

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ABASTECIMIENTO Y UTILIZACIÓN
DE AGUA EN LA INSTITUCION EDUCATIVA TECNICO AGROPECUARIA DE
FLOR DEL MONTE, ZONA RURAL ORIENTAL DE OVEJAS SUCRE.

GENNY ROSA BOHORQUEZ PETRO

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SINCELEJO
2010

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ABASTECIMIENTO Y UTILIZACIÓN
DE AGUA EN LA INSTITUCION EDUCATIVA TECNICO AGROPECUARIA DE
FLOR DEL MONTE, ZONA RURAL ORIENTAL DE OVEJAS SUCRE.

GENNY ROSA BOHORQUEZ PETRO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director
GUILLERMO GUTIERREZ RIBON
Ingeniero Civil MSc Ciencias Ambientales

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SINCELEJO
2010

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Sincelejo, _____

“El texto no se sostiene solo, no lleva su propio significado sobre sus hombros, necesita estar situado en un contexto, está cargado de teoría, su interpretación esta en un flujo continuo, y las presuposiciones están tan activas aquí como en cualquier otro lugar en el campo del entendimiento”

Benazir Bhutto

“Únicamente los autores son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo”

A Dios por darme fortaleza y virtud en todos los proyecto de mi vida.

A mis padres por ser mi apoyo y estar a mi lado en esto camino de la vida de manera permanente.

A mis hermanos que en su corta experiencia me han apoyado y respaldado grandemente.

A Guillermo Gutiérrez por emprender a mi lado este proyecto y sumar sus experiencias para llevarlo a cabo.

Y a todas aquellas personas de Flor del Monte y en general que con su apoyo me colaboraron para llevar a cabo este proyecto.

AGRADECIMEINTOS

El Autor expresa su gratitud por la valiosa y oportuna colaboración con apoyo logístico y/o asesorías, a las personas mencionadas a continuación:

Al cuerpo de profesores del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Sucre.

Al Señor Rector, al Coordinador Académico y a los estudiantes de 10° del año 2009 de la Institución Educativa Técnico Agropecuaria Flor del Monte.

A la División de Agua Subterránea de la Corporación Autónoma Regional de Sucre.

Al Director y a los Funcionarios del Centro de Laboratorios de la Universidad de Sucre.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
1.0 OBJETIVOS	25
1.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
2. ESTADO DEL ARTE	26
2.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS	26
2.1.1. Importancia de las aguas subterráneas en el suministro de agua potable	26
2.1.1.1 Ocurrencia del agua subterránea	27
2.1.1.2 Movimiento del agua subterránea	31
2.1.2 Antecedentes de investigación	39
3. MATERIALES Y METODOS	41
3.1 REVISAR LA DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA ANTECEDENTE	41
3.2 EVALUAR EN CAMPO LA PRODUCCIÓN INSTALADA DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO, EL ESTADO FÍSICO DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN, Y EL ESTADO DE LA RED INTRADOMICILIARIA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA.	42
3.2.1 Método de aproximación de análisis de prueba a caudal constante, con información de un solo punto	42
3.2.1.1 Caracterización de los Acuíferos.	42
3.2.1.2 Procedimiento a utilizar para el cálculo de las propiedades	44

hidrogeológicas	
3.2.1.3 Cálculo de las propiedades hidrogeológicas asociadas a T_D y T_T	48
3.2.2 Procedimientos para la Evaluación de la conducción, distribución y almacenamientos en el sistema de acueducto	49
3.3 REALIZAR LOS ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS GENERALES DEL PROYECTO INCLUIDA LA SEDE PRINCIPAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA	49
3.4 ANALIZAR ESTUDIOS HIDROMETEOROLÓGICOS, A NIVEL REGIONAL Y LOCAL, PARA DETERMINAR LA PRECIPITACIÓN, LA EVAPOTRANSPIRACIÓN, LOS CAUDALES DE ESCORRENTÍAS Y LA CAPACIDAD POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS.	50
3.5 ESTABLECER LAS CONDICIONES DE CALIDAD Y DE CANTIDAD TANTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA CAPTADA COMO DE LAS AGUAS LLUVIAS LOCALES, EN LA COMUNIDAD Y EN LA IETA FLOR DEL MONTE	50
3.5.1 Condiciones de calidad del agua de abastecimiento.	50
3.5.2 Condiciones de cantidad en aguas lluvias y de agua subterránea en el proyecto.	51
3.5.2.1 Aguas Lluvias	51
3.5.2.2 Procedimiento para calcular el Caudal máximo a extraer de un pozo	51
4. RESULTADOS	57
4.1 DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	57
4.2. DE LA EVALUACIÓN EN CAMPO DE LA PRODUCCIÓN INSTALADA DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO, EL ESTADO FÍSICO E DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN, Y EL ESTADO DE LA RED INTRADOMICILIARIA DE LA IETA.	59
4.2.1. Fuente de abastecimiento. Memoria de Cálculos	59

4.2.2. Infraestructura de conducción, almacenamiento, distribución e instalaciones intradomiciliaria de la comunidad y de la IETA.	70
4.2.2.1 Proyección de la población	70
4.2.2.2 Definición del nivel de complejidad	71
4.2.2.3 Estudio de la demanda	72
4.2.2.4 Evaluación de la red de distribución del sistema de acueducto	78
4.2.2.5 Evaluación de la red de distribución del sistema de acueducto	83
4.2.2.6 Evaluación de las instalaciones intradomiciliaria de la comunidad y de la IETA Flor del Monte	85
4.3 DE LOS ESTUDIOS TOPOGRAFICOS GENERALES DEL PROYECTO	87
4.4 DE LOS ESTUDIOS HIDROMETEOROLOGICOS	88
4.5 DE ESTABLECER LAS CONDICIONES DE CANTIDAD Y DE CALIDAD TANTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO LOCALES	90
4.5.1 Condiciones de calidad del agua de abastecimiento	90
4.5.2 Del estudio de las Condiciones de cantidad en aguas lluvias y de agua subterránea en el proyecto.	92
4.5.2.1 Aguas Lluvias en la IETA	92
4.5.2.2 Agua subterránea para la comunidad	92
5. ANALISIS DE RESULTADOS	93
5.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	93
5.2 EVALUACIÓN DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO, CONDUCCIÓN, RED DE DISTRIBUCIÓN E INSTALACIONES INTRADOMICILIARIAS.	93
5.2.1 Evaluación de la fuente de abastecimiento	93
5.2.2 Evaluación de la línea de conducción	94

5.2.3 Evaluación de la red de distribución	94
5.2.4 Evaluación de las instalaciones intradomiciliaria de la comunidad y de la IETA Flor del Monte.	95
5.2.5. Condiciones de Calidad y de Cantidad del agua subterránea y de las aguas lluvias locales	95
5.2.5.1 Calidad del agua subterránea de abastecimiento	95
5.2.5.2 Captación de aguas lluvias en la IETA	96
5.2.5.3 Cantidad de agua subterránea para la comunidad	96
6. CONCLUSIONES	97
7. RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFIA	99
ANEXOS (CD)	

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Ubicación geográfica de las principales instalaciones y edificaciones del corregimiento.	23
Tabla 2. Características de porosidad de las rocas sedimentarias no consolidadas.	33
Tabla 3. Velocidades efectivas del agua en acuíferos	34
Tabla 4. Conductividad hidráulica en rocas sedimentarias	36
Tabla 5. Clasificación de los sedimentos según la conductividad hidráulica	36
Tabla 6. Caracterización de los acuíferos	43
Tabla 7. Columna litológica de la estratigrafía del pozo 45 – I – C – PP - 01 de Flor del Monte - Ovejas	59
Tabla 8. Proyección de la población del Corregimiento de Flor del Monte-Ovejas (SUCRE)	73
Tabla 9. Escenarios de población y demandas residenciales del Proyecto	74
Tabla 10. Escenarios de demandas institucionales del Proyecto	74
Tabla 11. Escenarios de caudales en la red de distribución del Proyecto	74
Tabla 12. Población actual de la IETA	75
Tabla 13. Inventario de aparatos sanitarios en la IETA	76
Tabla 14. Población actual de la Guardería	76
Tabla 15. Inventario de aparatos sanitarios en la Guardería	77
Tabla 16. Población actual de la Escuela Primaria	77
Tabla 17. Inventario de aparatos sanitarios en la Escuela	77

Tabla 18. Aforo de Caudales Derivados de la Conducción	78
Tabla 19. Cálculos Hidráulicos de la línea de conducción	81
Tabla 20. Calculo de EPANET en los ramales de la red principal	84
Tabla 21. Evaluación de las condiciones de abastecimiento	85
Tabla 22. Dotaciones año 2010 con Sectorización del servicio	86
Tabla 23. Calidad de las Aguas de Abastecimiento en Flor del Monte	91

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización de la zona de estudio	21
Figura 2. Distribución vertical del agua subterránea	28
Figura 3. Clases de acuíferos	30
Figura 4. Relación entre Acuíferos	30
Figura 5. Magnitudes características de un pozo y de un bombeo de un pozo	38
Figura 6 Abatimientos vs Tiempo de Bombeo	46
Figura 7. Abatimiento Lineal o Darciano S_D (m) vs Log t de bombeo	47
Figura 8. Curva de caudal – abatimiento en forma adimensional (adaptada de Schneebeli).	54
Figura 9. Diseño Técnico del Pozo 45-I-C-PP-01 de Flor del Monte - Ovejas	64
Figura 10. Abatimientos vs tiempo de bombeo	65
Figura 11. Distribución Estacional de la Precipitación Media Multianual	88
Figura 12. Balance Hídrico en el Área de Investigación	90

LISTA DE ANEXOS (CD)

Plano 1. Flor del Monte

Plano 2. Perfil de la línea de conducción

Cuadros 1. Detalles de topografía línea de conducción desde el pozo

Cuadros 2. Detalles de topografía línea de red de distribución

Cuadros 3. Detalles de topografía de la IETA

Cuadros 4. Detalles de topografía de la línea de Distribución de San Jose

Cuadros 5. Detalles de topografía de las Viviendas Rurales

Cuadros 6. Detalles de topografía de la línea de Distribución del sector céntrico de Flor del Monte

Cuadros 7. Cálculo de Cotas de la Línea de Conducción

Cuadros 8 Cálculo de Cotas de la red de Distribución

Cuadros 9. Línea De Conducción Desde El Pozo

Cuadros 10. Tramo nivelado de la Línea de Conducción

Cuadro 11. Formato de la Encuesta

GLOSARIO

ABATIMIENTO (S): Es la diferencia entre el nivel estático y el nivel dinámico durante el bombeo.

