y GIRALDO (1989), a diferencia de los anteriores obtuvieron un campo de esfuerzo durante el Cuaternario para la región Nor - Oriental de Venezuela, obteniendo como resultado una dirección de esfuerzo principal promedio $_1$ NNO-SSE, el cual corresponde a una fase compresiva. Además, definieron dos

fases tectónicas que han actuado durante el Neógeno: La primera corresponde a una fase distensiva, caracterizada por fallamiento normal y en ocasiones sin sedimentaria. La segunda, corresponde a una fase compresiva la cual se iniciaría en el límite Pleistoceno y se mantiene constante hasta nuestros días, como se ve en la (Fig 19).

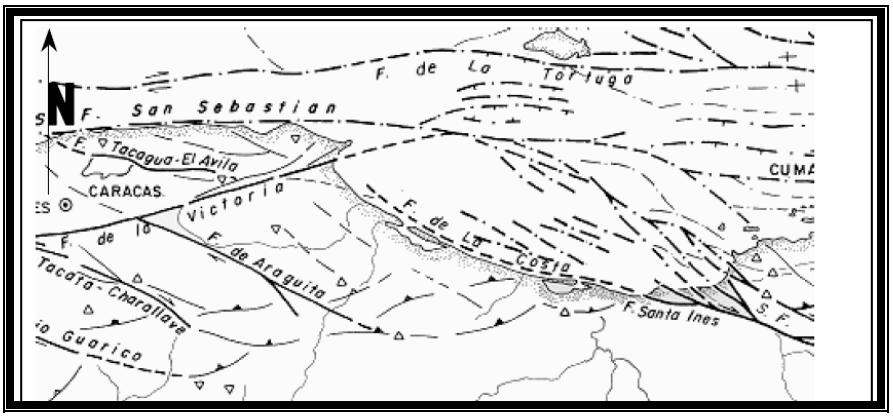


Fig-19. Mapa Neotectónico del área de estudio, en donde se puede observar las fallas. BELTRÁN (1993).

Para la cuenca baja del río Tuy, se generó un modelo estructural, denominado Riedel, sobre la base de un régimen transcurrente, que está caracterizado por fallas principales con orientación E – O y fallas secundarias sintéticas y antitéticas con rumbo NO – SE y NE – SO, respectivamente. GIUNTA *et. al.* (1990).

Por otra parte, URBANI (1991), menciona la presencia de fallas normales E – O, que ejercen un control estructural en la vertiente sur de la cuenca barloventeña (frente de montaña).

Basado en información geológica, OSTOS (1990), propone un modelo tectónico para explicar la evolución del norte de Sudamérica, el cual se basa en la deformación de cinturones tectónicos este – oeste, alóctonos, del norte de Suramérica, producto de una colisión de un microcontinente y un arco de isla contra el oeste – noroeste de Sudamérica durante el Neocomaniense. Los cinturones fueron

inicialmente sobrecorridos en el margen oeste – noroeste de la placa Suramericana, pero debido al ángulo alto de oblicuidad en el borde de placas, estos fueron transportados transpresionalmente hacia el noroeste (Santoniense – Campaniense). El transporte de estos cinturones tectónicos y de la placa Caribe de rumbo hacia el Eoceno tardío, como consecuencia de la colisión de la placa Caribe con la plataforma de las Bahamas. Este cambio es evidenciado por una compresión noroeste – sureste y por el desarrollo de cuencas sedimentarias Oligocenas pull – apart de rumbo este – oeste, en el norte de Suramérica

AUDEMARD (1993), señala que el mecanismo de subducción y colisión oblicua reinante durante el Terciario y previo al Mioceno medio en el margen meridional caribeño, responsables de acomodar tanto el acortamiento norte – sur generado por la convergencia de las dos Américas como el desplazamiento relativo hacia el este de la placa Caribe, se hace insostenible por los niveles de colisión alcanzados entre ambas placas, dándose inicio (17 – 15 ma) a una repartición de las deformaciones ("partitioning"): fallas transcurrentes dextrales de orientación este – oeste y estructuras de acortamiento con vergencia SSE preponderante. Aún hoy en día, este mecanismo de repartición de deformaciones es activo a lo largo de la frontera meridional caribe.

Posteriormente, AUDEMARD *et. al*.(2004), establece que la deformación a lo largo de la costa sur del Caribe, se confirma a través de la compilación de tensores de esfuerzos determinados a partir de indicadores cinemáticos en los planos de falla (microtectónica), y además por las soluciones de mecanismos focales, resultantes de un régimen transcurrente compresivo (transpresional *senso lato*) caracterizado por un esfuerzo máximo horizontal NNO – SSE ($_H = _1$) y/o un mínimo ENE – OSO ($_H = _3$ o $_2$), responsable de la actual actividad y cinemática de un conjunto de seis rasgos frágiles, como son: fallas laterales - dextrales E-W; fallas laterales – destrales NO-SE (Riedel Sintético); fallas dextrales ENE-OSO a E-O (Cizalla P); fallas normales NNO-SSE; fallas laterales- sinestrales, tendiendo a N-S (Riedel Antitético) y fallas

inversas ENE-OSO. Sin embargo acotan que no toda la deformación en la región obedece al modelo de cizalla simple, sino que también actúa la "partitioning".

Por último, AUDEMARD *et. al.*(2000), en su mapa y base de datos de fallas cuaternarias, indica que la falla de La Victoria tiene un rumbo promedio con un desplazamiento dextral y una tasa de movimiento de 0,55 mm/a, reportan que la falla se extiende desde Las Tejerías hasta Cabo Codera. También proponen que a la falla que se conoce informalmente como falla de la Costa o de Santa Inés, se le llame falla de Píritu; ésta presenta un rumbo aproximado de N65°O con un desplazamiento destral y una tasa de movimiento que oscila entre 0,3 y 0,4 mm/a.

2.2. - HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

La hidrogeología regional para la cuenca de Barlovento fue definida por ALVARADO *et. al.*(1982), donde explica que para una formación rocosa hay dos parámetros a considerar desde el punto de vista hidrogeológico, que son: la litológica y las propiedades físicas inherentes de la formación. Basándose en esto, esta sección se dividió en dos partes, (unidades hidrogeológicas y análisis piezométrico, respectivamente):

2.2.1.- UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Tomando como premisa lo antes mencionado, a continuación se describen, desde el ámbito hidrogeológico, en la región de Barlovento, tres unidades litológicas ALVARADO *et. al.*(1982):

- **Unidad litológica permeable poco o no consolidadas.**

Esta unidad se caracteriza por abarcar toda la Cuenca del Bajo Tuy y puede ser subdividida en tres tipos:

- **Unidad litológica de permeabilidad variable (alta):** caracterizada por aluviones de granulometría variable con acuíferos de buen rendimiento.
- **Unidad litológica de permeabilidad media alta:** esta unidad comprende a la Formación Mamporal, constituida por lentes de arena, conglomerados y arcillas, con acuíferos locales o discontinuos.
- **Unidad litológica de permeabilidad baja a media:** esta unidad esta conformada predominantemente por lutitas, arcillas con intercalaciones de arena y areniscas de las formaciones Aramina y Guárico y las Capas de la Sabana. En esta unidad los acuíferos son locales o discontinuos.

- **Unidad litológica fracturada consolidada**

Esta unidad está caracterizada por un conjunto de formaciones, constituidas por rocas calcáreas, ígneas y metamórficas, así como también rocas clásticas compactas, que en condiciones favorables pueden dar lugar a acuíferos de permeabilidad variable.

Esta unidad puede ser de dos tipos:

- **Unidad litológica de permeabilidad muy baja a media:** caracterizada por la presencia de areniscas compactas y consolidadas, asociadas con calizas, esquistos, gneis y filitas, las cuales contienen acuíferos locales o discontinuos. Incluye a los esquistos de Las Brisas, Las Mercedes y Chuspita, y Filita de Urape.

- **Unidad litológica de permeabilidad muy baja:** constituida por rocas metavolcánicas, metasedimentarias y metamórficas, que en condiciones muy especiales pueden dar lugar a acuíferos de muy bajo rendimiento y de desarrollo local o discontínuo. Esta unidad indad incluye al Augeneis de Peña de Mora, Complejo de Conoropa, Filitas de Paracotos y a la Asociación Meta-volcano-sedimentaria de Villa de Cura.

- **Unidad litológica impermeable:**

Esta unidad, esta caracterizada por un dominio de lutitas y arcillas, sin acuíferos aprovechables. Las formaciones que se incluyen en esta unidad, son: Carenero y Cumaca.

2.2.2.- ANÁLISIS PIEZOMÉTRICO

ALVARADO *et. al.*(1982), establecen que la superficie piezométrica de la región de Barlovento, correspondiente al periodo 1970 – 1981 de medición de los niveles, se caracteriza por ser muy sinuosa y con tendencia paralela a la superficie topográfica. En términos generales el flujo del agua subterránea de toda la Cuenca del Bajo Tuy está orientado hacia la costa., lo que indica que la pendiente hidráulica disminuye desde los bordes o piedemonte hacia la planicie costera.

Posteriormente, particularizan las cuencas de las aguas subterráneas, ya que coinciden con las cuencas hidrológicas de la región; y realizan un análisis por separado de cada una de ellas, las cuales se describen a continuación:

2.2.2.1.- CUENCAS HIDROGEOLÓGICAS

- **Cuenca Hidrogeológica del río Curiepe:** Se ubica en el extremo nor-occidental de la Cuenca del Bajo Tuy, coincide con la cuenca hidrográfica del río Curiepe y ocupa el área situada entre las poblaciones de Birongo e Higuerote.

  Los niveles estáticos en esta cuenca oscilan entre los 15 a 20m, desde la superficie del terreno.

  La dirección del flujo es de este a oeste y el gradiente hidráulico disminuye en esa misma dirección de $14*10^{-3}$ a $8*10^{-3}$. Señala que estas características pudiesen estar relacionadas, con un aumento de la permeabilidad hacia el este y una disminución en la velocidad del flujo.

  Plantean, también, que hacia el sur la dirección de las curvas equipotenciales o isopiezas cambia bruscamente hacia el este, formando un alto piezométrico, el cual coincide con la divisoria de las cuencas hidrográficas de los ríos Curiepe y Capaya, pudiendo deberse a la topografía elevada del terreno o a la presencia de una posible falla con rumbo NO-SE.

  El aporte principal de agua para esta cuenca proviene del oeste por flujo lateral desde la zona motañosa y en menor proporción desde el alto piezométrico que se haya al sur de la cuenca.

- **Cuenca Hidrogeológica del río Capaya:** Se sitúa en la cuenca hidrográfica del río Capaya, entre los poblados de Capaya y Tacarigua de Mamporal.

Los niveles estáticos van desde los 0,5 m hasta los 30 m de profundidad.

El gradiente hidráulico disminuye hacia el este, de $14*10^{-3}$ a $1,0*10^{-3}$, lo que indica un aumento de la permeabilidad y/o disminución de la velocidad del flujo. A si mismo plantean que la concavidad tan pronunciada de las curvas isopieza, hacia la parte baja de la cuenca, significa que el acuífero está siendo drenado por el río Capaya; y que la recarga de los acuíferos en esta cuenca, proviene principalmente del oeste por flujo lateral y en menor grado por de los altos piezométricos ubicados al sur y al norte.

- **Cuenca Hidrogeológica del río Tuy:** Es la más extensa y se localiza en la zona sur-occidental y central de la Cuenca de Barlovento; la dirección del drenaje principal es de oeste a este, el cual cambia hacia el noreste al pasar cerca de la población el Clavo, destacándose, próximo a su desembocadura dos quiebres de 90°.

  La forma de las curvas equipotenciales revela, que el río está drenando al acuífero.

  Los niveles estáticos de esta cuenca van desde 1 y 16m profundidad.

  ALVARADO *et. al.*(1982), establecen que el gradiente hidráulico es muy variable, encontrándose que en el flanco norte es de $7,5*10^{-3}$; entre las isopiezas 70 a 20 m es de aproximadamente $3,8*10^{-3}$, en cambio entre las isopiezas 20 a 10m disminuye a $6*10^{-4}$. en el eje de la zono de drenaje, y en el flanco norte, el gradiente disminuye de este a oeste. La pendiente hidráulica en la ladera sur es la mayor de toda la cuenca con $11*10^{-3}$. la permeabilidad tiende a ser mayor en el centro

de la cuenca, particularmente hacia el norte del río, la cual, ofrece las mejores condiciones para la explotación de aguas subterráneas.

La recarga del acuífero proviene de los bordes norte, sur y oeste de la cuenca, por flujo lateral, así como también por infiltración directa de las precipitaciones, la cuales son mayores en la zona central de la cuenca, en donde también se encuentran los sedimentos más arenosos.

- **Cuenca Hidrogeológica de los ríos San José y Guapo:** Situada en la zona sur-central de las cuencas hidrográficas de Río San José y Guapo., en la Cuenca de Barlovento.

  La geometría de las curvas isopiezas, permite catalogar a la cuenca como alimentadora del manto acuífero particularmente en las partes altas de los ríos San José y Guapo, donde además las precipitaciones son elevadas. El espaciamiento de las curvas, es mayor hacia la parte baja de la cuenca, indicando un aumento de la permeabilidad en esa dirección.

  La depresión formada entre los ríos San José y Guapo (Laguna Encantada) puede significar el afloramiento de agua subterránea, que luego es drenada por río Chico.

- **Cuenca Hidrogeológica de la Laguna de Tacarigua:** Ubicada al sureste de la Cuenca de Barlovento, entre los poblados de Río Chico y Machurucuto, en toda la línea de costa.

  En ésta cuenca las isopiezas, se caracterizan por presentar una concavidad hacia la laguna. Ésta área tiene la particularidad de tener

un alto índice de evapotranspiración, donde los niveles de agua subterránea están muy cerca de la superficie.

De acuerdo a la morfología de la superficie piezométrica las áreas con posibilidades de explotación, son las que se ubican al sur de la cuenca, por encima de la isopieza de 10m.

- **Cuenca Hidrogeológica de los ríos Cúpira y Chupaquire:** Se ubica al extremo sureste de la Cuenca de Barlovento, entre las poblaciones Palo Blanco y El Guacuco, donde la morfología de la superficie piezométrica indica que el río está drenando al acuífero. El espaciamiento de las isopiezas aumenta hacia el norte, lo que hace inferir la presencia de material permeable en esta área.

Los gradientes hidráulicos son bajos, lo que aunado a la existencia de material permeable refleja una disminución en la velocidad de flujo y por ende una acumulación de agua subterránea.

Cuencas Hidrogeológi-cas	Ubicación	N.P (s.n.m)	N.E (desde la superficie)	Gradiente hidráulico	Permeabilidad	Recarga	Observaciones
Río Curiepe	Extremo Nor-Occidental de la Cuenca baja del Tuy, y ocupa el área entre Birongo e Higuerote.	20m a 5 m	15m a 20m	$14*10^{-3}$ a $8*10^{-3}$, disminuyen-do de este a oeste.	Aumenta hacia el este.	Proviene del oeste por flujo lateral y desde el alto piezometrico al sur de la cuenca.	* La velocidad del flujo se reeduce. * El cambio en las curvas equipotenciales o isopiezas hacia el este, forman un alto piezometrico que coincide con la divisoria de agua
Río Capaya	En la cuenca hidrográfica del río Capaya, entre los poblados de Capaya y Tacarigua de Mamporal.	90 m a 5 m	0.5m a 30m	$14*10^{-3}$ a $1*10^{-3}$, disminuyen-do hacia el este.	Aumenta hacia el este.	Proviene del oeste por flujo lateral y desde los altos piezometricos ubicados al norte.	La concavidad de la curva isopiezica hacia la parte baja de la cuenca, implica el Río Capaya es un drenaje efluente.
Rio Tuy	Esta ubicada en la zona sur occidental central, y este de la Cuenca de Barlovento.	90 m a 5 m	1m a 16m	Es variable. Flanco norte: $7.5*10^{-3}$, Entre las isopiezas 70 a 20: 3.8E-3, Entre las isopiezas 20 a 10: 6E-4, Flanco sur: 11E-3.	Tiende a ser mayor en el centro de la cuenca, específicamente en el margen norte del río.	Procede del oeste, norte y sur de la cuenca por flujo lateral y por infiltración directa	
Ríos San José y Guapo	Área sur- de central de las cuencas hidrográficas de los ríos San José y Guapo, en la Cuenca de Barlovento				Tiende a aumentar hacia la parte baja de la cuenca	Se dá en las partes altas de los ríos San José y Guapo; además también proviene por infiltración directa.	La depresión formada entre los ríos San José y Guapo (Laguna Encantada), es el afloramiento de agua subterránea, que luego es drenada por Río Chico. Esta cuenca alimenta al manto acuífero

Cuencas Hidrogeológi-cas	Ubicación	N.P (s.n.m)	N.E (desde la superficie)	Gradiente hidráulico	Permeabilidad	Recarga	Observaciones
De la Laguna de Tacarigua	Sureste de la Cuenca de Barlovento, entre los poblados de Río Chico y Machurucuto; a lo largo de la línea de costa		Muy cerca de la superficie			Proviene del oeste de la cuenca.	Presenta un alto índice de evapotranspiración. Las áreas con posibilidad de explotación se ubican al sur de la cuenca por encima de la isopieza de 10m
Ríos Cúpira y Chupaquire		Extremo sureste de la Cuenca de Barlovento, entre los poblados de Palo Blanco y Guacuco		Son bajos	Tiende a aumentar hacia el norte.	Se da al sur de la cuenca.	El río es un drenaje efluente.