ACOMETIDA: Derivación de la red local de acueducto que llega hasta el registro de corte en el inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general.

ACUEDUCTO: Sistema de abastecimiento de agua para una población.

ACUÍFEROS: Son formaciones geológicas que ocupan la zona de saturación, son permeables y permiten el movimiento del agua en condiciones tales que hacen adecuada su explotación.

ACUIFUGOS: Son formaciones geológicas impermeables que no contienen agua.

ACUICIERRES: Son formaciones geológicas impermeables saturadas, pero no la transmiten, haciendo de este modo imposible su explotación.

ACUITARDOS: Son formaciones geológicas semipermeables que, conteniendo agua en gran cantidad, la transmiten muy lentamente, por lo que estas formaciones no resultan adecuadas para emplazar captaciones.

ACUÍFEROS CONFINADOS: Son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua a presión, confinadas entre capas o estratos impermeables o prácticamente impermeables (una inferior y otra superior).

ACUÍFERO LIBRE: Acuífero donde al agua se encuentra sometida a la presión atmosférica.

ÁREA DE INFLUENCIA: Es el área que abarca el pozo para suministrar el caudal extraído.

AGUA CRUDA: Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.

AGUA POTABLE: Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 2125 de 2007, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

AGUAS LLUVIAS: Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

ALMACENAMIENTO: (En sistemas de Acueducto): Acción destinada a almacenar un determinado volumen de agua para cubrir los picos horarios y la demanda contra incendios.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

BUZAMIENTO: Inclinación que presenta las capas que conforman una formación.

CAPACIDAD ESPECIFICA: Relación entre el caudal de explotación y el abatimiento de un pozo.

CAUDAL DE DISEÑO: Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

CAUDAL MÁXIMO DIARIO: Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

CAUDAL MÁXIMO HORARIO: Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

CAUDAL ESPECIFICO: Es el caudal aportado por unidad de abatimiento (Q/S_w).

CAUDAL ÓPTIMO: es el caudal que se debe extraer de un campo de pozos sin que se afecten las reservas del acuífero.

CAPTACIÓN: Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S): Puede definirse como la cantidad de agua que cede un prisma de acuífero de base cuadrada unitaria cuando se le deprime la unidad. Consecuentemente, no tiene dimensiones.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (K): La conductividad es el flujo de agua que atraviesa una sección unitaria de acuífero bajo la influencia de un gradiente unitario, a temperatura de campo. Representa la facilidad con que el medio deja pasar agua a través de él por unidad de área.

EFICIENCIA DEL POZO: Es la relación existente entre el abatimiento que se produce en la cara del pozo, S_p , y el que se produce dentro de la camisa del pozo, S_w , a causa de la resistencia adicional que introduce ésta última.

ESPESOR DEL ACUÍFERO: Es una medida de longitud que está limitada por el techo de acuífero y la base del mismo, que permite el paso del agua desde y a través del medio poroso hacia el pozo.

GRADIENTE HIDRÁULICO: Es la medida de la variación de presión con respecto a una unidad de medida de longitud.

FILTROS DEL POZO: Es la parte ranurada de la camisa del pozo que cumple la función de evitar el paso de partículas sólidas hacia el interior del pozo, garantizando sólo la entrada del agua.

NIVEL DINÁMICO (N. D): Es el nivel alcanzado por el agua dentro del pozo medido desde superficie bajo condiciones de bombeo.

NIVEL ESTÁTICO (N. E): Es el nivel del agua dentro del pozo medido desde superficie bajo condiciones estáticas.

NIVELES ACUÍFEROS: Son las capas o estratos de roca porosa, permeable y saturada de una formación acuífera.

PIEZÓMETRO O POZO DE OBSERVACIÓN: Es cada uno de los pozos en los cuales se toman las medidas de niveles estáticos y/o dinámicos durante una prueba de bombeo con el fin de determinar la curva de abatimiento del acuífero. Además sirven para la toma de muestras de agua para mantener el control de la calidad de la misma.

PRUEBAS DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE: Son aquellas pruebas de bombeo en las que el caudal se mantiene constante durante su ejecución.

RADIO DE INFLUENCIA: Es la distancia del centro del pozo hasta los límites del área de influencia, donde el abatimiento es cero.

RECURSOS DISPONIBLES: Representan el volumen total de agua expresada en forma de caudal que se podría extraer permanentemente a largo plazo del acuífero sin que se experimente una reducción en las reservas permanentes.

RECURSOS EXPLOTABLES: Es la cantidad de agua subterránea que puede obtenerse racionalmente desde el punto de vista técnico – económico en las obras de captación con la calidad que satisfaga los requisitos establecidos durante todo el tiempo calculado de utilización del agua.

RÉGIMEN DE BOMBEO: Es el periodo de bombeo de un pozo durante el día.

RESERVAS: Es la cantidad de agua almacenada en el acuífero que se puede drenar por la acción de la gravedad, o sea, la parte del volumen de saturación que

no queda adherida de una u otra forma a las partículas en el proceso de extracción del agua.

TRANSMISIVIDAD HIDRÁULICA (T): La transmisividad es el volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de un metro. Es representativa de la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua.

RESUMEN

Este trabajo titulado “Evaluación de las Condiciones de Abastecimiento y Utilización de Agua en la Institución Educativa Técnico Agropecuaria (IETA) de Flor del Monte, Zona Rural Oriental Ovejas Sucre” fue realizado en el periodo 2009-2010 por Genny Bohórquez Petro estudiante de la Universidad de Sucre, en la modalidad investigativa, para optar al título de Ingeniera Civil.

Flor del Monte es un corregimiento de 1417 habitantes en el año 2010 y cuenta con 303 viviendas y 3 Instituciones Educativas, dotada de servicios de energía eléctrica y acueducto. Su nivel de complejidad es Bajo y su clima es cálido.

La investigación se hizo con mediciones, aforos, prueba de bombeo, encuesta, entrevistas y revisión bibliográfica. Estableció que la prestación de este servicio lo hace una Junta Administradora Local, cada dos días, a 307 usuarios incluyendo 4 fincas. El sistema de acueducto consta de una fuente subterránea que capta a través del pozo 45-I-C-PP-01 (Carsucre), localizado en las coordenadas N 9°30'35,64" W 75°10'13,5" ,Z 176,0 m. El pozo tiene 103 m, capta 8 l/s de una capa acuífera confinada localizada a partir de la cota 33 m bajo superficie, el sistema de acueducto consta además de una conducción forzada en terreno ascendente con ondulaciones, en tubería PVC, diámetros de 3" al inicio y muy al final de 2" y opera con ineficiencia hidráulica; un tanque de almacenamiento superficial de capacidad insuficiente (solo 63% del requerimiento actual) y la red de distribución de agua, que por las características físicas e hidráulicas no hace una distribución equitativa del agua, en perjuicio de un buen número de usuarios. La IETA es uno de ellos y es el usuario más alejado.

El agua suministrada es de calidad regular a deficiente dada su composición físico química que la hace un agua Dura, para la potabilización debe tratarse con procesos de ablandamiento y desinfección.

ABSTRACT

This work, entitled "Evaluation of Living Water Supply and Use in the Agricultural Technical Educational Institution (IETA) of Flor del Monte, East Rural Area Sheep Sucre" was conducted from 2009 to 2010 by Genny Bohorquez University student Petro Sucre, in the form of research, to choose the title of Civil Engineer. Flor del Monte is a village of 1417 inhabitants in 2010 and has 303 homes and three educational institutions, equipped with electric utilities and aqueduct. Its level of complexity is low and the weather is warm.

The investigation was made with measurements, gauging, pumping test, survey, interviews and literature review. Produced that this service makes it a local administrative board, every other day, to 307 users including four farms. The water system consists of an underground source that captures well over 45-I-C-PP-01 (Carsucre), located at coordinates N 9 ° 30'35, 64 "W 75 ° 10'13 .5", Z 176.0 m. The well is 103 m, captures 8 l / s of a confined aquifer located from 33 m under the surface elevation, the water system also consists of a penstock in with waves rising ground in PVC pipe, diameter of 3 "at the beginning and very end of February" and operates with hydraulic inefficiency, a ground storage tank insufficient capacity (only 63% of the current requirement) and the water distribution network, than by the physical and hydraulic characteristics does not make a equitable distribution of water, to the detriment of a good number of users. The IETA is one of them and is the furthest user.

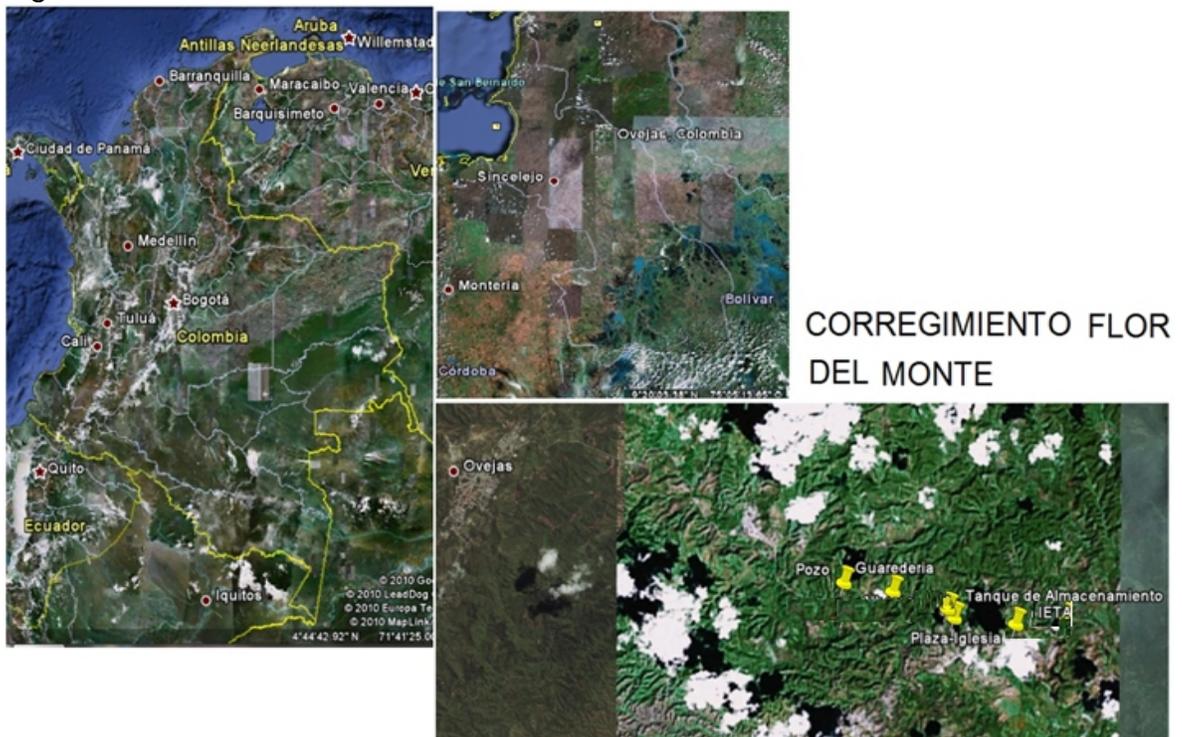
The water supplied is of poor quality due to regular physical chemical composition that makes it hard water for drinking should be treated with softening and disinfection processes

INTRODUCCION

El área de estudio del presente trabajo está localizada en la parte central del Departamento de Sucre en la sub-región Montes de María, en jurisdicción del municipio de Ovejas. El clima es tropical con una precipitación media anual de 1126 mm, dividida en dos épocas: una seca de diciembre a marzo y otra lluviosa de mayo a octubre. (Carsucre – Finaguas, 2001).¹

Geológicamente el acuífero formación Morroa es un acuífero complejo constituido por capas de areniscas y conglomerados poco consolidados, intercalados con capas de arcilla, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de abanico aluvial y cauces aluviales (Herrera, 1997).²

Figura 1. Localización de la zona de estudio



Fuente: GOOGLE EARTH 2010

1 CARSUCRE – FINAGUAS. Sistema de información para la Gestión del recurso hídrico en el Acuífero de Morroa, SIGAS. Sincelejo, 2001.

2 HERRERA, Hector Mario. Estudio Hidrogeológico para la localización de un pozo profundo del acueducto de Morroa. Corporación Autónoma Regional de Sucre, Carsucre, 1997.

El agua subterránea es un recurso estratégico para el Departamento de Sucre, debido a que el 91.7% de los acueductos municipales se abastecen de pozos profundos que captan principalmente de los acuíferos formaciones Morroa, Betulia, Morrosquillo y la Mojana; el acuífero formación Morroa es el principal acuífero del Departamento y constituye la única fuente de abastecimiento de agua potable más asequible, de donde se abastecen más de trescientos cincuenta mil habitantes de las zonas urbanas y rurales de los Municipios de Sincelejo, Corozal Ovejas, Morroa, Los Palmitos, San Juan de Betulia y Sampués.

El municipio de Ovejas hace parte de la subregión de los Montes de María en este mismo departamento, con una latitud norte de 09°31'48", longitud Oeste de 75°14'01" y una altitud de 265 metros. Su extensión territorial es de 45.700 has.

En cuanto a aspectos climáticos, el municipio de Ovejas se caracteriza por tener ecosistemas de clima Seco de Sabana y de Bosque Tropical, categorizado así por el sistema de Holdridge. Sus principales características se describen así:

Precipitación.: El régimen de lluvias es monomodal con ocurrencia de una temperatura seca entre los meses de Diciembre a Abril y una estación lluviosa entre Abril y Noviembre, además presenta un periodo seco en el mes de Julio conocido como "Veranillo de San Juan". La precipitación media anual oscila entre 1.000 y 1.300 mm anuales.

Temperatura: La temperatura media anual es de 27° C con valores máximos de 30° C y mínimos de 24° C teniendo como base informática de las estaciones que tienen influencia en la zona.

Humedad Relativa: Presenta valores promedio anual de 79% con valores máximos de 88% y mínimo de 68%. Los valores mínimos se presentan entre los meses Enero - Marzo y los máximos en Octubre.

Vientos: El área está influenciada por vientos alisios que provienen del noreste, influenciando cambios de la precipitación y la humedad relativa. La dirección dominante es de N 30° W, con porcentaje de calma del 95%.

La zona de investigación del presente trabajo se localiza en el corregimiento Flor del Monte, a su vez ubicada al Oriente del área urbana de Ovejas. Es una población constituida actualmente por 1417 habitantes residentes en 300 viviendas y 4 fincas; Las instituciones existentes son la Institución Educativa Técnico Agropecuaria Flor del Monte, su respectiva Escuela de Básica Primaria y la Guardería Infantil del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar regional Sucre.

Los servicios públicos domiciliarios prestados únicamente a la población Flor del Monte son los de energía eléctrica y acueducto, respectivamente se prestan a

través de la Empresa Electro Caribe y de la Junta Administradora del Sistema de Acueducto comunitario, a 307 suscriptores.

El sistema de acueducto se abastece de agua subterránea captada del acuífero formación Morroa a través de un pozo profundo de 104 metros con registro ante Carsucre 45-I-C-PP-01, localizado en la Finca Los Cocos, sobre la margen izquierda del carreteable que conduce a la cabecera municipal, a una distancia de 2,5 Km de la plaza principal aproximadamente.

Las coordenadas geográficas de localización de las principales instalaciones y edificaciones del corregimiento son:

Tabla 1. Ubicación geográfica de las principales instalaciones y edificaciones del corregimiento.

NOMBRE DE LA REFERENCIA GEOGRÁFICA	LATITUD	LONGITUD
Pozo de Abastecimiento	9°30'35,64"	75°10'13,5"
Tanque de almacenamiento	9°30'39,76"	75°19'7,72"
Guardería Infantil ICBF	9°30'30,82"	75°17'44,97"
Plaza Principal – Iglesia	9°30'37,56"	76°24'48,11"
IETA Flor Del Monte – Tanque	9°30'43,22"	75°23'34,9"

Fuente: El Autor

La Institución Educativa Técnico Agropecuaria Flor del Monte está localizada en el sector Nororiental del corregimiento, a una distancia aproximada de 800 metros de la plaza principal. En una extensión de 8 hectáreas la Institución presta servicio docente e institucional a 250 estudiantes con un cuerpo administrativo y académico conformado por 4 personas.

La infraestructura locativa está constituida por 1980 m² de aulas, oficinas y salas de informática cubiertas con laminas de asbesto cemento; existen otras edificaciones pertinentes a la Institución Técnico Agropecuaria cubiertas con palma amarga. No existen instalaciones para la captación y aprovechamiento de aguas lluvias.

La Institución Educativa es usuaria del sistema de acueducto comunitario, siendo el usuario crítico por su posición en la red de distribución y su localización con respecto al tanque de almacenamiento y distribución del agua.

En la zona del presente proyecto está localizado el campo de pozos de Ovejas que abastece a las poblaciones de Ovejas y Carmen de Bolívar. En el año de 1958, se perforaron 7 pozos en el arroyo Platanalcito (margen izquierda de la carretera a Carmen de Bolívar), los cuales fueron abandonados por su bajo rendimiento. Los 12 pozos que conformaban el campo (hasta el año 2001) están captando agua del acuífero formación Morroa; cuatro pozos fueron perforados en los años 1968 y 1978 a profundidades entre 100 y 112m. Los pozos 44 II D- 1, 4, 8, 9, 10 y 12, de los cuales los últimos cuatro tienen profundidades entre 200 y 255 m están funcionando en la actualidad. Estos pozos son explotados las 24 horas del día.

Los corregimientos de La Peña y Flor del Monte se abastecen con aljibes y pozos.