Tabla 28. Cuadro resumen de las características hidrogeológicas de la cuenca del Tuy (N.E. es el nivel estático)

CAPITULO III
3. GEOLOGÍA, GEOFÍSICA E HIDROGEOLOGÍA LOCAL

3. 1.- ESTRATIGRAFÍA LOCAL

A partir de la exploración de superficie, se realizaron dos levantamientos puntuales en el área de estudio, uno perteneciente a un corte antrópico, y otro a una terraza de inundación del río Tuy, así como también se tomaron muestras de ripio extraídas de una perforación durante la construcción del pozo de agua Sara V, todo esto con el propósito de caracterizar y generar un amarre con la información de subsuelo, y determinar el ambiente de depositación de la zona de estudio.

3.1.1.- CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

A partir de las muestras de ripio, caracterizadas (Anexo 9 y 28), se encontró que del total de sedimentos gruesos, los sedimentos de arena muy gruesa representan un 32,25%; las arenas gruesas un 22,58%; las arenas finas un 19,35%; los gránulos y guijarros un 9,67%, respectivamente, y las arenas medias un 6,45%, lo que denota que un 80,63 % del material clasificado tuvo un transporte por saltación; mientras que 19,34%, tuvo un transporte por rodamiento o tracción, y el resto del material fino por suspensión.

Por otro lado, en cuanto a la redondez de las gravas y las arenas, se encontró que: para las gravas, 16,66% son angulosas; 66,66% son subangulares y 16,66% son muy redondeados; mientras que en las arenas, 80% son angulosas y 20% subangulosas. Todo esto denota la posible cercanía del área fuente, sin embargo no hay que olvidar, la gran influencia de las variables que intervienen, como son el tipo de transporte, el tamaño de grano, la velocidad del flujo y la mineralogía entre otros.

En el caso de las gravas, se encontró que en cuanto a la forma, éstas son 28,57% elipsoidales; 28,57% son discoidales y 42,85% son cilíndricas; estableciéndose que un porcentaje menor de partículas discoidales van a tender a depositarse más rápido que la fracciones cilíndricas; siempre tomando en consideración las variables antes mencionadas. Sin embargo, al observar el porcentaje de esfericidad de las arenas, se puede establecer que es mayor la fracción discoidal (68%) que tenderá a viajar mayores distancias que la fracción esférica, la cual está representada por un 32%. Por lo tanto, la fracciones de gravas tenderán a depositarse más rápido que las fracciones de arena.

La mineralogía predominante en las muestras de ripio tamizadas, estuvo conformada aproximadamente por un 55% de cuarzo, 13% de micas (cloritas, sericita, muscovita y biotita), 15% de fragmentos de roca metamórfica (esquistos, anfibolitas y gneis), 1,2% de fragmentos de roca sedimentaria (clástica y no clástica), 9,1% de Feld K o Na, 2% de chert, 3,8% de posibles minerales pesados (ilmenita, hematita, magnetita y oro) y 0,8 % de posible siderita. Siendo la fuente de estos minerales y fragmentos de rocas, las rocas ígneo-metamórficas y sedimentarias que rodean a la cuenca.

Sobre la base de los parámetros granulométricos calculados y graficados, (Anexo 9 y 28), y tomando en consideración que son muestras de ripios y están contaminadas con lodo de perforación, responsable de la bimodalidad y polimodalidad de algunas muestras ilustradas en las gráficas; y de las incongruencias entre los valores de kurtosis y grado de escogimiento calculados y los obtenidos de las gráficas, como se observa en el anexo 9. Se encontró que un 54,83% de las muestras analizadas, son extremadamente leptocúrtica y un 25,80% son leptocúrtica, revelando un buen grado de escogimiento. Sin embargo al compararlas con las gráficas de curva acumulada y frecuencia acumulada, (Anexo 9) no se aprecia lo antes expuesto. Igual ocurre cuando se confrontan los resultados del grado de escogimiento, los cuales revelan un 80,64% de muestras mal escogidas, con los valores de kurtosis (Anexo 28).

Lo que confirma que tanto la presencia de lodo bentonítico como el tipo de muestra caracterizada (ripios), es un factor modificador de los resultados.

Cabe destacar, que a partir del análisis de por difracción de rayos X, realizados tanto a las muestras del pozo Sara V, como de la terraza de la llanura de inundación del río Tuy, ver anexos 30 y 31, donde se encontró que los porcentajes de smectita , arrojado por el pozo Sara V, en comparación con los obtenidos en la terraza de la llanura de inundación, cuyo promedio es de 12,14% (±15%), son extremadamente elevados, lo cual tiene una estrecha relación con el uso de lodo bentonítico, cuya composición principal es la smectita, en más de un 93%; por lo que se deduce, sobre la base del registro eléctrico (Anexo 20) y los resultados de la difracción de rayos X (Anexos 30 y 31), que para las muestras PSV-58, 87, 80, 93 y 112, del pozo Sara V, caracterizadas por pertenecer a sedimentos netamente gravosos y arenosos, el porcentaje de contaminación promedio es de aproximadamente 19,79% (± 15% de error), al igual que para los sedimentos arcillosos y limosos.

Siguiendo con los análisis de difracción de rayos X, se encontraron tanto en las muestras del pozo Sara V, como de la terraza de la llanura de inundación del río Tuy, otras especies de filosilicatos, como caolinita, clorita, ilita, caolinita+clorita,cuyos porcentajes se mantiene iguales para ambos lugares (pozo y terraza), además de la smectita, (Anexos 30 y 31). Es posible que el contenido de caolinita en las muestras, se deba a los intensos procesos de meteorización química, que dan origen a los perfiles lateríticos, en ambientes ácidos, como es el caso sobre rocas cristalinas o areniscas en feldespatos y detritos volcánicos, que posteriormente son depositados.

En cuanto a la presencia de clorita en las muestras, es probable que sean de origen alogénico, cuya fuente sean rocas ígneas, metamórficas y yacimientos minerales de alta temperatura en rocas sedimentarias, en las cuales se presenta como mineral autigénico.

La existencia de ilita en las muestras, posiblemente del politipo no determinado, se deba a los procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación, que permiten la pérdida de K^+ de la musovita 2M de origen ígneo o metamórfico, el cual se aplicaría para este caso. SANDOVAL (2000).

La presencia de la smectita, en sus proporciones naturales, puede deberse por degradación de los silicatos, en perfiles de suelos; por fluidos hidrotemales y por precipitación química, en ambientes relativamente alcalinos (lacustres). Cabe destacar que pueden ser autigénicas o alogénicas. DUNOYER DE SEGONZAC (1970).

En cuanto a la presencia de mineral de cuarzo, tal vez se deba al acarreo de material detrítico proveniente de las zonas más altas de la cuenca, a portado por rocas fuentes como sedimentarias, ígneas y metamórficas.

Se observó una escasa presencia del feldespato potásico y una alta de feldespato sódico, en las muestras del pozo y de la terraza de la llanura de inundación del río Tuy, provenientes de las rocas metamórficas e ígneas, ubicadas en las áreas más altas de la cuenca.

También resalta la existencia de minerales de pirita, seguramente de origen metamórfico o sedimentario (ambientes lacustres y parálicos); siderita, calcita y dolomita, resaltándose, la presencia de siderita en las muestras del pozo Sara V, la cual está asociada a ambientes reductores no marinos, TUCKER (1981). La dolomita, por su parte es prácticamente escasa en las muestras de la terraza de la llanura de inundación del río Tuy, y su origen se debe al agotamiento del cálcio con relación al magnesio, por precipitación del carbonato de calcio, y condiciones de evaporación. SANDOVAL (2000). Sin embargo la ocurrencia de la calcita, tal vez se deba al aporte de las rocas fuentes con contenido carbonático o a un origen biogénico.

3.1.2.- LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL.

El primer levantamiento corresponde a una unidad denotada informalmente como ULB_1, y los dos siguientes a otra unidad nombrada informalmente como ULB_2, las cuales son descritas a continuación:

- **Unidad ULB_1:**

Ubicación: Entre los poblados Los Colorados y San José de Río Chico se ubicó un afloramiento antrópico, a unos 150 m antes de cruzar el río Tuy y en dirección suroeste, a 500 m del borde de la carretera que comunica a los poblados de Tacarigua de Mamporal y San José de Río Chico, el cual esta definido por las siguientes coordenadas: Pto 01 (N1.139.773, E822.430), Pto 02 (N1.139.888, E822.418) y Pto 03 (N1.139.943, E822.374), (anexo 6). Este se caracteriza por presentar un rumbo de N20°W y un espesor total de 9 m con un buzamiento de sus capas de 10° N. (Fig. 20).

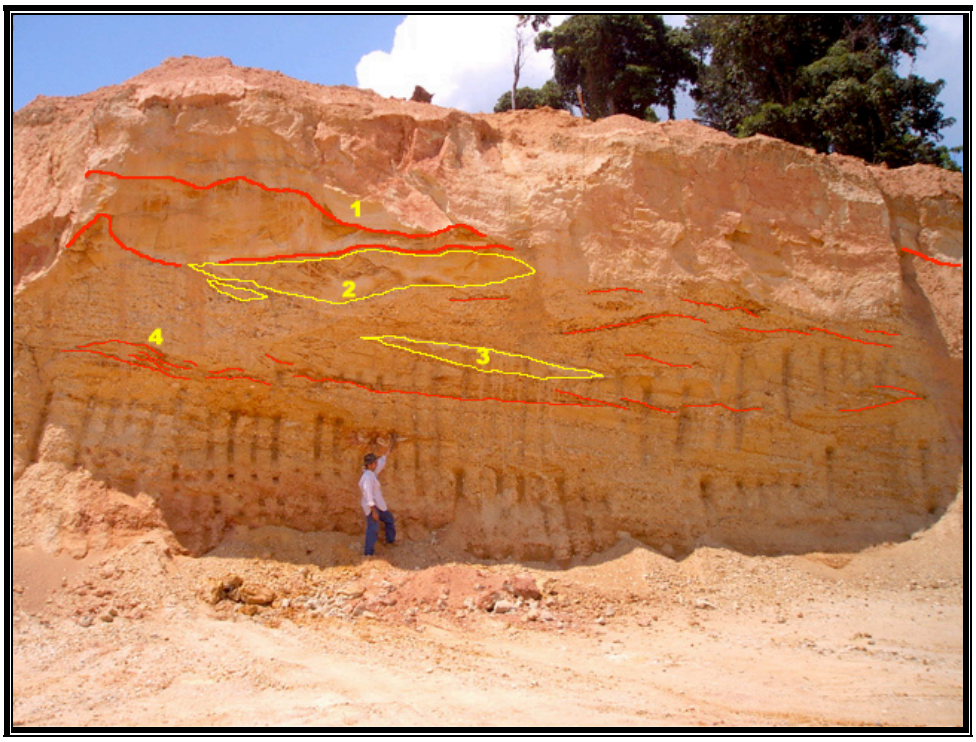
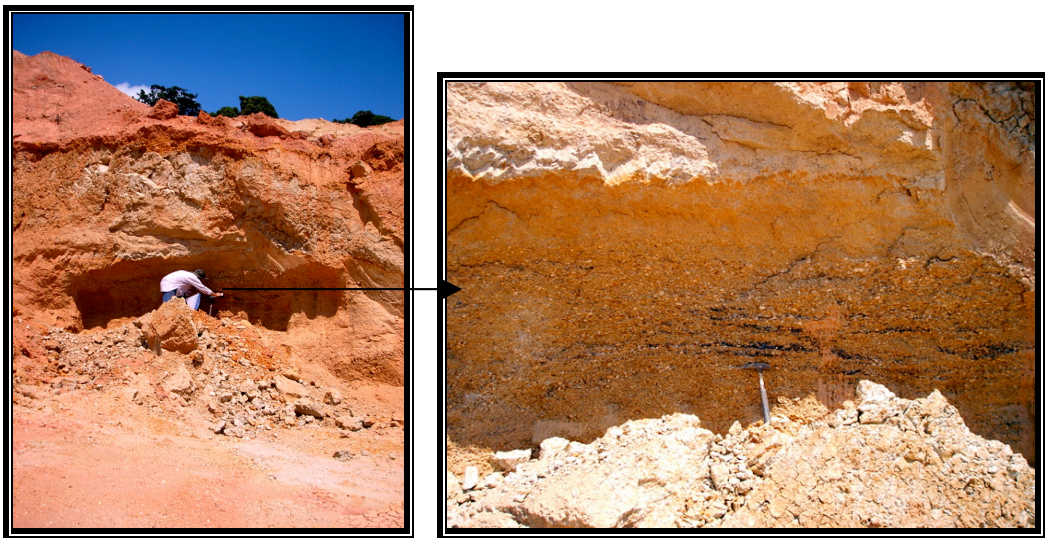


Foto 20: Corte antrópico (parte frontal) de la Formación Mamporal, ubicado en la carretera vía Mamporal a San José de Río Chico, se observan diversos horizontes de oxido(1) y lentes de guijones gruesos (2) y de arena(3), y horizontes de oxido de grano grueso (4). Rumbo de la fotografía N20°W

Descripción litológica: En cuanto a las características litológicas observadas en esta unidad, se encontró, de base a tope una capa de conglomerados polimícticos poco consolidada y soportada por escasa matriz areno-limosa, de un metro de espesor, siendo el color fresco observado, marrón con tonos naranjas y el color meteorizado marrón claro; además se apreció una transición gradacional hacia el tope de esta capa.

La forma observada de la capa conglomerática es de tendencia tabular y está conformada por un tamaño de grano que varía entre guijón grueso a fino, los cuales presentan una distribución medianamente desordenada. Estos clastos se caracterizan por ser mineralógicamente de cuarzo, fragmento de roca metamórfica o sedimentaria en mayor proporción, presentando una morfología, entre anguloso y sub anguloso; además de mostrar un mal escogimiento.

Además de lo descrito anteriormente, se apreciaron horizontes de color negro que describen bandas suavemente onduladas (Fig 21(a) y 21(b)), conformados por granos de tamaño guijón medio, ubicados en el extremo lateral derecho (N20°E) del afloramiento**.**



(a) **(b)**

Fig 21(a): parte lateral del afloramiento (rumbos de la fotografías N20°E), donde se observan horizontes de color negro alineados como se ve en la parte 21(b) Esta muestra a detalle los horizontes de tamaño guijón medio.

Por encima de los conglomerados tenemos una secuencia areno-limosa muy deleznable, con un espesor de 2 m, la cual presenta un color fresco gris verdoso, y un color meteorizado gris claro, el contacto en la base es transicional y abrupto en el tope (limitado por una costra de óxido de aproximadamente 0,13 m de espesor. (Fig. 22); la geometría de la capa es de tendencia tabular, y esta compuesta por mineral de cuarzo, fragmentos de roca metamórfica y micas. Los granos se caracterizan por ser subredondeados presentando un mal escogimiento, con una distribución de granos no orientados. (Fig. 21(b)).

Luego de la secuencia areno-limosa, que es limitada por la costra de óxido, se encuentran una capa conglomerática, polimíctica, soportada por una matriz arenosa de 4 m de espesor con un color meteorizado anaranjado y de color fresco marrón amarillento, donde el contacto en la base es abrupto y transicional hacia el tope. Esta capa presenta una tendencia tabular poco apreciable, conformada por granos, cuyo tamaño va de guijón fino a grueso, siendo la mineralogía de estos, cuarzo y fragmentos de roca metamórfica, principalmente, y la redondez de los granos se encuentra entre sub-anguloso y sub-redondeado.



Fig 22. Costra de oxido, que marca un hiato no depositacional. (Rumbo de lo foto N20°W)

Cabe destacar que dentro de los conglomerados antes descritos, se observan horizontes de óxido, lentes rellenos de arena gruesa que envuelven a esporádicos clastos tamaño guijón medio, (Fig. 19), y dentro de los lentes de arenas, se observó la estructura de laminación paralela.