El pozo profundo que abastece la población del área urbana y la del corregimiento La Peña, municipio de Ovejas es el pozo identificado con el código 44-II D-PP-12 (12) localizado con las coordenadas geográficas Y= 1546120 y X= 876850; es una captación que opera legalizada ante Carsucre.

La zona donde se encuentra el pozo ha sido cartografiada geológicamente como la formación acuífero Morroa, constituida por capa de areniscas poco consolidados, intercalados con capas de arcillolitas.

El pozo con el código 44-II D-PP-12, en mención, está ubicado a una distancia de 7 Km del pozo que abastece actualmente a la comunidad Flor del Monte. Tiene una profundidad de 188 metros con un diámetro de 10 pulgadas hasta los 63 m y de 8" a partir de allí. El nivel estático en el año 2009 fue localizado a los 25 metros mediante prueba de bombeo realizada por Carsucre, un abatimiento de 22,22 metros, un caudal de bombeo de 18,37 L/seg, capacidad específica de 0,83 L/seg/m, una transmisibilidad de 63,7 de Theis y de 90,1 de Cooper – Jacob, conductividad hidráulica de 1,18 m/día Theis y de 1,67 m/día Cooper- Jacob.

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar la Evaluación de las condiciones de abastecimiento y utilización de agua en la comunidad y en la IETA Flor del Monte, zona rural oriental de Ovejas Sucre, para contribuir al mejoramiento integral de la calidad de vida humana y del entorno de la comunidad beneficiaria.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar las condiciones de abastecimiento y utilización de agua en la Institución Educativa Técnico Agropecuaria de Flor del Monte, zona rural oriental de Ovejas Sucre.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar la documentación bibliográfica antecedente (investigaciones, textos, publicaciones, normatividad, planes de desarrollo y ordenamiento territorial y otros).
- Evaluar en campo la producción instalada de la fuente de abastecimiento, el estado físico de la infraestructura de conducción y distribución, y el estado de la red intradomiciliaria de agua de la sede principal de la Institución Educativa Técnico Agropecuaria Flor del Monte.
- Realizar estudios topográficos generales de terreno con las edificaciones de la sede principal de la Institución Educativa Técnico Agropecuaria Flor del Monte.
- Analizar estudios hidrometeorológicos, a nivel regional y local, para establecer la precipitación, la evapotranspiración, los caudales de escorrentías superficiales, el transporte de suelos y la capacidad potencial de almacenamiento de aguas lluvias.
- Establecer las condiciones de cantidad y de calidad tanto de agua subterránea como de agua lluvia que es abastecida a la IETA Flor del Monte.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS

“Por definición es el agua que se almacena en formaciones geológicas por infiltración a través del suelo desde la superficie hasta encontrarse con una capa impermeable; se acumula y llena los poros y fisuras de las rocas, dando lugar a una zona de saturación. Esa formación geológica se denomina acuífero. Parte del agua infiltrada se desplaza libremente por efecto de la gravedad de los poros de las rocas”. FCIHS, 2009.³

2.1.1. Importancia de las aguas subterráneas en el suministro de agua potable. El agua es fundamental para la vida en la Tierra. Para que los grupos humanos y los ecosistemas puedan prosperar, esa agua debe ser limpia, permanecer limpia y, más importante aún, debe estar al alcance de todos.

El Día Mundial del Agua 2010 tuvo por lema "Agua limpia para un mundo sano". Al celebrar este Día Mundial, examinamos los hechos. Más de 2.500 millones de seres humanos carecen hoy de sistemas sanitarios adecuados. Se calcula que 884 millones de personas, la mayoría de ellas africanas, no tienen acceso al agua potable. Alrededor de 1,5 millones de niños menores de cinco años mueren anualmente a causa de enfermedades transmitidas por el agua. El deterioro de la calidad de las aguas en ríos, arroyos, lagos y mantos freáticos tiene consecuencias directas sobre los ecosistemas y la salud humana. Esta situación constituye una tragedia humana indescriptible y un obstáculo importante para el desarrollo.

Numerosos ríos, que fueron antaño fuente de prosperidad y albergue de rica fauna, están ahora gravemente contaminados. El deterioro de la calidad del agua en la superficie y en los sistemas freáticos está agravando la escasez de recursos hídricos, con repercusiones negativas en nuestro entorno natural y los bienes y servicios vinculados al ecosistema que éste ofrece, poniendo en peligro la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia.

3 FUNDACIÓN FCIHS. Hidrogeología. Conceptos básicos de Hidrología Subterránea. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona España, 2009. Capítulo 5.

En esta época de restricción de gastos, cuando las dificultades económicas comprometen las inversiones destinadas al desarrollo, debemos decir claramente que los avances en materia de desarrollo se autofinancian con creces. Los investigadores están creando nuevos e ingeniosos métodos para proteger de la contaminación las aguas de superficie y los mantos freáticos, y garantizar así una mejor gestión de los recursos hídricos. (Apartes del mensaje de la Dra. Irina Bokova, Directora General de la UNESCO, con motivo del Día Mundial del Agua: "Agua limpia para un mundo sano", 22 de marzo de 2010).

En América Latina y el Caribe, desde hace más de cuatro décadas, las estadísticas oficiales han revelado un constante incremento en el porcentaje de la población que tiene acceso a un suministro de agua doméstica adecuado. Esto se ha conseguido a pesar de los grandes incrementos de población y migración a las áreas urbanas. Se tuvo conocimiento que alrededor de 185 millones de personas, en este sector del planeta, contaban con alguna forma de suministro de agua adecuado.

Actualmente, el abandono relativo de los sectores rurales, semirurales y suburbanos por la emigración a los principales centros urbanos en los países Latinos, acompañado del deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales de los entornos, ha propiciado un aumento en la utilización de las aguas subterráneas en las ciudades, pero este uso creciente carece de una explotación racional, sostenible, y de un control general y sistemático de la contaminación de la fuente. UNESCO, 2010.

2.1.1.1 Ocurrencia del agua subterránea. El agua subterránea está presente donde quiera que pueda penetrar bajo la superficie del suelo en rocas lo suficientemente permeables como para permitir el movimiento del agua a través de ellas.

La geología controla la presencia y la distribución del agua en las rocas. La hidrología determina el suministro del agua al suelo, y la mecánica de fluidos explica las leyes que rigen su movimiento.

Corresponde a la Hidrogeología ligar los conocimientos de estas tres ciencias y aprovecharlos para estudiar el agua subterránea en las diferentes etapas de Exploración, Evaluación y Aprovechamiento etapas que se cumplen gracias al concurso de otras disciplinas especializadas tales como la geofísica, la química, y las matemáticas para mencionar solo a tres de ellas.

4 UNESCO. Agua limpia para un mundo sano. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2010.

La Hidrogeología, trata sobre la ocurrencia del agua subterránea y la influencia de factores geológicos tales como porosidad, permeabilidad y tipo de roca. En esta parte del capítulo se intenta explicar aquellos conceptos desde un punto de vista de aplicación práctica.

Distribución vertical del agua subterránea. El agua subterránea se halla distribuida verticalmente en dos zonas denominadas zona de aireación y zona de saturación.

Figura 2. Distribución vertical del agua subterránea



Fuente: Custodio y Llamas, 1996

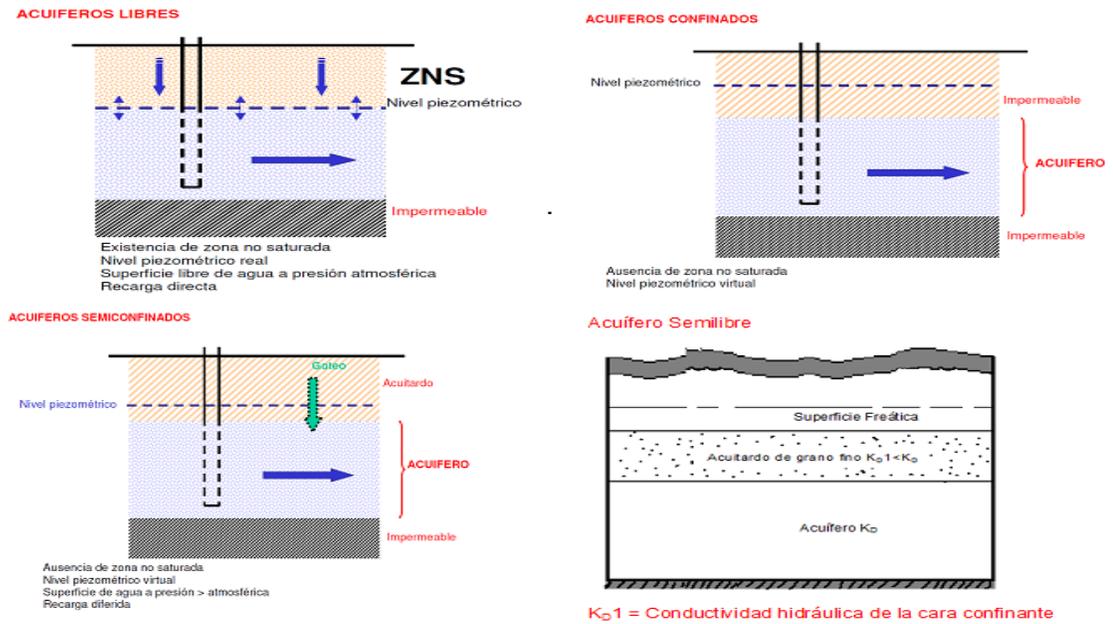
La zona de aireación, o zona vadosa o zona no saturada consta de intersticios interconectados, ocupados parcialmente por agua y por aire. Está limitada por la Tabla de agua en su parte inferior y por la superficie del terreno en su parte superior. El contenido de agua de esta zona puede variar entre cero y saturación completa. El estado de energía del agua en la zona no saturada se puede expresar por el potencial de capilaridad o presión capilar; es una fuerza tensional considerada como una presión negativa por actuar en contra de la dirección de la fuerza de gravedad. El agua de esta zona no fluye hacia un pozo como si ocurre en la zona de saturación.