Sobre el tope pobremente diferenciado de la anterior capa conglomerática, antes descrita, se encuentra otra capa areno-limosa poco consolidada de color fresco marrón claro y de color meteorizado marrón anaranjado, con una forma de tendencia

tabular y de espesor 3,46 m. Esta presenta también, horizontes de óxido y lentes de arena gruesa con laminación paralela y un lente de guijón grueso.

Seguidamente se observó una capa de 3,2 m, conglomerática, polimíctica, de base abrupta y tope abrupto, con tendencia tabular, la cual presenta un color fresco marrón anaranjado y un color meteorizado anaranjado, conformada por granos de tamaño guijón medio, principalmente de cuarzo y fragmentos de rocas metamórficas, subangulosos a subredondeados.

Luego, sobre el tope de la anterior reposa arcillita, de 0,6 m de espesor, de color meteorizado rojo y de color fresco gris oscuro con motas rojizas, la cual presenta hacia el tope un horizonte de óxido (Fig. 23), para pasar, por ultimo, de forma abrupta a otra capa grano decreciente, de arena gruesa a fina, cuyo espesor es de 0,4 m, con un color meteorizado rojizo y un color fresco marrón rojizo. (Anexo 26).

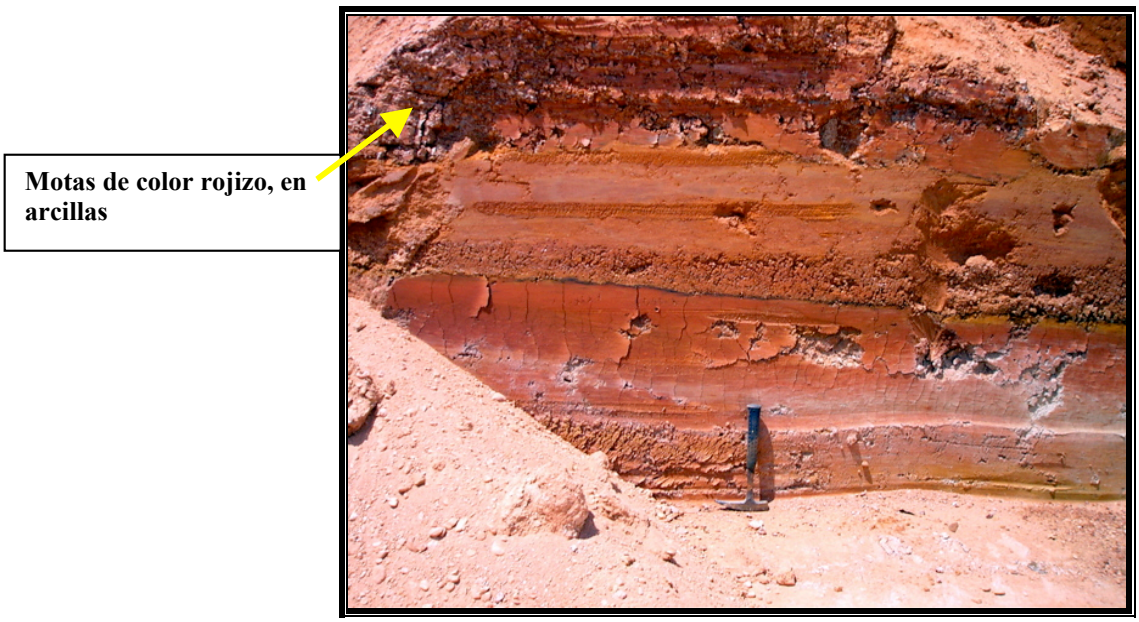


Fig. 23. Capa arcillosa en la base, limitada por un horizonte de óxido en el tope, seguida de forma abrupta por una capa arenosa grano decreciente hacia el tope. (Rumbo de la foto N20°W)

Contactos: esta unidad se encuentra en contacto discordante, suprayacente sobre la Formacón Caucagua, según ESPINOLA Y OLLARVES (2002), y GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*, y en contacto con infrayacente con la Unidad de Aluvión.

Edad: se establece como el Pleistoceno como edad, tomando como referencia a la Formación Caucagua.

Fósiles: estéril.

Espesor: esta unidad presenta para el afloramiento levantado un espesor de 14,66 m; sin embargo se estima un espesor según PATRICK (*op. cit.*), de 120 m.

Equivalencia: esta unidad tiene reciprocidad con la Formación Mamporal, tanto en el ámbito litológico como fosilífero (estéril).

- **Unidad ULB_2:**

Para la descripción y definición puntual de esta unidad informal se tomaron dos lugares muy puntuales, uno se localiza en el margen derecho del río Tuy (llanura de inundación), en el sector conocido por los pobladores como Manatí de San Cristóbal, y cuyas coordenadas son N1.143.563, E821.338,(Anexo 6),donde se localizaron dos niveles de terraza, los cuales se definieron como T_{ri} T_1 (Terraza reciente inferior, Tuy muestra número 1) y T_{rs} T_2 (Terraza reciente superior, Tuy muestra numero 2), y de donde se extrajeron a través de un ensayo de SPT, muestras de sedimento para su posterior análisis de difracción de rayos X, (Fig. 23). El otro lugar fue el pozo Sara V, ubicado a la izquierda de la carretera que comunica a la población de Los Colorados con San José de Río Chico, en el sentido hacia San José de Río Chico, y cuyas coordenadas son N1.140.429, E827.070, (Anexo 5) de donde también se tomaron

muestras de ripio, a las cuales se les realizó un estudio granulométrico y difractometría de rayos X.

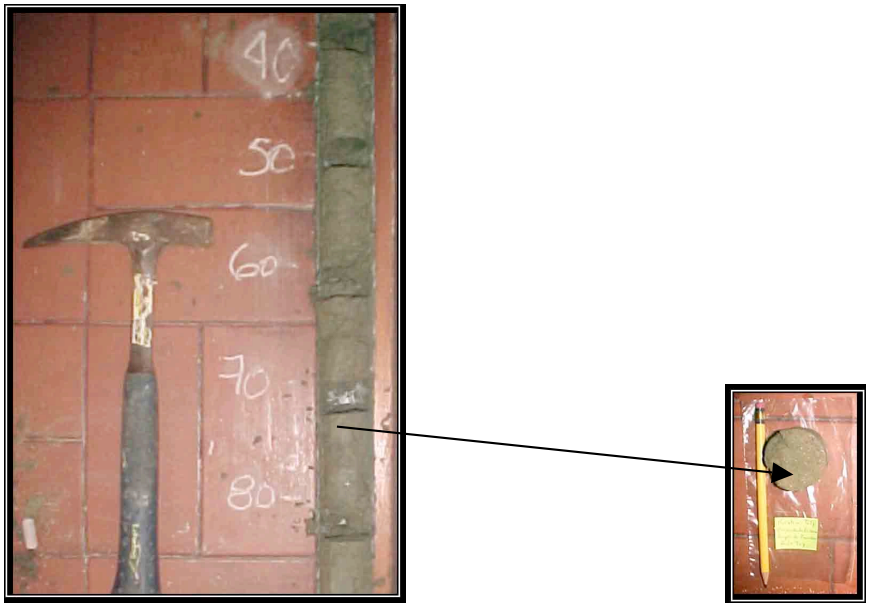


Fig. 24 : Muestra de sedimentos tomadas de las terrazas de la llanura de inundación del río Tuy, a través del método de hincado.

Descripción litológica: sobre la base del estudio sedimentológico de muestras de ripio de un solo pozo (Sara V), se encontró que esta unidad está conformada por gravas que van de tamaño gránulos a guijarros; arenas muy gruesas a finas; limos muy gruesos y arcillas, según la clasificación de FRIEDMAN & SANDERS (1979) (Anexo 28). La composición mineralógica de estos sedimentos es muy variada, los mismos están conformados principalmente por cuarzo, feldespato sódico, pirita, calcita, ilita, smectita, caolinita, clorita, fragmentos de roca metamórfica, chert, micas, entre otros.

Contactos: se encuentra en contacto discordante con las formaciones Mamporal y Caucagua, según ALVARADO *et. al*. (1982).

Edad: Reciente.

Fósiles: se han encontrado fragmentos de conchas.

Espesor: sobre la base de perforaciones de pozos de agua, se ha registrado un espesor de 120 m sin base diferenciada.

Equivalencia: sobre la base de las características antes descritas y las descritas por ALVARADO et. al. (1982), se establece que esta unidad in formal ULB_2 corresponde a la unidad de aluvión**.**

Ambiente: Partiendo de la definición de facies propuesta por REGVANT (1971), que las define como; facies descriptivas, a las características primarias litológicas y paleontológicas; facies interpretativas, referidas a las condiciones ambientales y facies cronoestratigráficas, relacionadas al tiempo geológico; en este trabajo se definieron cuatro litofacies correspondientes a gravas de niveles altos de energía, arenas de niveles altos y medios de energía, limos de niveles medios y bajos de energía y arcillas correspondientes a niveles de baja energía, tomando en consideración el conjunto de repuestas eléctricas de los pozos Sara I, II-IV, III, V, Santa Bárbara, y de las columnas litoestratigráficas de los pozos BPO-3,BPO-4,BPO-5 y Cazaña, (Anexos 17,18,19,20,21,22,23 y 24), las cuales permitieron establecer, tres unidades de asociaciones de facies, denotadas como Uf_1 (llanura de inundación, correspondientes a limos y arcillas de niveles medios y bajos de energía), Uf_2 (abanicos de ruptura, concerniente a arenas de niveles altos y medios de energía) y Uf_3 (barras de canal, correspondientes a arenas y gravas de niveles medios y altos de energía, respectivamente), como se muestra en la figura 25, el subambiente es fluvial de tipo anastomosado según GALLOWAY, (1953), ver Fig. 26, el cual pertenece a un ambiente aluvial, donde la variación lateral y vertical es muy marcada, ver anexos 2 y 3, como se muestra en la siguiente tabla:

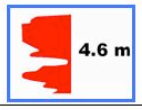
FACIES	ASOCIACIÓN DE FACIES	EJEMPLO DEL PATRÓN ELÉCTRICO (GAMMA RAY, DEL POZO S V)
Gravas de niveles altos de energía	Barras de canal	
Arenas de niveles altos y medios de energía	Abanicos de ruptura o barras de canal	 Abanico de ruptura
Limos de niveles medios a bajos de energía	Llanura de inundación	
Arcillas de niveles bajos de energía	Llanura de inundación	

Fig. 25. Muestra las facies definidas en este trabajo y las posibles asociaciones presentes, con sus ejemplos repectivamente.

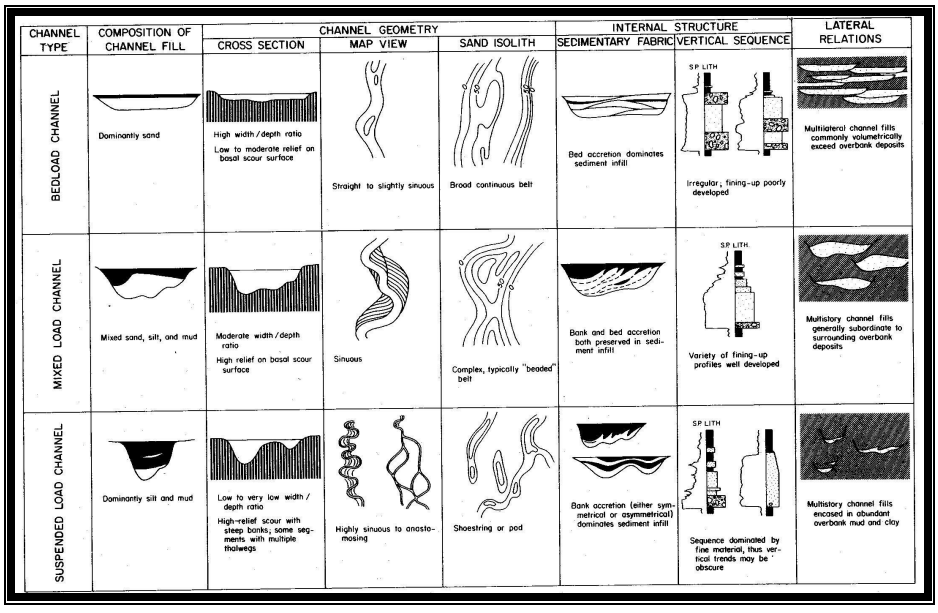


Fig. 26. Muestra los distintos tipos de sedimentación fluvial, según GALLOWAY & HOBDAY (1953).

Cabe destacar que las unidades de asociaciones de facies, antes definidas para cada pozo, se realizaron sólo con la interpretación de los registros gamma ray, ya que se carecía de núcleos que pudiesen concatenar la respuesta eléctrica con la litológica, así como de sísmica 3D que permita establecer una relación de ancho/espesor; además de que la interpretación realizadas por terceros, presenta diferencias entre el gamma ray y la litología descriptiva, hecha a partir de muestras de ripio. Por tal motivo sólo se pudo hacer inferencias en cuanto al sistema depositacional.

3.2.- GEOFÍSICA LOCAL

Sobre la base de la realización e interpretación de los sondeos eléctricos verticales llevados a cabo por ALVARADO *et. al.* (1982), se encontró, que en la zona de estudio, predominan cuatro (4) unidades geoeléctricas (A,B,C y D, determinadas a partir de los SEV-35, 30,31,32,33,34, ubicados al norte del área de estudio, ver Anexo 29 y 10), de las cinco (5) definidas por el mismo autor, a nivel regional para julio de 1982, las cuales se definen a continuación:

Unidad A: esta presenta un espesor de hasta 50 m y una resistividad de que oscila entre los 200 y 500 (ohm*m) para una litología interpretada de arenas, limo y arcilla.

Unidad B: se caracteriza por presentar un espesor de hasta 50 m, una resistividad de que se ubica entre 20 y 100 (ohm*m), cuya litología interpretada está conformada por arenas, limos y arcillas, que hacen que las condiciones acuíferas sean regulares.

Unidad C: está caracterizada por presentar un espesor que alcanza los 50 m, con una resistividad que oscila entre los 0,5-10 (ohm*m) y una litología interpretada de limos y arcillas, que implica nuevamente malas condiciones para la generación de acuíferos.

Unidad D: esta unidad presenta un espesor indeterminado, cuya resistividad es menor a 20 (ohm*m) y la litología interpretada son sedimentos finos, lo que denota malas condiciones acuíferas.

Unidad Geoeléctrica	Espesor (m)	Resistividad (ohm*m)	Litología	Condiciones acuíferas
A	Hasta 50	200 - 500	Arena, limo y arcilla subordinada	Buena si se encuentra por de bajo del nivel estático de aguas subterráneas.
B	Hasta 50	20 – 100	Arena, limo y arcilla	Regulares
C	Hasta 50	0,5 – 10	Limo y arcilla	Malas
D	Indeterminada	< 20	Sedimentos finos	Malas

Tabla 28. Unidades geoeléctricas presentes en el área de estudio, al norte. ALVARADO *et.al*. (1982).

Según, SÁNCHEZ (2000), define cinco (5) unidades geoeléctricas, de las cuales solo se observaron en las columnas cuatro (4), al sur del área de estudio, a partir de cinco (5) sondeos eléctricos verticales (SEV),ver (Anexos 11, 12, 13, 14 y 15), en donde la separación máxima de los electrodos de corriente AB es 300 m., los cuales fueron realizados en febrero de 2000, en las cercanías del poblado de Santa Bárbara entre los poblados Los Cerritos y El Silencio. A continuación se describen las unidades A, B, C y D definidas por SÁNCHEZ (2000):

Unidad A: esta se caracteriza por presentar un espesor que va de 1,1 a 6,5 m, con una resistividad que se ubica entre los 60 y 1000 (ohm*m) que da como resultado una interpretación de limos, arenas limosas, arenas gravosas y gravas, las cuales son buenas si se encuentran por debajo del nivel freático.

Unidad B: presenta un espesor que se encuentra entre el rango de 4,5 y 11 m, para una resistividad que está entre los 12 y 13 (ohm*m), que refleja una litología compuesta por limos y arcillas impermeables, las cuales denotan malas condiciones acuíferas.

Unidad C: está conformada por un espesor de que se ubica entre los 51 y 64,8m, con una resistividad que se encuentra entre los 36 y 80 (ohm*m), que revela una interpretación litológica conformada por sedimentos areno-gravosos con intercalaciones de capas de limos y arcillas, que revelan buenas condiciones acuíferas.

Unidad D: se caracteriza por presentar un espesor que varía entre los 62 y 80 m, una resistividad que oscila entre los 10 y 75 (ohm*m) y una litología interpretada como limos y arcillas correspondiente posiblemente a la roca basal (Formación Mamporal?), presentando malas condiciones acuíferas.

Unidad Geoeléctrica	Espesor (m)	Resistividad (ohm∗m)	Litología	Condiciones acuíferas
A	1.1- 6.5	60 - 1000	Limos, arenas, arenas limosas, arenas gravosas y gravas	Se encuentran por encima del nivel freático.
B	4.5 - 11	12 - 13	Limos y arcillas impermeables	Malas.
C	51 - 64.8	36 - 80	Sedimentos areno-gravoso con intercalaciones de capas de arcillas y limos	Buenas
D	Varía entre los 62 y 80 m.	10 - 75	Limos y arcillas. Roca basal?	Malas

Tabla 29. Unidades geoeléctricas al sur del área de estudio. Tomado de SÁNCHEZ (2000) y modificado.

Al norte del área de estudio, SÁNCHEZ (2000) realizó en varios sectores, sondeos eléctricos verticales (SEV), ver (Anexo 29), definiendo sus respectivas unidades geoeléctricas.

Para el sector San Juan-Madre Vieja, definió las siguientes unidades, A,B,C y D, las cuales se describen (Tabla 30 y anexo 15) como sigue:

Unidad A: se caracteriza por presentar un espesor entre 7 y 19 m, una resistividad que se ubica entre 11 y 600 (ohm*m), que refleja una litología interpretada compuesta por sedimentos areno-limosos, que presentan condiciones acuíferas regulares a buenas si se ubican por debajo del nivel estático.

Unidad B: ésta presenta un espesor que oscila entre los 2 y 30 m, con una resistividad que se enmarca entre el rango 2,2 y 4,2 (ohm*m), que refleja a unas arcillas que para los efectos destacan malas condiciones acuíferas.

Unidad C: esta representada unidad por tener un espesor entre los 2 y 130 m; además de presentar un resistividad que se encuentra entre los 15 y 34 (ohm*m), cuya interpretación litológica da como resultado la presencia de capas de arena y grava que se alternan con capas de limos y arcillas, las cuales presentan buenas condiciones para el almacenamiento de agua.

Unidad D: la misma se caracteriza por presentar un espesor indeterminado, una resistividad que se ubica entre los 3,5 y 7 (ohm*m), cuya interpretación geológica plantea que esta unidad compuesta por limos y arcillas, es la roca basal (Formación Mamporal?), de malas condiciones acuíferas.

Unidad Geoeléctrica	Espesor (m)	Resistividad (ohm*m)	Litología	Condiciones acuíferas
A	7-19	11 – 600	Sedimentos areno - limosos	Se encuentran por encima del nivel freático
B	2 – 30	2.2 - 4.2	Arcillas	Mala.
C	2 – 130	15 – 34	Caps de arenas y gravas que se alternan con capas de limos y arcillas	Buenas
D	Indeterminado	3.5 – 7	Roca basal (Formación Mamporal ?)	Malas

Tabla 30. Unidades geoeléctricas del tramo San Juan-Madre Vieja. SÁNCHEZ (2000).

Para el sector Los Cerritos-El Silencio, definió las siguientes unidades, las cuales se muestran a continuación (Tabla 31) :

Unidad A: presenta un espesor que se ubica entre los 6 y 13 m, con una resistividad, que varía entre 15 y 1000 (ohm*m), la cual establece que la litología presente corresponde a sedimentos areno-limosos, que reflejan condiciones regulares para el almacenamiento de agua, además de encontrarse por encima del nivel estático.

Unidad B: se caracteriza por presentar un espesor que se encuentra entre 3 y 17 m; además de presentar una resistividad que oscila en un rango de 3 y 18 (ohm*m), la cual corresponde con una interpretación litológica de arcillas y limos, que denotan malas condiciones acuíferas.

Unidad C: esta representada por tener un espesor que se ubica entre lo 22 y 100 m, con una resistividad que varia entre los 12 y 80 (ohm*m), que resalta la presencia de capas delgadas de arena y grava que se alternan con capas de limo y arcillas, la cual presenta buenas condiciones acuíferas.

Unidad D: el espesor de esta unidad es indeterminado; presenta un resistividad que se ubica entre 6 y 10 (ohm*m) para una interpretación litológica de limos-arcillosos que según SÁNCHEZ (2000), correspondería a la roca basal de la Formación Mamporal?, cuyas condiciones acuíferas son malas.

Unidad Geoeléctrica	Espesor (m)	Resistividad (ohm*m)	Litología	Condiciones acuíferas
A	6-13	15 - 1000	Sedimentos areno - limosos	Se encuentran por encima del nivel freático
B	3 - 17	6- 18	Arcillas y limos	Mala.
C	22- 100	12 - 80	Capas delgadas de arenas y gravas que se alternan con capas de limos y arcillas	Buenas
D	Indeterminado	6 - 10	Limo-arcillosos(Roca basal?; Formación Mamporal ?)	Malas

Tabla 31. Unidades geoeléctricas del tramo Los Cerritos –Los Cerros. SÁNCHEZ (2000).

Cabe destacar que según SÁNCHEZ (2000), en el otro tramo que complementa al sector principal Los Cerritos – El Silencio, el cual sería Los Cerros – El Silencio, la unidad C no se encuentra presente y por lo tanto sólo estarían las unidades A, B y D, las cuales le confieren a este tramo unas características limo – arcillosas.

Para los tramos Madre Nueva – San José de Río Chico, entre La Encrucijada y el Monumento al Cacao y avenidas perimetrales de la población de San José de río Chico (Anexo 11), SÁNCHEZ (2000), definió las siguientes unidades A, B, C y D, (Tablas 32 hasta la 35):

- Para los sondeos eléctricos verticales SEV-1,2,3,4 y 5 ubicados entre el sector de La Encrucijada y el Monumento al Cacao (Anexo11 y 29) estableció que:

Unidad A: esta unidad presenta un espesor de 6 m; una resistividad que se ubica entre 8 y 24 (ohm*m), lo cual refleja la presencia de sedimentos areno-limosos, cuyas condiciones acuíferas son regulares.

Unidad B: se caracteriza por presentar un espesor de 26 m, para una resisitividad que encuentra entre 0,8 y 2,3 (ohm*m), denotando la presencia de arcillas, que evidencian malas condiciones acuíferas.

Unidad C: presenta un espesor entre 60 y 20 m, con un rango de resistividad que oscila entre 4,4 y 17 (ohm*m), lo refleja la posible presencia de capas delgadas de arena y grava que se alternan con capas de limo y arcilla, lo cual le confiere unas buenas condiciones acuíferas.

Unidad D: el espesor de esta unidad disminuye desde el sector de La Encrucijada hacia el Monumento al Cacao, (Anexo 11), de oscilando su resistividad entre 1,5 y 15 (ohm*m), cuya interpretación litológica refleja sedimentos limo-arcillosos, pertenecientes a la roca basal Formación Mamporal?, la misma denota malas condiciones acuíferas.

Unidad Geoeléctrica	Espesor (m)	Resistividad (ohm*m)	Litología	Condiciones acuíferas
A	6	8 – 24	Sedimentos areno - limosos	Se encuentran por encima del nivel freático
B	26	0.8 y 2.3	Arcillas con contenido orgánico (previamente visto en los pozos Saras)	Mala.
C	60 – 20	4.4 - 17	Capas delgadas de arenas y gravas que se alternan con capas de limos y arcillas	Buenas
D	El espesor disminuye desde la Encrucijada hacia el monumento al Cacao	1.5 - 15	Sedimentos limo - arcilloso	Malas

Tabla 32. Unidades geoeléctricas definidas entre La Encrucijada y el Monumento al Cacao. SÁNCHEZ (2000).

- Para los sondeos eléctricos SEV-6,7,8, ubicados en la Av. perimetral este, tomando como referencia a la población de San José de río Chico, en sentido sur, SÁNCHEZ (2000) plantea las siguientes unidades:

Unidad A: ésta presenta un espesor de que varia entre 10 y 15 m, con una resistividad que se ubica entre 4 y 65(ohm*m), la cual corresponde a sedimentos areno-limosos, siendo sus condiciones acuíferas regulares, sin embargo la misma se encuentra sobre el nivel freático.

Unidad B: el espesor de esta unidad oscila entre 18 y 65 m; una resisitividad que se encuentre entre los 0,8 y 2(ohm*m), cuya interpretación litológica establece la

presencia de arcillas con contenido orgánico, que revelan malas condiciones acuíferas.

Unidad C: esta unidad se caracteriza por presentar un espesor que varia entre 25 y 55 m, presentando resistividades que se ubican entre los 6 y 29 (ohm*m), corresponden a capas de arena y grava que se alternan con capas de limos y arcillas, lo que le confiere buenas condiciones acuíferas.

Unidad D: en esta unidad el espesor disminuye, según SÁNCHEZ (2000), desde el Monumento al Cacao hacia el extremo sur de la Av. perimetral este, acuñándose. La resistividad presenta un rango de valores entre 1,3 y 2, los cuales reflejan sedimentos limo-arcillosos, que son de malas condiciones para la generación de acuíferos.

Unidad Geoeléctrica	Espesor (m)	Resistividad (ohm*m)	Litología	Condiciones acuíferas
A	10 – 15	4 – 65	Sedimentos areno - limosos	Se encuentran por encima del nivel freático
B	18 – 65	0,8 - 2	Arcillas con contenido orgánico (previamente visto en los pozos Saras)	Mala.
C	25 – 55	6 - 29	Capas delgadas de arenas y gravas que se alternan con capas de limos y arcillas	Buenas
D	El espesor disminuye desde el monumento al Cacao hacia el extremo sur de la perimetral sur	1,3 - 2	Sedimentos limo – arcillosos. Roca basal? (Formación Mamporal?)	Malas

Tabla 33: Unidades geoeléctricas definidas entre el Monumento al Cacao y la perimetral este, específicamente a lo largo de la perimetral sur. SÁNCHEZ (2000)

- Para los sondeos eléctricos SEV-8,10,9, ubicados en la Av. perimetral sur, tomando como referencia a la población de San José de río Chico, en sentido este-oeste (Anexo 12), SÁNCHEZ (2000) establece las siguientes unidades:

Unidad A: se caracteriza por presentar un espesor entre 25 y 13 m, y una resistividad que varía de 2 a 100 (ohm*m), cuya interpretación litológica corresponde a sedimentos areno-limosos de condiciones acuíferas regulares, pero estas se encuentran sobre el nivel freático.

Unidad B: el espesor de esta unidad se encuentra entre 18 y 65 m, y su resisitividad oscila entre 0,8 y 2 (ohm*m), que corresponde con arcillas con contenido orgánico, que establecen malas condiciones acuíferas.

Unidad C: presenta un espesor que varía entre 55 y 30 m; una resistividad que se encuentra entre 6 y 17 (ohm*m), correspondiente a una litología de capas de arena y grava que alternan con limos y arcillas, la cual le confiere buenas condiciones acuíferas.

Unidad D: el espesor de esta unidad varía entre los 90 y 55 m, con una resistividad que se ubica entre 7 y 54 (ohm*m) que refleja sedimentos areno-limosos, que según SÁNCHEZ (2000), corresponden con la Formación Mamporal que actuaría como basamento.

Unidad Geoeléctrica	Espesor (m)	Resistividad (ohm*m)	Litología	Condiciones acuíferas
A	25 - 13	2 – 100	Sedimentos areno - limosos	Se encuentran por encima del nivel freático
B	18 - 65	0,8 y 2	Arcillas con contenido orgánico (previamente visto en los pozos Saras)	Mala.
C	55 - 30	6 - 17	Capas delgadas de arenas y gravas que se alternan con capas de limos y arcillas	Buenas
D	90 - 55	7 - 54	Sedimentos areno – limosos (Formación Mamporal ?)	Moderadas

Tabla 34: Unidades geoeléctricas definidas a lo largo de la Perimetral Este. SÁNCHEZ (2000)

- Para los sondeos eléctricos SEV-11,12,13, ubicados en la vía que va al sur del sector La Encrucijada,(Anexo 11), SÁNCHEZ (2000), definió las siguientes unidades:

Unidad A: se caracteriza por tener un espesor que oscila entre los 2 y 17 m, y una resistividad que se encuentra entre 7 y 44 (ohm*m), correspondiente con sedimentos areno-limosos de condiciones acuíferas regulares, si el nivel freático se encontrase por encima de ésta.

Unidad B: presenta un espesor entre 18 y 10 m; una resistividad que varía en un rango que va de 1,25 a 2,4 (ohm*m), correspondiente a arcillas con contenido orgánico, que revelan malas condiciones acuíferas.

Unidad C: se caracteriza por tener un espesor de 60 a 120 m; una resistividad que se encuentra entre 4,4 y 19 (ohm*m), lo cual correspondería con capas de

arena y grava alternadas con limos y arcillas, indicativo de poseer buenas condiciones acuíferas.

Unidad D: esta unidad tiene un espesor que va de 80 a 140 m y una resistividad que se ubica entre los 13 y 25 (ohm*m), que según interpretación litológica corresponde a sedimentos areno-limosos de la Formación Mamporal.

Unidad Geoeléctrica	Espesor (m)	Resistividad (ohm∗m)	Litología	Condiciones acuíferas
A	2 - 17	7 - 44	Sedimentos areno - limosos	Se encuentran por encima del nivel freático
B	18 - 10	1.25 – 2,4	Arcillas con contenido orgánico (previamente visto en los pozos Saras)	Mala.
C	60 - 120	4,4 - 19	Capas delgadas de arenas y gravas que se alternan con capas de limos y arcillas	Buenas
D	80 - 140	13 - 25	Sedimentos areno – limoso (Formación Mamporal ?)	Moderadas

Tabla 35. Unidades geoeléctricas definidas al sur de La Encrucijada. SÁNCHEZ (2000).

Es de hacer destacar que las unidades geoeléctricas definidas por SÁNCHEZ (2000), corresponden al mes de agosto de 2000.

3.2.1.- ANÁLISIS GEOFÍSICO

Al comparar las unidades geoeléctricas definidas por ALVARADO,*et.a.l* (1981) con las de SÁNCHEZ (2000), se observan diferencias significativas en las unidades definidas, específicamente en el aspecto más importante como es el

litológico, posiblemente debido a diferencias de criterio al momento de llevar acabo la interpretación de dichas unidades.

Se observó que al confrontar las unidades definidas por SÁNCHEZ (2000), con la información arrojada por los registros eléctricos gamma ray y potencial espontáneo, obtenidos de los pozos perforados, Sara I, II-IV, III, V y Santa Bárbara (Anexos 17 al 25 y 29), así como la litología descrita a partir de las muestras de ripio de los pozos antes mencionados, se encontró que no todas las unidades geoléctricas están presentes, tal es el caso de Sara I, Sara II-IV y Santa Bárbara, en los cuales no se ubica la Unidad B; mientras que en Sara V no se observó la Unidad A.

Sin embargo, en Sara III se identificaron las unidades A, B, C, y con cierta incertidumbre la unidad D, ya que a partir de muestras de ripio no se puede determinar el tope o la base de una formación. En cuanto a los pozos de observación, BPO-3, BPO-4 y BPO-5, y el perforado Cazaña, se encontró que éstos no presentan información geofísica que permita observar las unidades geoeléctricas correspondientes, como en el caso de los pozos Sara y Santa Bárbara.

Por último, a partir de los sondeos eléctricos verticales (Anexo 11, 12,13,14,15), se observa lo que correspondería a la geometría de los acuíferos, siendo esta de forma irregular.

3.3.- HIDROMETEOROLOGIA LOCAL

La información hidrometeorología es un aporte al estudio hidrogeológico, que permite establecer cuales son los períodos durante un rango de años, en donde hay exceso de agua, deficiencia de agua, restitución de agua al suelo y utilización del agua del suelo, así como conocer los índices hídrico, de humedad y aridez, entre otros.

A continuación se presentarán los valores de precipitación mensual comprendidos entre el período que va desde 1953 hasta 1996, ya que para el año de 1996, la única estación que conservaba datos de evapotranspiración, era la estación ubicada en Tacarigua de la Mamporal.

3.3.1. Valores de precipitación

Los valores de precipitación que se utilizaron en este trabajo, fueron proporcionados por el MARN. El periodo de precipitación va desde 1953 hasta el 1996, ver tabla 36.

Nombre De la Estación	Periodo De Registro	Mensual											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tacarigua de Mamporal	53 – 96	81,0	59,4	54,9	87,3	75,6	125,1	127,8	143,1	139,5	144,0	221,4	178,2

Tabla 36. Valores medios de precipitación (mm). MARN (2005).