Tipos de Rocas y Clases de Acuíferos. Los diferentes tipos de rocas se pueden agrupar de acuerdo con la capacidad de contener agua y de permitir el flujo de ellas, en cuatro clases. Ellos son :

- Acuíferos, del latín aquafero: son rocas permeables que permiten la circulación del agua por sus poros y/o grietas, con relativa facilidad, bajo condiciones naturales de campo, propiciando su aprovechamiento como fuente de abastecimiento (Custodio y Llamas, 1983).
- Acuícleros (capas confinantes) o Acuícludos, del latín claudere: son rocas impermeables que aunque pueden contener grandes cantidades de agua, incluso hasta la saturación, no permiten el flujo de ella a través de sus poros en cantidades significativas. Un acuíclero puede absorber y contener grandes cantidades de agua pero no permite el paso de ella con facilidad. .
- Acuíardos, del latín tardare: son las numerosas formaciones geológicas que aunque contienen apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, y por ello no son aptas para su uso como fuentes de abastecimiento. Sin embargo, los acuíardos bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, recarga que puede llegar a ser significativa en muchos casos. (Custodio y Llamas, 1983).
- Acuífugos (capas confinantes), del latín fugare: son rocas impermeables que no contienen ni transmiten agua. Son aquellas rocas en las cuales no existen intersticios intercomunicados y en consecuencia no absorben ni permiten el paso del agua, como ocurre en un macizo granítico no alterado.

5 CUSTODIO, E Y LLAMAS, A. Hidrología Subterránea, Tomo 1 y 2. Editorial Omega. España, 1996.

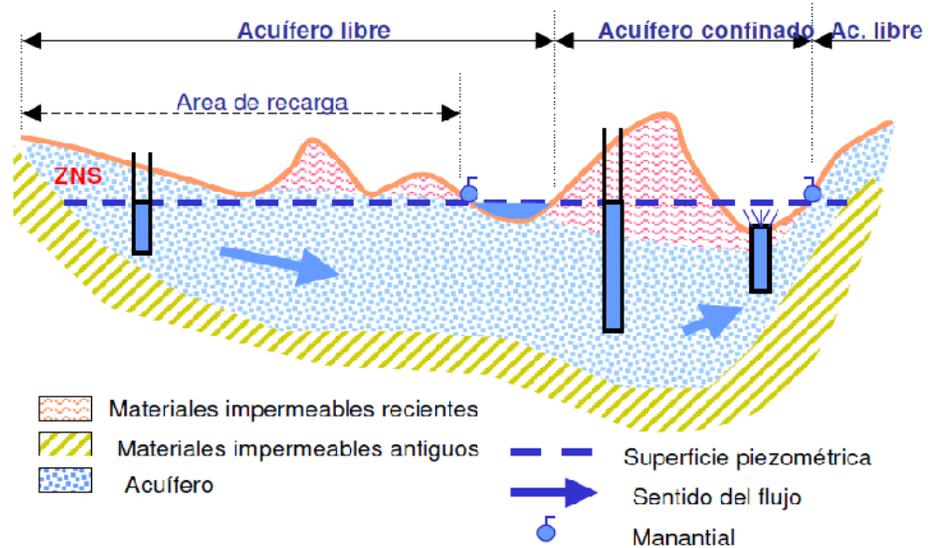
Figura 3. Clases de acuíferos



Fuente: www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf

Figura 4. Relación entre Acuíferos

RELACIONES ENTRE ACUIFEROS



Fuente: www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf

Los acuíferos de acuerdo con el grado de confinamiento que las capas de suelo ejercen sobre las masas de agua se dividen en:

- Libres o freáticos o no confinados.
- Confinados o cautivos
- Semiconfinados o “leaky aquifers”.
- Semilibres

La zona de infiltración a través de la cual se abastece de agua cualquier tipo de acuífero se denomina agua de recargue.

De las definiciones anteriores puede inferirse que cuando la base de un acuífero es una capa impermeable, el tipo de acuífero está determinado por las características de la capa supra yacente.

2.1.1.2 Movimiento del agua subterránea. El agua en su estado natural tiende a moverse y cuando ocupa los intersticios o espacios de la roca, lo hace bajo régimen laminar. Aunque el flujo laminar en un conducto cilíndrico no causa mezcla, el flujo laminar en un medio granular es completamente diferente.

El flujo a escala microscópica a través de un acuífero se expresa por la Ley de Darcy definida en las conferencias de Hidráulica de pozos; según ella la velocidad es proporcional al gradiente hidráulico.

$$V = KI \quad <1>$$

Donde: K = Conductividad hidráulica; I = Gradiente hidráulico $= \frac{dh}{dl}$

Es necesario aclarar que la velocidad aparente, V , definida por la Ley de Darcy no es la velocidad efectiva del agua (V_r). La velocidad aparente, velocidad de Darcy o velocidad de filtración, es la relación existente entre la descarga Q que circula a través de una sección de área A .

$$V = Q/A \quad \text{mientras que} \quad V_r \text{ es} = X/t \quad <2>$$

La diferencia estriba en que en V se toma en cuenta toda el área de la sección sin considerar que el agua solo circula a lo largo de los poros y no a través del espacio ocupado por los granos.

La relación existente entre V y V_r está dada por:

$$V = V_r \times Pe \quad <3>$$

En donde Pe es la porosidad efectiva.

Porosidad Total. La porosidad de una roca es una medida de su espacio intersticial y se expresa cuantitativamente como el porcentaje del volumen total de roca ocupado por los intersticios.

$$P = (V - V_s) / V, \quad <4>$$

En donde:

V= Volumen total de la roca.

Vs = volumen ocupado por los sólidos

En la Tabla 2 Porosidad de las Rocas se dan los valores representativos de la porosidad para varios tipos de rocas.

En términos generales una porosidad mayor del 20% se considera grande; entre 5% y 20% media; porosidades menores de 5% son consideradas pequeñas.

La atracción entre las paredes de los intersticios con las moléculas de agua adyacentes se llama adhesión, la atracción entre moléculas de agua adyacentes se llama cohesión. Las paredes de los granos de roca retienen una capa delgada de agua por adhesión la cantidad de agua retenida así depende directamente del tamaño de los intersticios de tal suerte que la retención es mayor en las rocas que tienen intersticios más pequeños. Es así como las arcillas lutitas que poseen la mayor porosidad son malas conductoras de agua debido a su alta "retención específica".

La retención específica de una roca es una medida de la capacidad de retención del agua y se expresa cuantitativamente como el porcentaje del volumen total de agua que será retenida en los intersticios contra la fuerza gravedad.

Recíprocamente, el concepto de "rendimiento específico" (Specific Yield) de una roca es una medida de capacidad de una roca para producir agua y se expresa cuantitativamente como la relación entre el volumen de agua que será drenado por gravedad de una roca saturada y volumen total de la roca.

Los términos rendimiento específico y porosidad efectiva son sinónimos, por lo tanto la porosidad total de una roca es la suma de la retención específica y el rendimiento específico.

$$P_t = R_e + P_e \quad <5>$$

Los valores aproximados de porosidad total y efectiva así como la retención específica de algunas sedimentarias se transcriben en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de porosidad de las rocas sedimentarias no consolidadas.

ROCA	Porosidad Total %	Rendimiento Específico %	Retención Específica %
Arena y grava	20 – 25	11- 21	3 – 4
Grava y Gruesa	20 – 25	17 – 22	3
Grava media	20 – 30	17 – 24	4 – 0
Grava fina	30 – 35	24 – 22	6
Arena Gruesa	35 – 40	27 – 30	6 – 10
Arena media	38 – 42	26 – 28	10 – 16
Arena fina	38 – 44	18 – 22	16 – 20
Arcilla lutita	30 – 35	3	27 – 52
Arcilla arenosa	30 - 35	3	27 – 52

Fuente: Gutierrez G ,2004 ⁶

Dirección y Velocidad del Agua Subterránea. La dirección y velocidad del agua subterránea son parámetros que permiten identificar zonas de recarga y descarga, zonas de mayor permeabilidad, variaciones en las condiciones geológicas del subsuelo y muchas otras características hidrogeológicas de un área cualquiera.

La dirección y velocidad del agua subterránea se pueden determinar por correlación de datos geológico o hidrogeológico o bien por el uso de trazadores en trabajos de campo.

Los mapas de agua subterránea conocidos como redes de flujo, son de gran interés en el cálculo de la velocidad y la mejor manera de identificar la dirección general del movimiento.

Dentro de la terminología hidrogeológica usada hay que hacer la distinción entre clases de velocidad:

- La velocidad real: que es la existente entre los espacios a una escala microscópica. Esta velocidad varía de punto a punto y no tiene importancia ni significado hidrogeológico.
- La velocidad aparente: expresada por la Ley de Darcy y la velocidad efectiva ya están definidas en el literal anterior.

La velocidad del agua subterránea varía del orden cm/año a cientos de m/año, en términos generales. Existen excepciones en rocas altamente fracturadas en donde el flujo ocurre a través de fracturas y cavidades. En Inglaterra se han reportado flujos del orden de 3 Km/día en cavernas desarrolladas en formaciones calizas.

⁶ GUTIERREZ RIBON, Guillermo. Diagnostico Ambiental del Acuífero Costero Morrosquillo, Zona Litoral Tolú – Coveñas. Trabajo de grado Maestría en Ingeniería Ambiental. Bogotá.

Estas excepciones son importantes desde el punto de vista de contaminación ya que el agua subterránea bajo tales características de flujo está más expuesta a contaminación biológica y química que aquella caracterizada por flujo natural normal.

Las velocidades efectivas de algunos acuíferos se dan en la Tabla 3.

Tabla 3. Velocidades efectivas del agua en acuíferos

MATERIAL DEL ACUÍFERO	Velocidad Efectiva (m/año)
Arena fina (0.2 m.m. diámetro)	16.18
Arena media (0.4 m.m. diámetro)	65.70
Arena gruesa (0.8 m.m. diámetro)	257.80
Grava fina (2 m.m. diámetro)	635.00

Fuente: Gutiérrez. G. 2004.

La velocidad efectiva en los suelos arcillosos es del orden de 20 cm/año bajo un gradiente igual a 1.0

Determinación de la velocidad. Si se conoce la permeabilidad (conductividad hidráulica) del acuífero y su gradiente hidráulico se puede determinar la velocidad de acuerdo con la Ley de Darcy :

$$V = K \times I \quad <1>$$

Características Hidráulicas de los Acuíferos. La importancia de un acuífero como fuente de agua dulce, depende esencialmente de las características inherentes a él: de su capacidad almacenadora y de su habilidad para permitir el flujo a través de los intersticios.

El desarrollo de estos conceptos condujo a establecer y definir una serie de parámetros que a manera de constantes sirven para caracterizar cada acuífero, evaluarlo, optimizarlo y hacer predicciones a corto, mediano y largo plazo.

Las principales características hidráulicas de los acuíferos son:

- Porosidad, P. Es la característica de una roca que posee intersticios o espacios intergranulares. Está dada siempre en términos de volumen, en porcentaje o fraccional.

La porosidad efectiva se refiere a la cantidad de espacios interconectados disponibles para el flujo de aguas.

La porosidad de una roca depende de factores tales como formas, dimensión e intercomunicación de los poros; está ligada a la granulometría y varía según el grado de sorteamiento compactación y cementación de las rocas.

Es importante conocer la diferencia hidrogeológica entre porosidad primaria y secundaria.

La porosidad primaria: comprende los intersticios originados mediante la formación de la roca. En rocas sedimentarias la constituyen los espacios intergranulares. En las rocas ígneas intrusivas los pocos espacios existentes se deben al enfriamiento y la cristalización mientras que las extrusivas pueden tener alta porosidad resultante de la expulsión de gas, pero los espacios pueden estar o no interconectados. El metamorfismo generalmente tiende a reducir la porosidad primaria y puede llegar a destruirlo.

La porosidad secundaria: representa en las rocas consolidadas el único medio que permite almacenar aguas subterráneas a lo largo de fracturas, fallas, diaclasas, aberturas de disolución y planos de estratificación o esquistosidad.

- Permeabilidad, k . La permeabilidad de una roca es una medida de su capacidad para permitir el paso de un fluido bajo un gradiente hidráulico.

La hidráulica de agua subterránea a definido y adoptado un término que se expresa en unidades consistentes e identifica las propiedades de la roca y el agua subterránea en su estado natural; se denomina conductividad hidráulica y es el término que ha venido reemplazo el más general de permeabilidad.

- Conductividad Hidráulica, K . Es el volumen de agua que, con la viscosidad cinemática existente, se mueve en la unidad de tiempo un gradiente hidráulico unitario a través de una sección unitaria de la roca, medida en ángulo recto a la dirección del flujo.
- En esta definición el término “viscosidad cinemática existente”, significa realmente agua a la temperatura existente en el acuífero de agua dulce. En acuíferos con agua salada también entrarían en juego los minerales disueltos en el agua.
- Las unidades utilizadas son pie/día en el sistema inglés y m/día en el sistema métrico. Los valores de K varían ampliamente según la clase de roca, entre 0.0000001 y 10.000 m/día.

En Tabla 4 se aprecian las magnitudes de la conductividad hidráulica para algunos tipos de rocas sedimentarias.

Tabla 4. Conductividad hidráulica en rocas sedimentarias

TIPO DE ROCA	K (cm/seg) HARR, 1962	K (m/día) KRUSEMAN, 1970
ARCILLA	$< 10^{-6}$	$10^{-5} - 10^{-7}$
LIMO (SILT)	$5 \times 10^{-4} - 10^{-5}$	10^{-1}
ARENA FINA	$5 \times 10^{-2} - 10^{-3}$	$10^{-1} - 10$
ARENA GRUESA	$1 - 10^{-2}$	$1 - 2 \times 10^2$
GRAVA	> 1	$1 - 10^3$ ó mayores

Fuente: Gutierrez. G, 2004.

Según el valor de su conductividad hidráulica o permeabilidad los sedimentos se clasifican según la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de los sedimentos según la conductividad hidráulica

	8×10^2	8×10^{-1}	8×10^{-6}	8×10^{-7}
10^2	1	10^{-3}	10^{-7}	10^{-9}
Gravas desprovistas de finos	Arenas Puras	Arenas muy Finas	Arcillas Homogéneas	
	Arenas y Gravassin Finos	Limos Mezclas De Arenas – Arcillas		
MUY BUENA	BUENA	MALA	IMPERMEABLE	

Fuente: Gutierrez. G, 2004.

- Transmisividad, T. Es la tasa a la cual el agua, con la viscosidad cinemática existente, fluye a través de un ancho unitario del acuífero, bajo un gradiente hidráulico unitario.

La transmisividad es igual al producto de la conductividad hidráulica, K, por el espesor saturado del acuífero, b, y está expresado en las siguientes unidades:

$$T = K \times b, \text{ en las unidades, } m^2 / \text{ día o } pie^2 / \text{ día.} \quad <6>$$

En cualquier sistema de medida se suponen las condiciones específicas de que la viscosidad es aquella existente a la temperatura prevaleciente, bajo las condiciones naturales de campo y que el gradiente hidráulico es 1.0. El concepto

de transmisividad es muy útil en acuíferos libres cuyo caudal Q está determinado esencialmente por la permeabilidad y por el espesor del acuífero.

$$\begin{array}{lll} Q = K.I.A. & <7> & A = \text{área de la sección de flujo.} \\ A = W \times b & <8> & W = \text{ancho de la sección de flujo.} \\ Q = K / W b & <9> & b = \text{espesor saturado del acuífero.} \\ Q = T / W & <10> & \end{array}$$

Esta fórmula permite calcular en forma rápida y sencilla la disponibilidad de agua en un acuífero, con un buen grado de aproximación.

Coeficiente de Almacenamiento, E . Es el volumen de agua que un acuífero, cede o toma en almacenamiento por unidad de área del acuífero y por unidad de cambio en el nivel piezométrico.

En acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento es igual al rendimiento específico, ya que la mayor parte del agua proviene del volumen almacenado, y es drenado por gravedad.

En acuíferos confinados, el agua proviene de la expansión de la misma y la compresión del esqueleto del acuífero.

El coeficiente de almacenamiento no tiene unidades como puede inferirse de su definición. Varía entre 0.01 y 0.5 en acuíferos libres, y entre 0.001 y 0.000001 en acuíferos confinados.

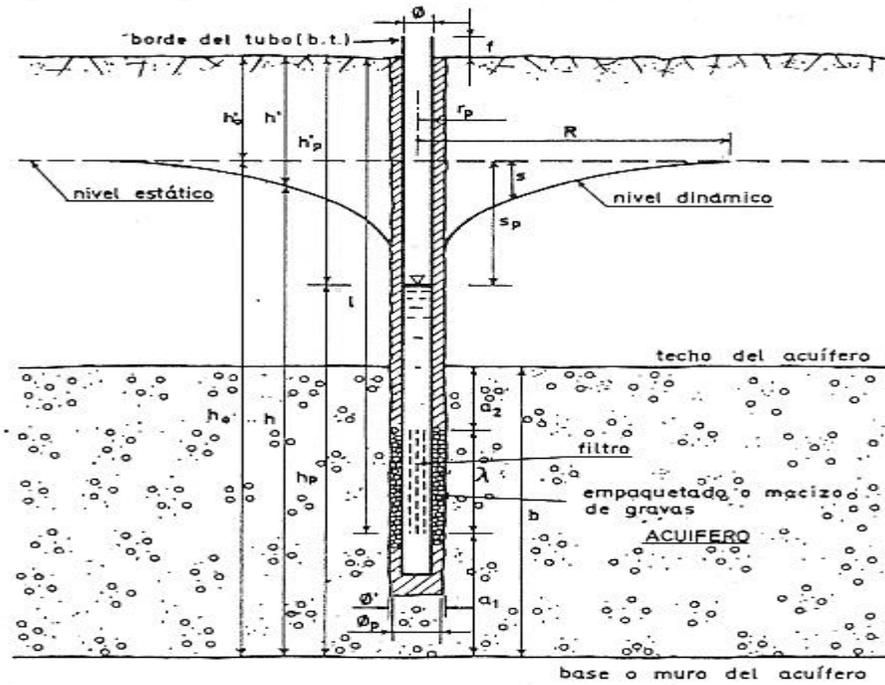
Determinación de las características hidráulicas de los acuíferos. Se pueden determinar en el campo por medio de:

- Pruebas de Bombeo (extracción o recarga).
- Estudiando las variaciones seculares o periódicas de los niveles piezométricos, o las inducidas en forma artificial.
- Por medio de trazadores, naturales o artificiales.