3.3.2.- Evapotrasnpiración potencial

Los valores de evapotranspiración potencial que se utilizaron en este trabajo, fueron proporcionados por el MARN. El periodo de evapotranspiración va desde 1953 hasta el 1996,(Tabla 37).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	total
Tacarigua De Mamporal (1536-1996)	90,3	93,8	119,7	116,9	123,9	111,3	113,4	114,8	112,7	105	93,1	88,9	1283,8

Tabla 37. Valor estimado de la Evapotranspiración Potencial (mm⁄día). MARN (2005)

3.3.3.- Balance Hídrico

Para obtener el balance hídrico, se utilizó un programa perteneciente al MARN. Este programa basado en algoritmos, solicita la entrada de datos de la

precipitación mensual en mm y la evapotraspiración potencial (ETP) en mm/día, para posteriormente arrojar, sobre la base de una capacidad de almacenamiento de 100, sugerido por el la Dirección de Hidrología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, los siguientes resultados mostrados en la tabla 40,datos introducidos en el programa fueron los de la estación 1536, correspondiente a Tacarigua de Mamporal, puesto que es la única estación que posee datos de evapotranspiracion.

A continuación se muestra en la tabla siguiente, los datos obtenidos para el balance hídrico:

Mes	TEMP	EVTP	PCP	DIF	ALMA	ETR	DEF	ECX
ENERO	29.3	90.3	81.0	-9.3	90.7	90.3	0	0
FEBREO	29.7	93.8	59.4	-34.4	56.3	93.8	0	0
MARZO	30.6	119.7	54.9	-64.8	0	111.2	-8.5	0
ABRIL	31.2	116.9	87.3	-29.6	0	87.3	-29.6	0
MAYO	32.3	123.9	75.6	-48.3	0	75.6	-48.3	0
JUNIO	31.5	111.3	125.1	13.8	13.8	111.3	0	0
JULIO	31.4	113.4	127.8	14.4	28.2	113.4	0	0
AGOSTO	32.0	114.8	143.1	28.3	56.5	114.8	0	0
SEPTIEMBRE	32.4	112.7	139.5	26.8	83.3	112.7	0	0
OCTUBRE	32.2	105.0	144.0	39.0	100.0	105.0	0	22.3
NOVIEMBRE	31.3	93.1	221.4	128.3	100.0	93.1	0	128.3
DICIEMBRE	29.8	88.9	178.2	89.3	100.0	88.9	0	89.3

Tabla 38. Resultados de las variables que conforman el Balance Hídrico de la zona. Nota: TEMP= temperatura en °C, EVTP= evapotranspiración potencial en mm/año, PCP = precipitación promedio en mm, DIF= diferencia entre evapotranspiración potencial menos precipitación promedio, ALMA= almacenamiento, ETR= evapotranspiración real en mm/año, DEF= es la resta entre la evapotranspiración potencial y la real, ECX= excedente en mm.

De todo lo antes expuesto se desprende, que el comportamiento del balance hídrico mensual, comprendido entre los periodos antes mencionado, muestra como lo indica la figura 27, una deficiencia comprendida entre los meses de marzo hasta mayo, para luego reiniciarse desde junio ha octubre de agua al suelo, correspondiendo con el período de invierno; mientras que la utilización del agua del suelo va de octubre a diciembre; sin embargo se puede establecer que la época de recarga de los acuíferos va de junio a septiembre, produciéndose excedente entre octubre y diciembre.

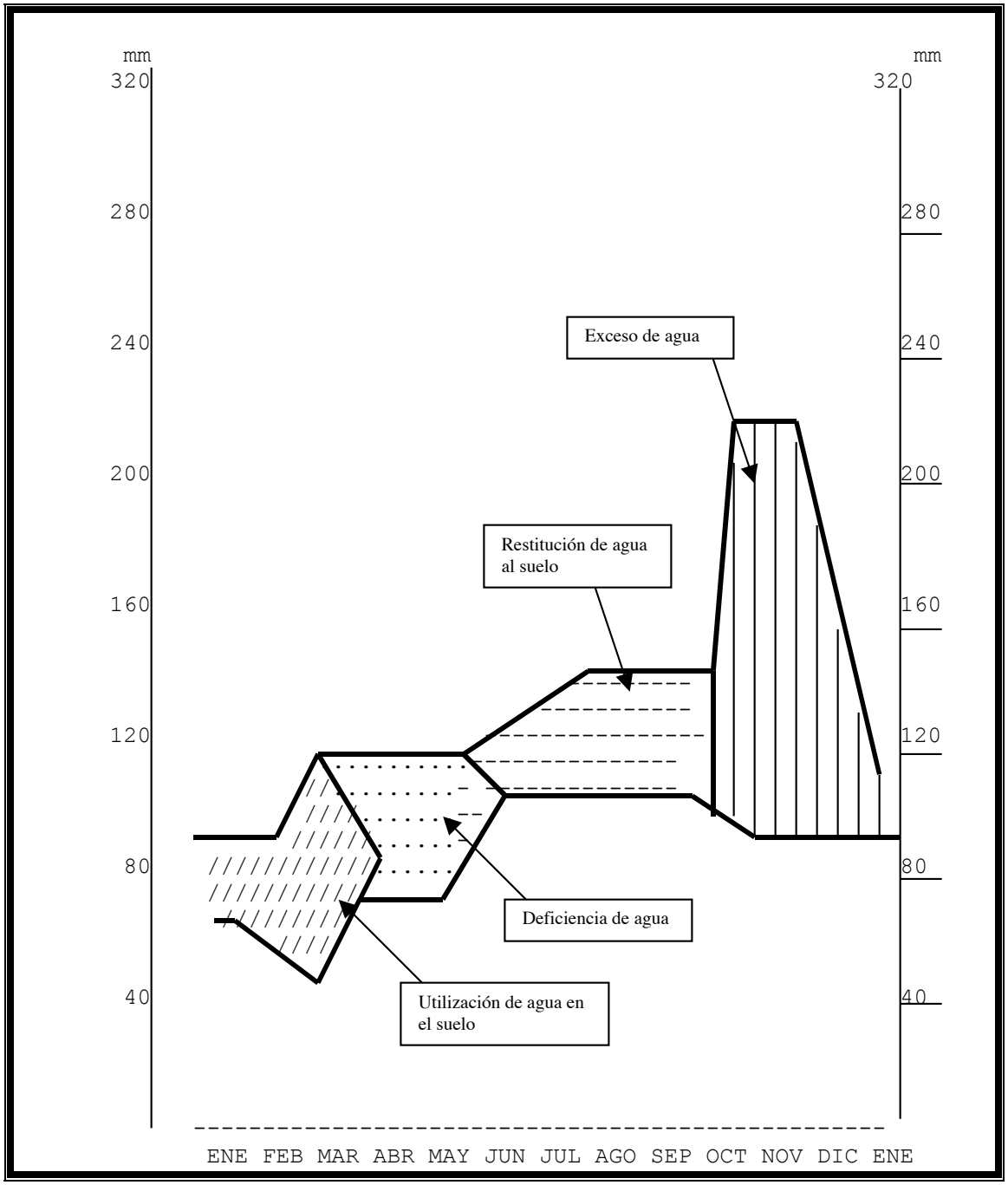


Fig. 27. Muestra la relación del Balance Hídrico para un periodo de 53 años, correspondiente a la estación Tacarigua de Mamporal, MARNR,(1996).

3.4. HIDROGEOLOGÍA LOCAL

A continuación se tocarán aspectos importantes para el desarrollo de la hidrogeología local, como son el conocer las informaciones referentes a los pozos ubicados en el área de estudio, la descripción de las posibles unidades hidrogeológicas, además de las características hidráulicas.

3.4.1.- INVENTARIO DE POZOS

En el área de estudio se realizó un censo de pozos de aguas subterráneas, con el cual se generó una data actualizada, sin embargo, la data recopilada es precaria, puesto que en algunos casos los pozos no cuentan con el valor de los niveles estáticos y dinámicos, y no todos poseen registros eléctricos o información litológica, tal es el caso de los que pertenecen al MARNR.

En cuanto a los pozos privados no se pudo obtener información litológica, tampoco datos de nivel estático o dinámico de los mismos. Sin embargo los que se encuentran bajo la supervisión de la empresa HIDROCAPITAL, éstos cuentan con una mejor data, en cuanto a litología, registros eléctricos, datos de pruebas de bombeo, etc.

En la siguiente (Tabla 39), se muestran niveles estáticos, niveles dinámicos, profundidades de perforación, caudales, conductividades en ppm, total de sólidos disueltos y estados de operatividad. Sin embargo cabe destacar que de los veinticinco (25) pozos encontrados, sólo nueve (9) tienen información de mayor importancia.

No.	IDENTI-FICACIÓN	SITIO / LOCALIDAD	NORTE UTM	ESTE UTM	NE	ND	Q	PROF. PERF.	CONDUC. ppm	*TSD*	pH	*Estado Operativo*
1	MI6248006A	San Fernando de El Guapo (viejo)	1.129.244	833.220	9.00		4.00	35.00				INACTIVO
2	MI6248009A	El Silencio	1.132.111	834.831	5.00		18.00	43.00				ELIMINAD
3	MI6248015A	San Fernando de El Guapo (nuevo)	1.129.530	834.848	9.80	18.00	10.00	33.00	154	115.5	6.30	ACTIVO
4	**MI6248016A**	**Santa Bárbara I**	**1.130.362**	**835.047**	**7.30**		**30.00**	**76.00**			**6.80**	**INACTIVO**
5	**MI6248017A**	**Santa Bárbara II**	**1.130.415**	**835.299**	**9.30**		**15.00**				**6.90**	**INACTIVO**
6	**MI6248018A**	**Santa Bárbara III (Los Cerros)**	**1.130.609**	**836.613**	**2.00**		**12.00**	**100.00**				**ACTIVO**
7	MI6248019A	Hacienda Las Navas	1.132.045	834.156	8.00		5.00		98	73.5	7.60	INACTIVO
8	**MI6248022A**	**Cazaña (Nuevo)**	**1.139.231**	**833.261**	**3.00**	**9.00**	**18.00**	**89**				**INACTIVO**
19	MI6248023A	Bajo Seco	1.142.015	832.370		4.70	35.00				7.60	ACTIVO
10	MI6248024A	Bejuquero	1.141.960	831.538	0.05		35.00	72.00				ACTIVO
11	MI6249024A	El Manguito	1.138.776	826.521	3.80				760	570.0	7.20	INACTIVO
12	**MI6249028A**	**Sara 1 (Madre Vieja)**	**1.140.853**	**826.337**	**3.8**	**11.3**	**115**	**112**	**527**	**395.3**	**7.30**	**INACTIVO**
13	**MI6249029A**	**Sara 2 (Madre Vieja)**	**1.140.866**	**825.934**	**9.7**	**77**	**97.3**	**110**	**475**	**356.3**	**7.50**	**ACTIVO**
14	**MI6249030A**	**Sara 3 (Los Galpones)**	**1.140.946**	**825.038**	**7.2**	**64.7**		**124**				**INACTIVO**
15	**MI62490**	**Sara 4**	**1.140.890**	**825.939**	**17**	**46**	**47**	**110**				**ACTIVO**
16	**MI62490**	**Sara 5**	**1.140.429**	**827.070**	**10.27**	**25**	**50.5**					**INACTIVO**
17	MI6249032A	San Juan IV (El Hoyo 1)	1.141.981	821.999	3.12		25.00	39.00			5.60	INACTIVO
18	MI6249033A	San Juan III (El Hoyo 2)	1.141.995	822.017	2.03		9.00	96.00			5.80	INACTIVO
19	MI6249034A	San Juan II - (La Troja 2)	1.142.727	821.016	2.48		18.00	93.00			5.90	INACTIVO
20	MI6249035A	San Juan V - (La Troja 1)	1.142.258	821.284			20.00					INACTIVO
21	**BPO – 3**	**Las Trojas San Juan**	**1.143.000**	**822.000**	**3**			**85**				
22	**BPO – 4**	*Cerca de Rio Chico*	**1.142.000**	**831.000**	**3**			**81**				
23	**BPO – 5**	**Cerca del Silencio**	**1.129.000**	**835.500**	**10**			**75**				

Tabla 39. Inventario de pozos del área de estudio (Pozos con información litológica y nivel estático, están destacados en color azul). Tomado de MARNR (2005) y modificado. Nota: NE= nivel estático medido desde la superficie en m, ND= medido desde la superficie en m, Q= caudal en l/s, PERF PROF= profundidad de perforación en m, TSD= total de sólidos de sueltos en ppm

3.5. PRUEBAS DE BOMBEO

A continuación se presenta toda la información que se pudo obtener de las distintas pruebas de bombeo y recuperación que se le realizaron a la red de pozos construidos por HIDROCAPITAL.

- **Pozo Sara V:**

Bajo la supervisión de la empresa HIDROCAPITAL, y con la utilización de una bomba de 12 caballos de fuerza, se realizaron tres tipos de prueba de bombeo en el pozo Sara V, el cual se ubica en el margen norte de la carretera que comunica a los poblados de Tacarigua de Mamporal y San José de Río Chico, específicamente a 1,5 km antes del poblado de San José de Río Chico, y cuyas coordenadas son E827.070; N1.140.429.

Las pruebas de bombeo efectuadas fueron:

a. **A caudal constante**
b. **De abatimiento escalonado**
c. **Recuperación**

Previamente a la realización de estas tres pruebas se midió el nivel estático con la ayuda de una sonda modelo 101, marca SOLINST, Water Level Meter.(Fig. 28)



Fig. 28. Cinta de medición modelo SOLINST, Water Level Meter.

a.- **Prueba a caudal constante**: para esta prueba se midieron los diferentes niveles de bombeo, con el uso de una sonda modelo101, marca SOLINST, Water Level Meter, para un intervalo de tiempo establecido en minutos, el cual variará a medida que tendía a estabilizarse el nivel dinámico. El intervalo de tiempo que se tomó para las primeras mediciones fue de un minuto, luego pasó a cada cinco minutos; posteriormente a cada 10 minutos; luego a 20, hasta alcanzar una hora. Esta prueba de bombeo continuo tuvo un tiempo de duración de tres horas, debido a que la bomba sufrió un daño por la arena y el sedimento en suspensión presentes para el momento de la prueba.

Con esta prueba se obtuvo un caudal (Q) de 50,5 l/s, a través del método de aforo volumétrico, y una trasmisibilidad de 380,22 m^2/día para un nivel estático de 11,78 m y un nivel dinámico de 24,75 m (Fig.29).

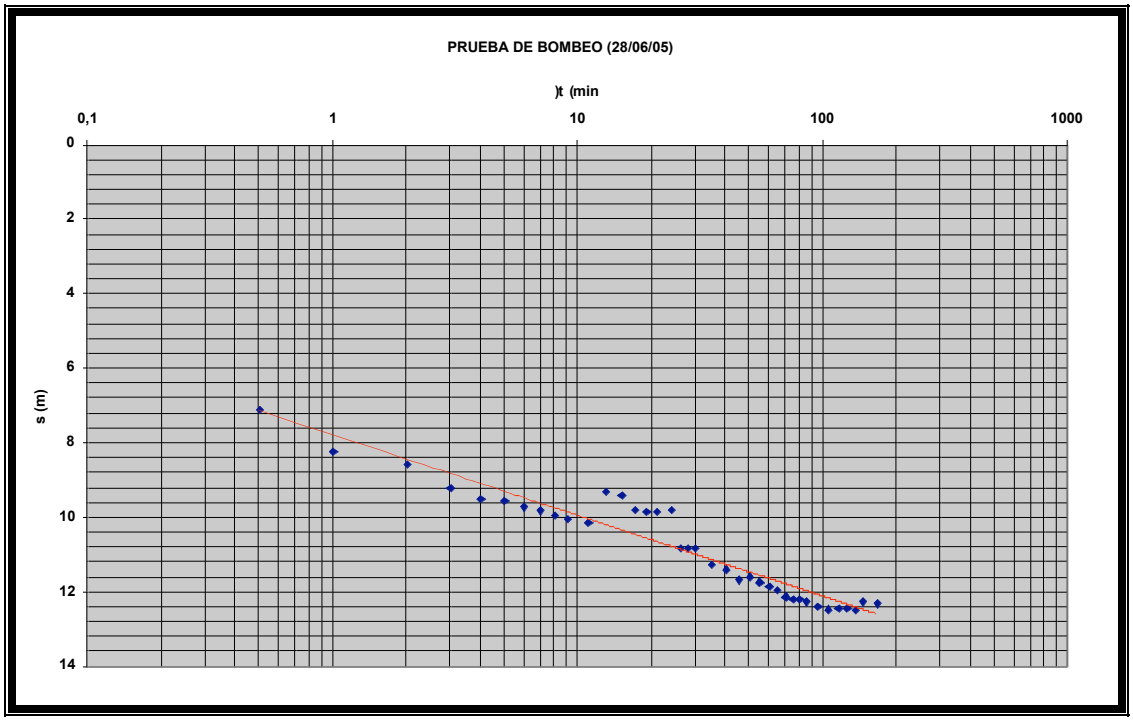


Fig.29. Prueba de caudal constante, del pozo Sara V.

b.- Prueba de abatimiento escalonado: durante la realización de esta prueba se midió el nivel dinámico, con el uso de una sonda modelo101, marca SOLINST, Water Level Meter y el caudal (Q) con el método de aforo volumétrico; para tres sesiones de 120 minutos cada una, donde a cada sesión se le asignó una hora de inicio.

Para la primera sesión se obtuvo un abatimiento promedio de 0.23 m y un caudal de 2,713 l/s; para la segunda etapa el abatimiento promedio fue de 0,83 m, con un caudal de 17,976 l/s, y para la última etapa se obtuvo un abatimiento promedio de 7,30 m, con un caudal medido de 57,60 l/s.

Sin embargo, cabe destacar que no se pudo determinar la eficiencia del pozo, a partir de los datos obtenidos en esta prueba, puesto que el pozo no estaba bien desarrollado.

c.- Prueba de recuperación: esta prueba sólo duró media hora, y en ella se procedió una vez apagada la bomba, a medir con la sonda, modelo 101, marca SOLINST, Water Level Meter, el nivel de recuperación, siendo el propósito de esta prueba, confrontar el valor de la trasmisibilidad obtenida con la de la prueba de bombeo a caudal constante, ya que no existe la posibilidad de que la vibración de la bomba y los pequeños descensos, producto de las variaciones imperceptibles en el bombeo, alteren las mediciones, que son posteriormente utilizadas en el calculo de la trasmisibilidad.

Cabe destacar que el valor de la trasmisibilidad arrojado, es de 1228,41 m^2/d, lo que indica que es más elevado, en comparación con el obtenido en la prueba a caudal constante; sin embargo hay que destacar que este pozo no ha sido desarrollado en su totalidad (Fig. 30).

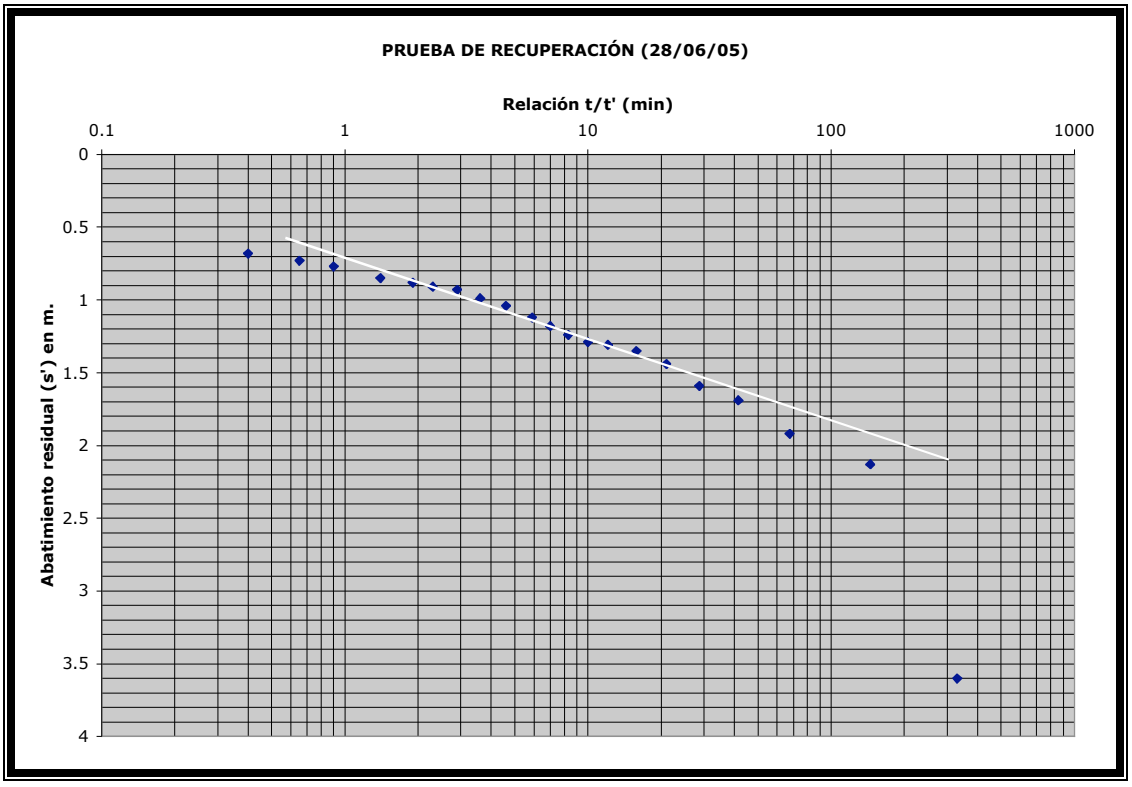


Fig. 30. Refleja el compartimiento del abatimiento, después de parada la bomba.

Por otro lado, sobre la base de TAHAL (2001), se obtuvieron los datos para las diferentes pruebas de bombeo, realizadas a los pozos Sara I, Sara II - IV, Sara III y Santa Bárbara, las cuales se describen a continuación:

- **Pozo Sara I:**

Este pozo se ubica en el margen norte de la carretera que comunica a los poblados de Tacarigua de Mamporal y San José de Río Chico, aproximadamente 2,5 km antes del poblado de San José de Río Chico, siendo sus coordenadas E 826.337; N 1.140.453. (Anexo 5).

El pozo Sara I, está constituido por una tubería de 14¨ que alcanza una profundidad de 40 m, por otra tubería de 20¨ que llega hasta los 42,4 m, estando ésta última, cementada, la cual protege al pozo de la extensa capa de sedimentos arcillosos.

La rejilla instalada es tipo Johnson, y se encuentran ubicadas a lo largo de 34,1 m; la misma se ubicó sobre la base de los perfiles geoeléctricos y la columna litológica.

Para este pozo se realizaron tres pruebas de bombeo, la de caudal constante, la de abatimiento escalonado y la de recuperación.

a.- **Prueba a caudal constante:** a partir de la ejecución de esta prueba, el 20/01/2001, TAHAL (2001), obtuvo una descarga de 31,9 l/s para un nivel dinámico de 12,5 m., un nivel estático (N.E) de 3,8 m., una Trasmisibilidad (T) de 344m^2/días. (Fig. 31).



Fig. 31. Muestra el desarrollo del pozo mediante la prueba de caudal constante. TAHAL, (2001).

b.- Prueba de abatimiento escalonado: para esta prueba realizada el 20/01/2001, (ob.cit.), reporta que en la primera etapa se obtuvo un abatimiento de 7.5m. con un caudal (Q) de 31,9 l/s (115 m^3/h), una capacidad específica de 15,33(m^3/hr/m) y una eficiencia de 83,2%. Para la segunda etapa se obtuvo un abatimiento de 12.8 m. con un caudal de 48,6 l/s (175 m^3/h), una capacidad especifica de 13,67(m^3/hr/m) y una eficiencia de 76,4%. En la tercera etapa de la prueba se reportó un abatimiento de 17,6 m. para un caudal de 61.9 l/s (223 m^3/h),, una capacidad específica de 12,67(m^3/hr/m) para una eficiencia de 71,8%. En la cuarta etapa se midió un abatimiento de 19,4 m. con un caudal de 67,5 l/s (243 m^3/h), una capacidad específica de 12,52(m^3/hr/m) y una eficiencia de 70 %, y para la quinta etapa se obtuvo un abatimiento de 23,70 m. con un caudal de 80,5 l/s (290 m^3/h), una capacidad específica de 12,23 (m^3/hr/m) para dar una eficiencia de 66,2%. Lo que se puede observar es que a medida que aumenta el caudal, el pozo tiende a disminuir su eficiencia, la cual se recomienda por norma y dependiendo de las características de la construcción del pozo, no exceder el 50%. Además reportó un nivel estático (N.E) de 3,8 m. (Fig.32).

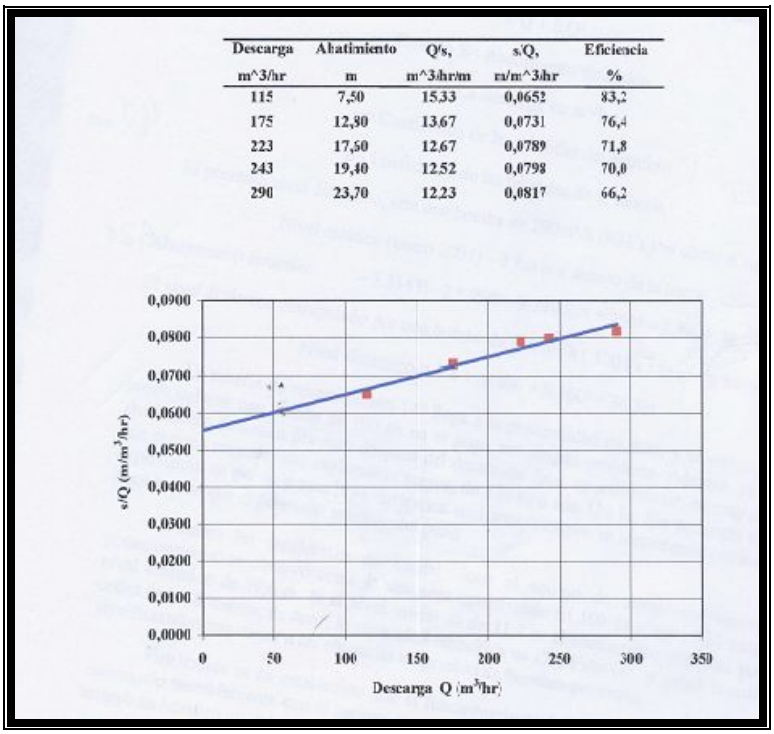


Fig.32. Muestra el desarrollo del pozo durante la prueba de abatimiento escalonado. TAHAL (2001)

c.- Prueba de recuperación: en esta prueba aplicada el 20/01/2001, (ob.cit) plantea que el proceso de recuperación es progresivo debido al poco desarrollo del pozo. Siendo el valor de la trasmisibilidad de 527 m^2/días.

- **Pozo Sara II-IV:**

Este pozo se ubica en el margen norte de la carretera que comunica a los poblados de Tacarigua de Mamporal y San José de Río Chico, específicamente 3 km antes del poblado de San José de Río Chico, cuyas coordenadas son: E 825.934; N 1.140.466.

El diseño de éste pozo esta conformado por una tubería de 14¨, la cual se colocó hasta una profundidad de 44,8 m. y la de 20¨ hasta una profundidad de 45.4 m, cementada, aislando al pozo de la columna de sedimentos arcillos (Anexo 22).

A este pozo se le realizaron dos pruebas de bombeo, una de abatimiento escalonado y la otra de recuperación, siendo la fecha de ejecución el 04/07/2001.

a.- Prueba de abatimiento escalonado: TAHAL (2001) reporta que la realización de ésta, fue llevada a cabo incorrectamente.

b.- Prueba de recuperación: según TAHAL (2001), después de bombear un caudal de 97,3 l/s (350 m^3/h), el valor calculado de la trasmisibilidad fue de 1974 m^2/días. Además de un nivel estático de 9,7 m. (Fig.33).

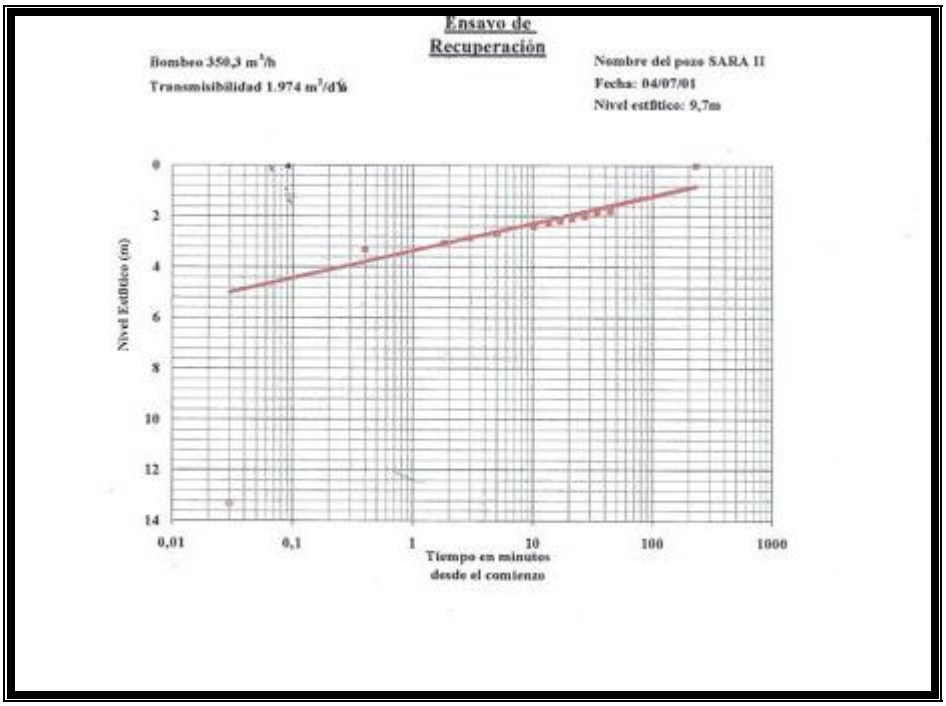


Fig 33. Muestra el desarrollo del pozo en la fase de recuperación a través del tiempo. TAHAL (2001)

- **Pozo Sara III:**

Este pozo se ubica en el margen norte de la carretera que comunica a los poblados de Tacarigua de Mamporal y San José de Río Chico, específicamente a 4 km. antes

del poblado de San José de Río Chico, siendo sus coordenadas las siguientes: E 825.038; N 1.140.546.

El diseño del pozo, lo conforma una tubería de 16¨, una de 20¨ y dos rejillas, según TAHAL (2001), ver anexo 23.

A este pozo se le aplicaron dos pruebas, una de abatimiento escalonado y otra de recuperación, para el 18-20/07/2001.

a.- Prueba de abatimiento escalonado: previo al inicio de esta prueba, TAHAL (2001), reporta un nivel estático de 11.4 m. Para esta prueba, TAHAL(2001), expresa que las descargas oscilaron entre 15.7 l/s (56,5 m^3/h), con una capacidad específica de 10 m^3/h/m, y 64,7 l/s (232,9m^3/h) para una capacidad especifica de 6,5 m^3/h/m; siendo el abatimiento final de 35,6 m. (Fig.34).

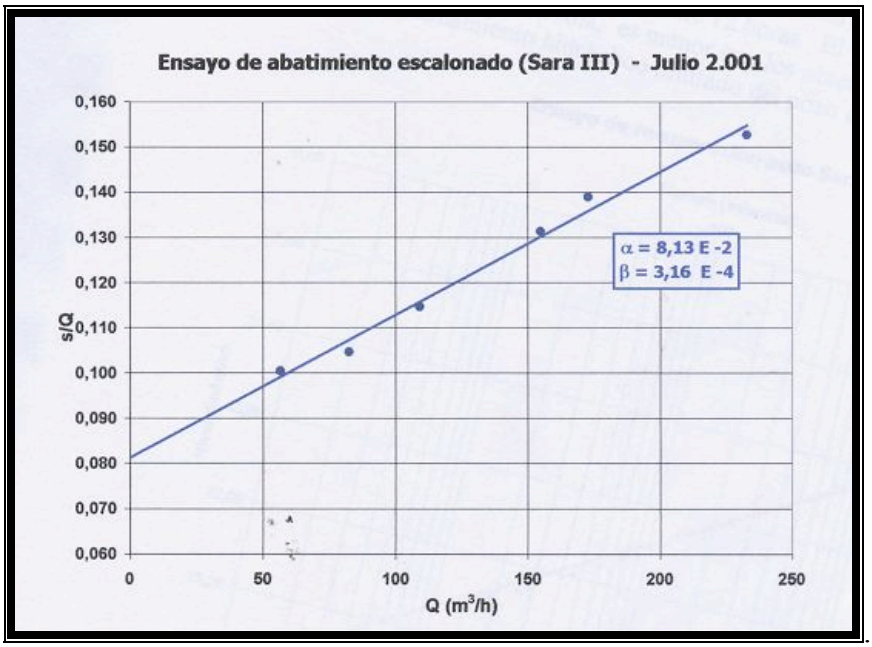


Fig.33. Indica el comportamiento del pozo, a tiempo distintos. TAHAL(2001).

b.- Prueba de recuperación: TAHAL (2001), menciona que la trasmisibilidad obtenida de esta prueba es de 160 m^2/día. (Fig. 35), lo que revela una permeabilidad media según SANDERS (1998), producto del acuífero.