Las Pruebas de Bombeo tienen por objeto determinar las características de los acuíferos y en tal caso se llaman “pruebas de acuíferos” o bien obtener información acerca del rendimiento del pozo denominándose “prueba de pozo”.

La información obtenida en una “prueba de pozo”, sirve para determinar la “capacidad específica” del pozo, seleccionar el tipo y capacidad de la bomba que debe instalarse para efectos de producción, calcular la eficiencia del pozo y establecer su operación. Figura 5.

Figura 5. Magnitudes características de un pozo y de un bombeo de un pozo



Fuente: Custodio y Llamas, 1996

Por otra parte, el principal método para estudiar el comportamiento hidráulico y determinar las características de un acuífero, lo constituye la Prueba de Acuífero, la cual puede producir resultados confiables y representativos de un área grande, a diferencia de observaciones de tipo local que solo reproducen valores puntuales.

Las fórmulas desarrolladas y aplicadas para tal fin se basan en generalizaciones, asumiendo que se cumplen condiciones específicas de campo.

Sin embargo la naturaleza no es tan ideal como puede imaginársela y ello conduce a que las características o constantes hidráulicas determinadas por medio de pruebas de acuífero den resultados erróneos, que muchos técnicos atribuyen a la inexactitud de las fórmulas, cuando la verdadera causa del error se origina en el hecho de que las características de campo, no satisfacen las condiciones en las cuales se basan las fórmulas aplicadas.

Es entonces muy importante enfatizar en el sentido de que cada fórmula tiene sus limitaciones y es válida únicamente bajo restricciones conocidas. En la mayoría de los casos es necesario aplicar varias de las fórmulas y decidir con base en la información geológica e hidrológica, cuál de ellas se ajusta con mayor grado de confiabilidad a las condiciones de campo, más aun cuando se ha observado que casi cualesquier clase de datos puede forzarse a coincidir con una u otras de las "curvas tipo" conocidas.

2.1.2. Antecedentes de Investigación. En el área de investigación de este proyecto se han llevado a cabo varios estudios realizados por Ingeominas, Carsucre, Universidad de Sucre, Universidad Nacional y otras entidades públicas y algunas particulares.

En el año de 1963 el Servicio Geológico Nacional (hoy Ingeominas) publica el estudio hidrogeológico preliminar de esa zona del país, donde se evalúa la posibilidad de explotar aguas subterráneas para consumo humano y uso agropecuario en un área de 4600 Km².

En 1977, Rodríguez et al. presentaron un estudio de los parámetros hidrogeológicos del sector Corozal con técnicas isotópicas y en 1979 realizaron la evaluación del agua subterránea de la misma zona. En el marco de un convenio Colombo – Holandés en el año de 1981 realizaron un estudio hidrogeológico regional en el Flanco Nororiental de la Serranía de San Jacinto (hoy Montes de María) y las zonas del litoral del Golfo de Morrosquillo (Flanco Occidental).

En la década de los 80's Ingeominas efectuó estudios con el fin de conocer la cantidad explotable de agua subterránea. Una de ellas es realizada en 1981 por el ingeniero Civil Frank Rodríguez Pérez, mediante la cual hace perforación exploratoria y construcción de un pozo definitivo sobre el acuífero formación Morroa para la población del corregimiento San Rafael, jurisdicción del municipio de Ovejas, localizado a 2,0 Km de Flor del Monte. En relación con esta población, el Ingeniero Rodríguez aportó a esta investigación el documento de la propuesta técnica económica mediante la cual fue construido en el año 1982 el primer pozo profundo para abastecer de agua a esa comunidad. Quince años más tarde, por causa de la calidad deficiente del agua extraída para el consumo humano es suspendida la explotación de este pozo. Fue reemplazado por el pozo actual.

El pozo de San Rafael tiene una profundidad de 65 metros, un diámetro de 6 pulgadas, con tubería PVC ciega y ranurada de 6 pulgadas de diámetro, el nivel estático en enero de 2009 es de 14 metros; el nivel de bombeo disponible es de 25 metros con base en las instalaciones de los filtros (cota superior). Las capas freáticas están constituidas por areniscas de grano fino a medio, conglomeráticas, friables. Pacheco, D. 2003⁷

En el año 1995, los investigadores Diezemann y Delgado, hacen algunas consideraciones hidrogeológicas sobre el posible abastecimiento para las poblaciones de Sincelejo, Morroa, Los Palmitos, Ovejas, El Carmen, San Jacinto y San Juan Nepomuceno en la Costa Atlántica Colombiana.

7 PACHECO. D y VILLEGAS, P. Caracterización hidráulica del acuífero Morroa utilizando pruebas de bombeo.

Pacheco, D. y Villegas, P., 2003 realizaron el trabajo de investigación denominado “Caracterización Hidráulica del Acuífero Morroa Utilizando Pruebas de Bombeo”, en la zona de Sincelejo, Corozal y Morroa, cuyo objetivo busco coadyuvar en el establecimiento de las bases para el manejo sostenible de la explotación del recurso hídrico subterráneo en el Departamento de Sucre.

Por otra parte, es necesario mencionar aspectos fundamentales relacionados con las redes de flujo de aguas subterráneas, y que se deben tener en cuenta antes de hacer cualquier recomendación sobre el manejo del recurso hídrico.

Góngora, J. et al, 2004 en su trabajo de investigación para la Universidad de Sucre y para Carsucre denominado “Elaboración de la Red de Flujo del Acuífero Morroa en el Sector de Sincelejo, Corozal y Morroa”, tomando como referencia el trabajo de Rivas, 2000 resalta estos aspectos de los cuales relaciona los siguientes: a) Monitoreo de las aguas subterráneas, para cualquier estudio que esté relacionado con cantidad, calidad y conservación del recurso. b) El establecimiento de la red de pozos de observación permite obtener los datos básicos sobre parámetros geométricos e hidrogeológicos del acuífero y su funcionamiento. c) La vulnerabilidad del acuífero. El agua subterránea, en ciertas condiciones, constituye un importante recurso de abastecimiento de agua para distintos usos. En algunas ocasiones, las características propias del sistema natural determinan que la cantidad, accesibilidad y en especial la calidad del agua subterránea se torne inadecuada para algunos o todos los usos requeridos. Por lo tanto, es importante dejar claro que el agua subterránea no siempre es sinónimo de recurso disponible.

Carsucre, en el marco de su gestión institucional para la protección integral del agua subterránea en el acuífero formación Morroa de su jurisdicción, en lo pertinente a establecer el comportamiento del flujo hídrico ante las explotaciones crecientes y los diferentes usos y manejos del mismo, adelanta la construcción de piezómetros o pozos de observación. Entre ellos, construyó en diciembre de 2009 el pozo piezómetro 44-II-D-Pz-01 localizado en Ovejas, finca Santuario, carretable a Flor del Monte, de 104 m de profundidad en PVC, de 4” de diámetro, y en el cual realizó un ensayo de bombeo, a caudal constante, de 24 horas continuas de bombeo y 24 de recuperación. Este es el antecedente de investigación más reciente y cercana en el área de trabajo.

3. METODOS Y MATERIALES

La ejecución del proyecto se realizó en las etapas que se habían planeado, alcanzando los objetivos específicos y por ende el objetivo general acorde con los procedimientos que a continuación son informados por objetivo.

3.1 REVISAR LA DOCUMENTACIÓN BIBLIOGRÁFICA ANTECEDENTE

Como una de las referencias bibliográficas básicas de la información examinada para alcanzar este objetivo específico se seleccionó el documento científico titulado Memoria Técnica del Mapa de Aguas Subterráneas del Departamento de Sucre en escala 1:250.00 “Exploración y Evaluación de Aguas Subterráneas” elaborado y promulgado en Noviembre del año 2002 por la Dra. María Consuelo Vargas, experta funcionaria del Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas, Ministerio de Minas y Energía. (Ingeominas 2002).

De igual manera, por constituir investigación soporte del documento base y por la información específica vigente y pertinente se seleccionaron los documentos definitivos titulados “Evaluación de las Condiciones de Explotación del Agua Subterránea en el Acuífero Morroa, por Buitrago, J y otro, Universidad Nacional de Colombia, 2000” y “Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Zona de Recarga del Acuífero Morroa (Departamento de Sucre y Córdoba)” por Donado, L y otros, Universidad Nacional de Colombia, 2000.

Similarmente, se estudiaron los trabajos de grado en la modalidad investigativa del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Sucre realizados por Pacheco, D. y Villegas, P., 2003 denominado “Caracterización Hidráulica del Acuífero Morroa Utilizando Pruebas de Bombeo”, en la zona de Sincelejo, Corozal y Morroa, y por Góngora, J. et al, 2004 denominado “Elaboración de la Red de Flujo del Acuífero Morroa en el Sector de Sincelejo, Corozal y Morroa”, con reconocimiento nacional de Ingeominas y de la Corporación Carsucre; esta entidad apoyó su realización y avaló sus resultados en el marco del Proyecto de Protección Integral de las Aguas Subterráneas, PPIAS.