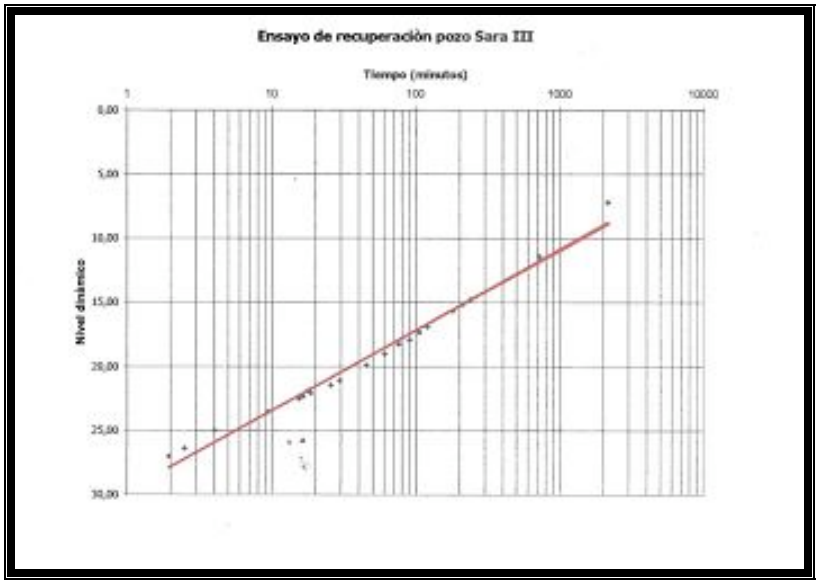


Fig. 35. Muestra el comportamiento del pozo, después de haber sido parado el bombeo. TAHAL (2001).

- **Pozo Santa Bárbara:**

Este pozo se localiza en las inmediaciones del poblado de Santa Bárbara, cuyas coordenada son E 835.047; N 1.130.245.

Su diseño esta constituido, según TAHAL (2001), por una tubería de 14¨ y 37.5 m. de largo y otra tubería de 20¨ con una longitud de 37 m.; además de una rejilla tipo Johnson de 27 m. de longitud con abertura de 20%, colocada frente a las capas permeables. (Anexo 25).

Según TAHAL (2001), se realizaron dos tipos de pruebas, una de abatimiento escalonado, la cual no tuvo éxito, y otra de recuperación.

1.- **Prueba de recuperación:** TAHAL (2001), reporta una descarga previa al inicio de ésta prueba, de 31,25 l/s, y una trasmisibilidad promedio de 421 m^2/día; además menciona un nivel estático de 9 m., el cual coincide con el nivel del Río Guapo. (Fig. 36). Esta prueba fue realizada el 18/03/2001.

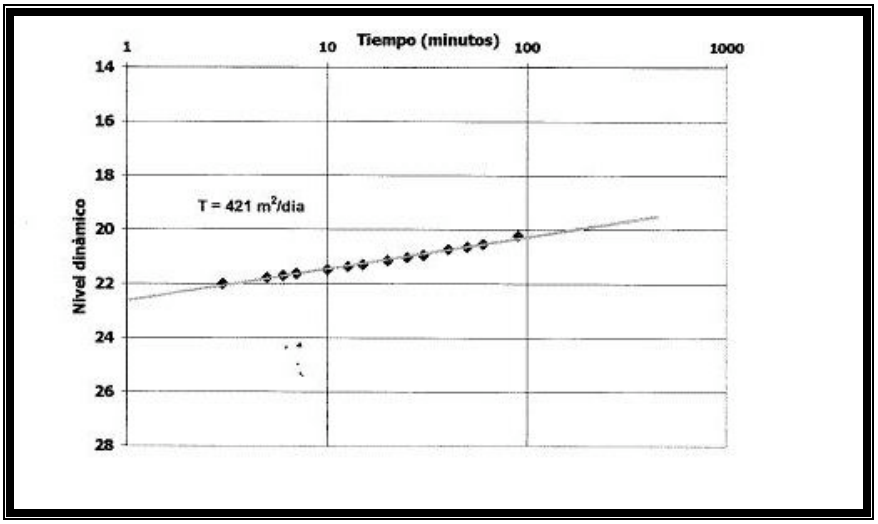


Fig. 36. Ensayo de recuperación del pozo Santa Bárbara. TAHAL(2001).

Analizando los resultados de los parámetros hidrogeológicos, obtenido de los pozos, se puede establecer que las transmisibilidades, oscilan entre medias y alta, a partir de la cual se puede estimar, que la permeabilidad de los cuerpos sedimentarios varía, lo que reflejaría que el medio permeable es anisotrópico, factor a ser considerado en una posterior simulación o modelo matemático.

3.6. RECARGA Y DESCARGA

A partir del hecho de que el escurrimiento total subterráneo del acuífero, es igual al caudal de la recarga natural que tiene lugar sobre el terreno, se puede afirmar que los acuíferos presentes en el área, se caracterizan por ser recargados en los periodos de invierno (Tabla 38), por los río Tuy, Guapo, Chico y San José, comportándose en la llanura costera como drenajes efluentes, y en el periodo de

estiaje como influentes; además por infiltración directa y flujo lateral proveniente del oeste, norte y sur de las cuencas tanto del Tuy como de San José-Guapo (Anexo 5).

Sobre la base de la dirección de las líneas de flujo (Anexo 5), se observa que la descarga es hacia la línea de costa y la Laguna de Tacarigua.

3.7.- UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

A partir de la caracterización de las muestras de ripio del pozo Sara V y de la reinterpretación de los registro eléctrico, así como de las columnas litoestratigráficas, obtenidos de los Pozos Sara I, III ,IV ,V, Santa Bárbara, Cazaña, BPO-3, BPO-4 y BPO-5, y de las unidades geoeléctricas mencionadas en la geofísica local, se definieron cuatro (4) unidades hidrogeológicas informales, designadas con las nomenclatura UHB_1, UHB_2, UHB_3 y UHB_4, las cuales se describen a continuación:

Unidad UHB_1: se caracteriza por se una unidad de malas condiciones acuíferas (impermeable), conformada por arcillas y limos, observándose en el pozo Sara III , ver anexos 4 y 8; su espesor es indeterminado, y está posiblemente asociada a acuicludos,.

Cabe destacar que los sondeos eléctricos verticales (SEV), muestran para esta unidad, resistividades observadas que oscilan entre 3 y 7 (ohm*m), la cual entra dentro de los parámetros teóricos (2 – 20 ohm*m), ver tabla 40.

Medio (Agua/Roca)	Resistividad (ohm.m)
Agua de mar	0,2
Agua de acuíferos aluviales	10 - 30
Agua de fuentes	50 - 500
Arenas y gravas secas	1000 - 10000
Arenas y gravas con agua dulce	50 - 500
Arenas y gravas con agua salada	0.5 – 5
Arcillas	2 – 20
Margas	20 – 100
Calizas	300 - 10000
Areniscas arcillosas	50 - 300
Areniscas cuarcitas	300 – 10000
Cineritas, tobas volcánicas	20- 100
Lavas	300 - 10000
Esquistos gráfitosos	0.5 – 5
Esquistos arcillosos o Alterados	100-300
Esquistos sanos	3000- 3000
Gneis, granitos alterados	100 - 1000
Gnesi, granitos sanos	1000 – 10000

Tabla 40. Muestra los valores de resistividad teórica, ASTIER (1975).

Unidad UHB$_2$: esta unidad se definió como una unidad de buenas condiciones acuíferas (permeable), constituidas por arenas y gravas alternadas con limos y arcillas, observándose en los pozos Sara I, II-IV, III, V, Santa Bárbara, Cazaña, BPO-3, 4 y 5, ver columnas y anexo 4 y 8, con un espesor que se encuentra entre los 35 y los 97 m. Su resistividad medida se ubica entre 12 y 80 (ohm*m), la cual tiende a ajustarse a los valores teóricos que van de 50 a 500 (ohm*m). (Tabla 42). Se puede establecer como la unidad constituida por acuíferos.

Unidad UHB$_3$: está representada por ser una unidad impermeable conformada por arcillas y limos, señalada en los pozos Sara III, V, Cazaña, BPO-5 y 4 (columnas y anexo 4 y 8), con un espesor que va de 7 a 95 m. Su resistividad

observada se establece entre 2,2 y 4,2 ohm*m, tendiendo a ubicarse en los valores teóricos que oscilan entre 2 y 20 ohm*m. Se puede asociar a un acuicludo.

Unidad UHB_4: ésta se caracteriza por ser una unidad de condiciones acuíferas si se encuentra por debajo del nivel estático (permeable). Esta presenta una litología conformada por arenas y limos, observándose en los pozos Sara I, II-IV, III, V, Santa Bárbara, BPO-4 y Cazaña (anexos 4 y 8, y columnas), con un espesor que va de 2 a 37 m. La resistividad observada oscila entre 10 y 1000 ohm*m, tendiendo a ubicarse en los valores teóricos que se encuentran entre 2 y 1000 (ohm*m). (Tabla 42). Por tal motivo se puede considerar como acuífero si se encuentra debajo del nivel freático**.**

Cabe destacar, que la geometría de los acuíferos queda definida por el espesor de estas 4 unidades, los perfiles geoeléctricos y columnas litoestratigráficas antes mencionados. (Anexo 4 y 8)

3.8.- BASE DE DATOS PARA POSIBLES SIMULACIONES MATEMÁTICAS

A partir de la obtención de datos, tales como: identificación del pozo, ubicación, nivel estático (N.E.), nivel dinámico (N.D), caudal (Q), profundidad de perforación, conductividad eléctrica (Conduc), total de sólidos disueltos (TSD), pH, estado operativo, porcentaje de sedimentos, porosidad teórica, permeabilidad, precipitación y evapotranspiración potencial, caudal de fondo de los ríos (Qf), así como también los espesores de las capas permeables, definidas en las columnas, se puede generar una base de datos que permita realizar posteriores simulaciones matemáticas del comportamiento hidráulico, como lo muestran los anexos 26 y 27 respectivamente.

Sin embargo, cabe destacar que no todos los datos, antes mencionados están completos, ya que algunos no existen y otros, como el caudal de fondo de los ríos, hay que obtenerlos a través de mediciones que son competencia de hidrometeorólogos.

CAPÍTULO IV
4.- ANÁLISIS ECONÓMICO

La empresa HIDROCAPITAL, es una compañía que presta servicios para mejorar la calidad de vida de la Región Capital. Por ser ésta una empresa generadora de servicios, recurre al análisis de proyectos y sus diferentes alternativas, tomando en cuenta los costos y la rentabilidad que los mismos generen a corto, mediano y largo plazo, con la finalidad de ejecutar el proyecto que mejor se adecue a las necesidades de la sociedad.

Siguiendo con la idea expresada anteriormente, en este capítulo se enfatizará en la comparación de los costos generados por el consumo de sustancias potabilizadoras de agua, la rentabilidad en producción y el uso en conjunto de la Represa El Guapo con respecto a la red de pozos. Sin embargo es importante destacar las limitaciones que se presentaron para su desarrollo.

En primer lugar, la empresa HIDROCAPITAL no pudo facilitar la información necesaria vinculada al área de operaciones de la Represa el Guapo y los pozos; es decir, los gastos vinculados a: consumo energético, maquinaria (sistema de bombeo), tableros eléctricos, cambio de bombas, filtros, válvulas de seguridad, unidades de floculación, sistemas de postcloración, cuanto cuesta producir en el caso de la represa un litro de agua y lo mismo para los pozos, etc. La información facilitada por medio del Departamento de Tratamiento de agua consistió de: los gastos asociados a desfloculantes y bombonas de 907.17 Kg de gas cloro para la Represa el Guapo, y el uso de bombonas de gas cloro de 68 Kg para la red de pozos pertenecientes al sistema Barlovento.

Todos los datos mencionados anteriormente son necesarios para poder realizar una proyección económica confiable, y poder así determinar la rentabilidad de los

proyectos. Esto trae como consecuencia, que el proyecto sólo sea evaluado en función de los costos generados en la planta de tratamiento de agua, por insumo consumido.

Como es bien sabido, el gasto que genera una represa es muy alto, puestos que son infraestructuras de gran envergadura, y presentan una alta demanda de energía eléctrica que permita el funcionamiento óptimo de los sistema de bombeo, turbinas, plantas de tratamiento de agua, etc. También son altamente costosos por mantenimiento, el consumo de productos químicos es elevado, entre otros, en comparación con los gastos que puede generar una red de diez (10) pozos, ya que estos últimos en conjunto no generan costos tan elevados, como en el caso de las represas.

Teniendo esto como premisa, a continuación se describen las cantidades consumidas en sustancias químicas mensualmente y anualmente, tanto en la represa como en los pozos:

La Represa El Guapo utiliza dos tipos de insumos: sulfato de aluminio sólido por kilo y bombonas de gas claro de 907.17 Kg (2000lbs); la tabla 41 muestra el consumo mensual entre 1993 y 1999. Los pozos que pertenecen al plan de emergencia del Sistema Barlovento sólo utilizan bombas de gas cloro de 68 kg (150lbs); la tabla 42 muestra el consumo mensual y anual de cada pozo.

Mes	cantidad de sulfato de aluminio por año(Kg)						
	93	94	95	96	97	98	99
Enero	170.724	88.000	0	0	186.110	53.681	178.394
Febrero	140.153	35.800	0	0	106.653	0	138.049
Marzo	70.000	11.400	0	0	25.056	0	140.495
Abril	159.987	5.400	0	0	0	0	197.140
Mayo	158.292	8.900	0	6.000	0	0	159.231
Junio	146.505	11.000	0	0	0	4.838	128.734
Julio	137.961	13.800	0	378	0	0	134.572
Agosto	168.234	45.900	0	140.512	0	0	184.293
Septiembre	177.848	108.000	46.400	142.790	0	22.910	174.519
Octubre	147.745	49.000	0	147.219	2.304	178.040	175.263
Noviembre	147.745	2.800	39.800	150.125	136.872	185.137	161.748
Diciembre	147.745	21.000	0	201.290	149.589	197.881	106.550
Total	1.772.939	401.000	86.200	788.314	606.584	642.487	1.878.988

Tabla 41. Consumo mensual de sulfato de aluminio (en kg) utilizado en la represa,. Fuente HIDROCAPITAL (2005).

F U E N T E D E PRODCCIÓN	DESCARGA l/s	SUSTANCIA QUÍMICA	CONSUMO (Kg / Días)	DURACIÓN (Días)	CANTIDAD POR POZO MENSUAL	CANTIDAD POR POZO ANUAL
SARA I	90	bombonas de gas cloro 68 kg	11.35	5	6	72
SARA IV	55	bombonas de gas cloro 68 kg	11.35	5	6	72
SARA III	55	bombonas de gas cloro 68 kg	11.35	5	6	72
POZO QDA. OCHOA I	15	bombonas de gas cloro 68 kg	1.44	47	(2/3)	8
POZO QDA. OCHOA II	18	bombonas de gas cloro 68 kg	4,6	15	2	24
SANTA BARABARA II	22	bombonas de gas cloro 68 kg	9	7,5	4	48
POZO CUPIRA	15	bombonas de gas cloro 68 kg	9	8	4	48
PUNTA SOTILLO	8	bombonas de gas cloro 68 kg	12	5	4	48
POZO PALMARITO	7	bombonas de gas cloro 68 kg	1.8	38	1	12
POZO SAN JUAN I	20	bombonas de gas cloro 68 kg	2	30	1	12
POZO SAN JUAN IV	25	bombonas de gas cloro 68 kg	1.8	38	1	12

Tabla 42. Consumo mensual y anual de bombonas de gas cloro en los 11 pozos que conforman el Sistema Barlovento. Fuente HIDROCAPITAL, (2005).

Para poder realizar las proyecciones económicas en insumos químicos, es necesario considerar la siguiente información que ha sido desglosada de la siguiente manera:

- Costo de insumos para la planta de tratamiento perteneciente a la Represa el Guapo hasta el año 1999, antes de su colapso; ver tablas 43 y 44:, a continuación:

Año	93	94	95	96	97	98	99
(Bs/kg) promedio	16,50	24,73	33,09	70,71	78,25	87,99	101,57

Tabla 43. Valor promedio del Kg de sulfato de aluminio sólido. Fuente HIDROCAPITAL, 2005.

Año	93	94	95	96	97	98	99	2000	2001	2002	2003
2000 lbs (Bs/Kg) promedio	26,85	38,15	46,59	93,9	178,32	242,55	256,43	285,3	330,3	383,09	512,79

Tabla 44. Valor promedio del Kg de gas cloro. Fuente HIDROCAPITAL, 2005

- Costos de insumos para la red de pozos, ver tabla 45:

Año	97	98	99	2000	2001	2002	2003
68 kg(Bs/Kg) promedio	421,53	580,00	738,46	754,33	765,66	858,67	1144,88

Tabla 45. Costo promedio para bombonas de gas cloro de 68Kg

Luego de conocer los costos por kg de cada insumo, se procedió a realizar los cálculos financieros para cada caso.

1. Para ello se construyeron dos figuras, las cuales fueron descritas en el capitulo I, donde se ha representando la línea en el tiempo hasta el año 2016, lo que representa el período de evaluación de los pozos y de la represa, partiendo del año actual.

2. Se sumó la cantidad utilizada requerida por año en sulfato de aluminio y gas cloro para la represa y luego se multiplicó por su valor en bolívares, para tener el valor de la cuota por año respectivamente. La tabla 46 muestra el gasto realizado por esos conceptos para cada año, desde 1993 hasta 1999, así como también los gastos trasladados al año 2006 a una tasa de interés de 29%.

INSUMO/AÑOS	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Sulfato de aluminio	29.253.494	9.916.730	2.852.358	55.741.683	47.465.198	56.532.431	190.848.811
gas cloro 2000 lbs	5.475	6.685	7.708	18.095	46.742	71.791	104.905
Total Nominal (Bs)	29.258.969	9.923.415	2.860.066	55.759.778	47.511.940	56.604.223	190.953.716
Total Bs. (Trasladados al año 2006 con una tasa de interés de 29%)	801.540.089	210.735.491	47.082.860	711.570.832	470.013.306	434.076.737	1.135.157.405

Tabla 46: Gasto anual por consumo de sulfato de aluminio y gas cloro para la represa.

3. El promedio anual de esos gastos trasladados al 2006 alcanza un monto de Bs. 544.310.960 de bolívares, siempre usando una tasa de interés de 29%.

4. El mismo procedimiento se realizó con los pozos, con la única diferencia de que los años de análisis eran diferentes, El monto promedio de esos gastos trasladados al 2006 alcanza un monto de Bs. 7.856.568, usando la misma tasa de interés de 29%. La tabla 47 muestra los valores en detalle. Todo lo anterior se realizó a fin de tener una base común de comparación financiera.

Año	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
68 kg(Bs/Kg) promedio	421,53	580	738,46	754,33	765,66	858,67	1144,88
Gasto Anual	180.414,84	248.240,00	316.060,88	322.853,24	327.702,48	367.510,76	490.008,64
Total Bs. (Trasladados al año 2006 con una tasa de interés de 29%)	1.784.759	1.903.660	1.878.879	1.487.796	1.170.653	1.017.721	1.051.896

Tabla 47: valor total anual por el factor de monto compusto a una tasa de interes del 29%

Una proyección de esos gastos hasta el 2016, muestra que los gastos por tratamiento de agua ascienden a Bs. 2,5 Millardos, aproximadamente, para la represa y a 62,5 Millones para los pozos, tomando en cuenta que la producción anual hasta

1999, antes de su colapso, fue de 33.617 Millones de litros, y conociendo también que los 11 pozos del Sistema Barlovento poseen una producción anual de 10.406 Millones de litros, se puede deducir lo siguiente:

Para que cubran la demanda que abastecía la represa, deben incrementar en 3,23 veces su capacidad, lo que llevaría sus costos por tratamiento de aguas a 4,75 Millones anuales de bolívares, bastante por debajo de los 544,31 Millones de bolívares por el mismo concepto en la represa.

Es necesario acotar, que esta comparación se realizó solo con los datos de insumo proporcionados por la empresa HIDROCAPITAL. Por otro lado, el análisis no contempla la inflación, la cual podría incidir de manera diferente en cada insumo.

Este resultado comprueba la idea expresada anteriormente, y permite además sugerir el beneficio que traería usar la red pozos conjuntamente con la represa. De esta manera seria provechoso, ya que al igualar la productividad de los pozos a la de la represa, estos se podrían utilizar a su mayor capacidad, y así poder abastecer a la comunidad cuando los niveles de agua de la represa bajen, bien sea por un periodo de sequía largo, porque la recarga de este merme, o sencillamente por situaciones como la ocurrida en diciembre de 1999. En la actualidad la red de pozos funciona con una capacidad menor al propuesto en este trabajo y son los que cubren las necesidades básicas de la población.

CONCLUSIONES

- Tomando en consideración los registros eléctricos, sondeos eléctricos verticales (S.E.V.) y columnas litoestratigráficas, se definieron en el área de estudio, dos unidades hidrogeológicas impermeables UHB_1 y UHB_3, y dos permeables UHB_4 y UHB_2; siendo UHB_2 de gran importancia por presentar un espesor que varía entre los 37 y 95 m, de características anisotrópicas, conformada por acuíferos confinados, y UHB_4 de buenas condiciones acuíferas si se encuentra por debajo de los niveles estáticos, cuyo espesor oscila ente los 2 y 37 m.

- Los materiales que constituyen los acuíferos están constituidos, desde el punto de vista mineralógico, aproximadamente por un 55% de cuarzo, 13% de filosilicatos (clorita, muscovita, sericita y biotita), 15% de fragmentos de rocas metamórficas (esquistos anfibolitas y gneis), 1,2% de fragmentos de rocas sedimentarias (clásticas y no clásticas), 9,1% de feldespatos potásicos y sódicos, 2% de chert, 3,8% de minerales pesados (ilmenita, hematita, magnetita y posiblemente oro) y 0,8% de siderita. Siendo la fuente de estos minerales y fragmentos de rocas, las formaciones ígneas-metamórficas y sedimentarias que rodean a la cuenca.

- Tomando en consideración los niveles estáticos de los pozos de Hidrocapital (2001-2005) y los provenientes del MARNR (2004), se infirieron las izopiezas para el periodo 2001 a 2005. observándose en el mapa hidrogeológico, que las izopiezas de 5 y 10 m con respecto a la superficie, han progradado hacia la costa en la zona noroeste del área de estudios, es decir la zona ubicada en las cercanías de rió Chico – Los Galpones, a diferencia de la zona noreste, donde estas tienden a retrogradar. Esto implica

que la cuña o pluma salina a retrogradado hacia el continente en la zona noroeste y progradado hacia el noreste.

- La caracterización de las muestras de ripio obtenidas del pozo Sara V, reflejaron un 19.79% (±15% de error), de lodo bentonítico, lo que influyó en los resultados obtenidos, a partir de la caracterización y por ende la interpretación correcta del modelo sedimentológico.

- Se estima que el ambiente sedimentario al cual están asociados los acuíferos, es fluvial anastomosado, a pesar de la pobre información litológica recopilada de los pozos y la poca presencia de estos en el área, impidiendo la elaboración de mapas de facies y de porcentaje litológico en el sentido estricto, que soporten la interpretación ambiental; por lo que se planteó la realización de un perfil A –B, de la distribución litológica de los pozos ubicados, entre los ríos Tuy y Guapo, para establecer la distribución de los cuerpos sedimentarios en subsuelo, y un mapa de porcentaje de distribución litológica puntual por cada pozo, para dar una idea de la distribución de los sedimentos presentes en el área.

- Por estar asociados los acuíferos a un ambiente fluvial, la variación en el régimen de sedimentación es muy marcada, generando como consecuencia cambios laterales, verticales, que influyen en la continuidad de los acuíferos y en su conexión hidráulica.

- También se concluye, que las muestras de ripios no son confiables para establecer tope y base de una formación, ni para establecer una caracterización sedimentológica y estratigráfica confiable, tal como se observa en la muestra 51, donde el tamizado arrojó arenas de grano medio a grueso y el registro de rayos gamma refleja arcillas, igual pasa con la muestra 93, pero

a la inversa, en donde los ripios revelan a una arcilla, el registro arroja que corresponde a una grava.

- Se logró recopilar un 70% de la data necesaria para la elaboración de un modelo matemático o simulado.

- En cuanto al aspecto económico, considerando los costos en sustancias potabilizadora, se determinó que incrementando la producción de los pozos en 3,23 veces se alcanzaría la capacidad de la represa, y se ahorraría mucho dinero en potabilización

RECOMENDACIONES

- Ampliar la red de pozos de observación en el área de estudio, para la determinación de los parámetros hidráulicos como coeficiente de almacenamiento, radio de influencia, eficiencia de los pozos de bombeo, además de la transmisibilidad; así como en cuya ejecución se lleve un control más estricto en lo referente a la recuperación de testigos del subsuelo, con el objeto de definir litología, parámetros sedimentológicos y características estratigráficas presente en el área, y por ende establecer los potenciales acuíferos. Tales tomas de testigos deberán concatenarse con los correspondientes registros eléctricos.

- Reactivar la red de monitoreo hidrológico e hidrometeorológico con el objeto de obtener datos de precipitación, evapotraspiración y por ende balances hídrico actualizados, así como la mediciones de caudal de fondo de los ríos presentes en la zona de estudio (Tuy, Guapo, San José y Chico), que permitirán realizar una simulación matemática de los acuíferos, ajustado a la realidad.

- Realizar un estudio económico más detallado, tomando en consideración todas las variables que intervienen en la generación de costos, como consumo eléctrico, mantenimiento, personal, tratamiento, etc.

- Realizar estudios geofísicos de mejor resolución, como sísmica 3D, a demás de la realización de sondeos eléctricos verticales, con el objetivo de definir geométricamente los cuerpos sedimentarios presentes en el área, caracterizados por ser potenciales acuíferos.

- Realizar simulaciones a través de modelos matemáticos del comportamiento hidráulico de los acuíferos, con el propósito de establecer un mejor aprovechamiento de estos.

- Perforar en un rango comprendido entre los 37 y 97 m de profundidad, dentro del área estudiada.

- Realizar un estudio de calidad de agua (para determinar la bacteriología presente), para descartar si río Tuy recarga a los acuíferos presentes en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, G. & SEGURA, F. (1987). *Sedimentología de los depósitos clásticos*. Caracas: Corpoven & Total. 131 p.

ALVARADO, J., FUENTES, P. Y JULIO, M. (1982). *Diagnostico hidrogeológico de la región de Barlovento.* MARNR, Dirección de Hidrogeología. Caracas. Informe técnico DGSIIA / IT / 116. 93p.

ANDREWS, P.(1930). *A geological reconnaissance of eastern Miranda***.** Venezuela, S. A. Informe inédito, Richmont Petroleum Co., Archivos LAGOVEN. Informe 2100.11- 1.

ASTIER, J. (1975). *Geofísica aplicada a la hidrogeología*. Madrid: PARANINFO. 343 p.

AUDEMARD, F.(2002). *Syn- sedimentary extensional tectonics in the River Tuy Basin northern Venezuela : implications on basin genesis southern Caribbean geodynamics.* Men. XI Congr. Vnezuela de geofísica, Caracas, disco compacto.

AUDEMARD, F. & GIRALDO, C. (1997). *Desplazamientos dextrales a lo largo de la frontera meridional de la placa Caribe, Venezuela septentrional***.** VII Congreso Geológico Venezolano, Porlomar, 1:101-108.

BERMÚDEZ, P. (1966). *Consideraciones sobre los sedimentos del mioceno medio a reciente de la Costa Central y Oriental de Venezuela*. Boletín Geológico, Caracas 7 (14): 333 – 441.

BLANCO, B & GIRALDO, C. (1992). *Síntesis Tectóno – Estratigráfico de la cuenca Tuy – Cariaco y plataforma externa***.** Mem. VI Congreso Venezolano de Geofísica,Caracas, II: 47 – 51.

CORRALES, Z., SANUY, J., SÁNCHEZ DE LA T., L., VERA, J. & VILAS, M. (1977). *Estratigrafía*, Editorial Rueda, Madrid: 718 p.

CREOLE PETROLEUM CORPORATION (1976). *Manual de facies clásticas*. U.S.A.: Swanson, D.

DÍAZ, A. (1999). *Manual de hidrogeología*. Trabajo no publicado, Universidad central de Venezuela, Caracas.

DÍAZ, I. (1982). *Geología del Mioceno – Plioceno en el flanco sur de la cordillera de la costa, entre Mesa de Urape (SW) y Cabo Codera (NE), NE del estado Miranda* UCV**.** Departamento de Geología, trabajo Especial de Grado. Inédito. 392 p.

DÍAZ, M. (1984). *Sedimentación fluvial*. Ciclo de seminarios de sedimentología. (pp. 27-94). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

DUSENBURY, A. (1956). *Aramina, Formación. Léxico Estratigráfico de Venezuela*, 1ra. Ed., *Bol. Geol.*, Publ, Esp. I:78-79.

ESPINOLA, E & OLLARVES, R. (2002). *Estudio Tectóno – Estratigráfico del Borde* Septentrional de la Cuenca de Barlovento, estado Miranda : Implicaciones *Neotectónicas.* Trabajo Especial de Grado**.** 240 p. UCV. Dpto. de Geología.

FEO-CODECIDO, G. (1962). Contribución a la geología de Venezuela nor-central. *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petrol., Bol. Inform.,* 5(5): 119-142 p.

FLORES, A. (2000). *Ciclo hidrológico*. Trabajo no publicado. Caracas.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE A. & PICARD, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas.* Caracas, ediciones Foninves, 2 tomos, 1021p.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L., y otros (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid, España Prentice Hall. 715 p.

HERRERA, L. (2001). *Modelos de aguas subterráneas*. Trabajo no publicado. Caracas.

JOHNSON, S. (1975). *El agua subterránea y los pozos.* Publicado por Wheelabrator Clean Water Inc. St. Paul, MN55164.

JULIO, M. (19891). *Prospección geoléctrica de aguas subterráneas en la región de BarLovento.* MARNR. Caracas, Venezuela. 19 p.

KRUMBEIN, W. (1963). *Stratigraphy and sedimentation*. 2da. ed. U.S.A.: W.H. Freeman and Co. 660 p.

MACSOTAY, O., PERAZA, T. & WEHRMANN, M. (1995). *Grupo Cubagua: Ciclo molásico marino (III) de edad Mioceno Tardío-Plioceno Temprano de Venezuela nororiental*. Bol. Geol., Caracas, Publ. Esp. 10: 164-176.

MARNR (1981). *Esquema de Ordnamiento del Litoral Barloventeño***.** Caracas: 193 p.

MÉNDEZ, J., SCHERER. W. (1997). *Tabla de correlación del Cuaternario en Venezuela.Mem. VIII Congreso Geológico Venezolano*, Caracas, 2: 107-113.

MENCHER, E., FICHTER, J.H., RENZ, H.H., WALLIS, W.E., PATTERSON, J.M. and ROBIE, R.H. (1951). *Geological review*, chapter I, p. 1-75, in Text of papers presented at the National Petroleum Convention, Technical Office of Hydrocarbons, Ministry of Mines and Hydrocarbons, Caracas, Venezuela.

NAVARRO, L. (1999). *Manual de laboratorio de sedimentología*. Trabajo no publicado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

PATRICK, H. (1959). *Nomenclatura del Pleistoceno en la Cuenca de Cariaco*. Bol. Geol., Caracas, 5(10): 91-97.

PETTIJOHN, F., POTTER, P. & SIEVER, R. (1987). *Sand and sandstone*. New York, U.S.A. Springer-Verlag. 553 p.

RAMOS, C. (1977). *Geología de la región de Curiepe – Birongo. Estado Miranda*. UCV, Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.

R.G.R. INGENIERIA C.A, (2000). *Evaluación hidrogeológica sector la Troja – San Juan San José de Río Chico – Barlovento. Estado Miranda.* Caracas. 50p.

SÁNCHEZ, F. (1976). *Segundo informe sobre el estudio geoléctrico en Higuerote, Estado Miranda.* MOP, Dirección de Hidrogeología. Caracas. Venezuela. 5p.

SÁNCHEZ, F. (2000). *Prospección geoeléctrica de aguas subterráneas en las cercanías de Sta. Barbara – Rio Chico Higuerote, Barlovento.* Estado Miranda. Caracas. Venezuela. 9 p.

SANDOVAL, M. (2000). *Diagénesis de areniscas*. Caracas: Universidad Central de Venezuela. 413 p.

SCHOCH, R. (1989). *Stratigraphy principles and methods*. New York: VAN NOSTRAND REINHOLD 365 p.

SEIDERS, V. (1965). *Geología de Miranda central*. Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 6(12): 289-416.

SPENA, F. (1977). *Geología de la zona de Birongo – Capaya*. Estado Miranda, UCV.Dpto. de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito. 299 p.

TAHAL. (2001). *Plan de emergencia y estudio de prefactibilidad para el sistema de Barlovento.* Estado Miranda. Venezuela. 100 p.

THORNE, C., BATHURST, J. & HEY, R. (1987). *Sediment transport in gravel-bed rivers*. Great Britain: 989 p.

URBANI, F. (2000). *Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa*. Venezuela. GEOS, Caracas 33: 1-170 pp.

YOUNG, G. A., BELLIZIA, A., RENZ, H., JOHNSON, F., ROBIE, R. y MASVALL, J., (1956). *Geología de las cuencas sedimentarias de Venezuela y de sus campos petrolíferos*. Bol. Geol., Caracas, Publ. Esp. N° 2, 140 p.

ZAMBRANO, A. (19 *Estudio fisiográfico regional de la cuenca del Tuy.* Bol. Geol., Caracas 11(21): 3-206 pp.