En cuanto a textos académicos las principales referencias estudiadas fueron Explotación del Agua Subterránea. Un nuevo Enfoque. por el profesor Diosdado Perez Franco, 1995 del Instituto ISPJAE de La Habana⁸ y Conceptos Básicos de Hidrogeología por el Comité Docente de la Fundación FCIHS, 2009 de Barcelona, España.

⁸ PEREZ FRANCO, Diosdado. Explotación de aguas subterráneas. Un nuevo enfoque: Instituto Superior Politécnico Jose A. Echeverría, ISPJAE

Otras referencias bibliográficas, complementarias, estuvieron constituidas por artículos, ensayos, ponencias, informes y resultados de pruebas de bombeos en pozos, trabajos de grado del campo ingenieril de otras Universidades, nacionales e internacionales, informes de Carsucre y documentos de asesorías técnicas pertinentes al área de investigación y en el acuífero formación Morroa, todas utilizadas, y mencionadas en el Estado del Arte.

Dentro de la revisión de documentos vinculados con la localidad del proyecto se destacan los aportes de los miembros de la comunidad académica y de los miembros de la Junta Administradora Local del Acueducto.

3.2 EVALUAR EN CAMPO LA PRODUCCIÓN INSTALADA DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO, EL ESTADO FÍSICO DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN, Y EL ESTADO DE LA RED INTRADOMICILIARIA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA

3.2.1 Método de aproximación de análisis de prueba a caudal constante, con información de un solo punto. La investigación de la captación de aguas subterráneas ha establecido que para determinar las propiedades del acuífero, a partir de los datos de la prueba de un pozo a caudal constante, es necesario tener información de dos puntos del acuífero preferiblemente dos satélites. En muchas ocasiones, al perforar un pozo para la explotación, no se ha provisto la perforación de satélites, lo que no permitiría determinar las propiedades hidrogeológicas necesarias: T_D , T_T y E o sus asociadas que harían posible predecir el comportamiento del pozo para condiciones distintas a las de las pruebas. Sin embargo, para esas condiciones (información de un solo punto), es posible determinar las propiedades por un procedimiento aproximado que ha sido desarrollado por Glover, R.E. citado por Pérez Franco, 1995, el cual se describe a continuación.

Para aplicar este procedimiento como cualquier otro se hace necesario caracterizar el acuífero objeto de estudio.

3.2.1.1. Caracterización de los Acuíferos. En Pérez Franco, 1995, Kruseman y de Ridder, partiendo de considerar los acuíferos apoyados en una capa impermeable especifican que el tipo de acuífero queda determinado por el carácter de la capa confinante superior y presentan el cuadro que aparece en la tabla 7 como instrumento para caracterizar los acuíferos.

Tabla 6. Caracterización de los acuíferos

Capa Superior	Tipo de acuífero
Impermeable (acuicierre)	Confinado
Semipermeable (acuitardo) Donde se puede ignorar la componente horizontal del flujo	Semiconfinado
Semipermeable (acuitardo), menos permeable que la parte principal del acuífero, en el que hay que tomar en cuenta la componente horizontal del flujo.	Semilibre
Igual que la parte principal del acuífero	Libre

Fuente: Diosdado Perez Franco, 1995.

Las verdaderas propiedades hidráulicas (hidrogeológicas) características del medio son la permeabilidad intrínseca, k , y la rugosidad equivalente del medio, C (k tiene dimensiones de longitud al cuadrado y C es adimensional).

Las propiedades hidrogeológicas fundamentales como características del medio son:

- a) La permeabilidad intrínseca k .
- b) La rugosidad equivalente, C
- c) El coeficiente de almacenamiento, E .

Para efectos prácticos, en aquellos lugares en que las variaciones de temperatura del agua subterránea son pequeñas se pueden considerar propiedades características de los acuíferos las siguientes:

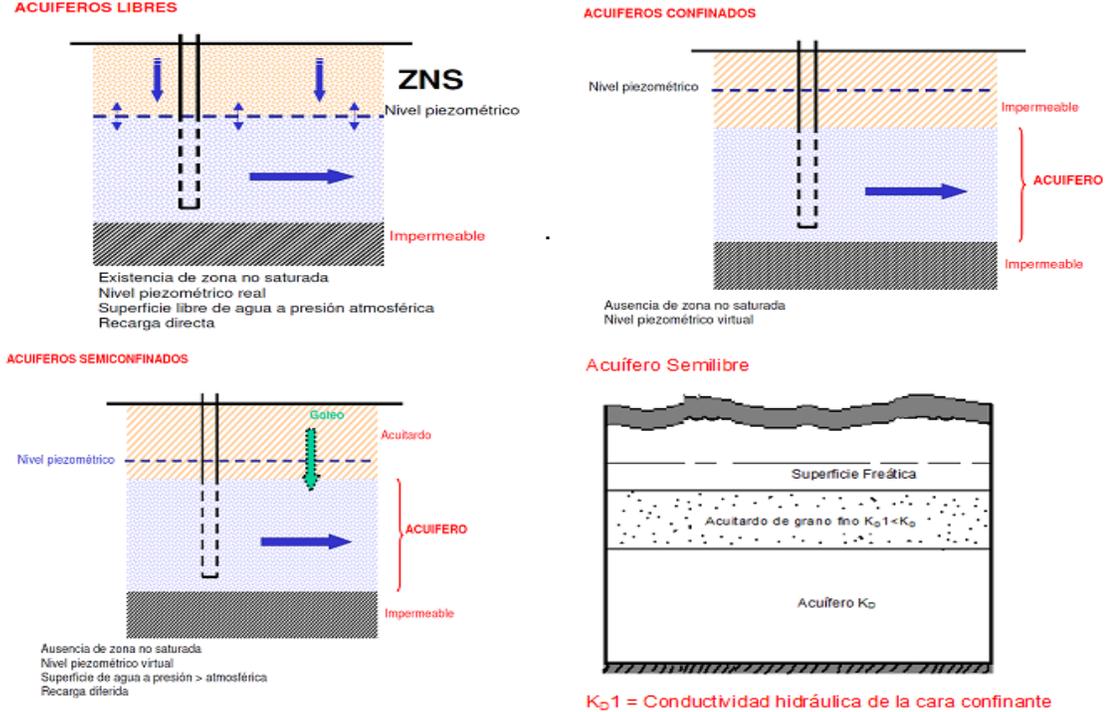
- a) La conductividad hidráulica de Darcy, K_D
- b) la conductividad hidráulica turbulenta, K_T
- c) La transmisibilidad lineal o de Darcy, T_D
- d) La transmisibilidad turbulenta, T_T .

A partir de investigaciones antecedentes, Pérez Franco, 1995⁷ ha establecido las correspondientes ecuaciones que relacionan k y C con K_D , K_T , T_D y T_T .

Partiendo de la conductividad hidráulica del acuífero y de sus capas confinantes Kruseman presenta un diagrama que resulta muy ilustrativo en la clasificación de los acuíferos. La figura 3 es una adaptación de dicho diagrama.

⁷ PEREZ FRANCO, Diosdado. Explotación de aguas subterráneas. Un nuevo enfoque: Instituto Superior Politécnico Jose A. Echeverría, ISPJAE.

Figura 3. Clases de Acuíferos



Fuente: www.agua.uji.es/pdf/leccionRH08.pdf

3.2.1.2 Procedimiento a utilizar para el cálculo de las propiedades hidrogeológicas. Tanto para el flujo lineal hacia un pozo como para la situación más general de flujo no lineal, los datos del abatimiento con el tiempo están representados por una línea recta en un gráfico semilogarítmico.

Al tratarse de una prueba sin satélites, la información que se puede obtener lógicamente es la correspondiente al pozo de bombeo a caudal constante, y la ecuación que caracteriza el abatimiento en el pozo para tiempos mayores de 50 min es:

$$S_p = \frac{Q}{4\pi T_D} \ln \frac{2,246 T_D t}{r_p^2 E} + \frac{Q^2}{4\pi^2 T_T^2 r_p} \quad <11>$$

Donde: S_p , abatimiento en el pozo en m;
 Q , caudal constante de la prueba de la prueba en m^3/s ;
 T_D , transmisibilidad darciana, en m^2/s ;
 t , tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba, en s;
 r_p , radio del pozo, en m;

E, coeficiente de almacenamiento (adimensional);
 T_D , transmisibilidad turbulenta, en m/s.

Como se sabe, para calcular T_D se toman los datos de abatimiento S_{pA} , S_{pB} para dos tiempos diferentes t_A y t_B ($t_B > t_A$); por lo que resulta:

$$S_{pB} - S_{pA} = \frac{Q}{4\pi T_D} \ln \frac{t_B}{t_A} \quad <12>$$

Por consiguiente:

$$T_D = \frac{Q}{4\pi(S_{pB} - S_{pA})} \ln \frac{t_B}{t_A} \quad <13>$$

La ecuación 13, expresada en logaritmos de base 10, queda como:

$$T_D = \frac{2.3026Q}{4\pi(S_{pB} - S_{pA})} \log \frac{t_B}{t_A} \quad <14>$$

Si los datos de tiempo-abatimiento se representan en papel semilogarítmico se tres ciclos, tal como aparece en la figura 6 denominado S_p al abatimiento por ciclos logarítmicos, resultará que:

$$T_D = \frac{2.3026Q}{4\pi \Delta S_p} \log \frac{10}{1} = 0.1832 \frac{Q}{\Delta S_p} \quad <15>$$

Lo que permite calcular T_D a través de tomar del gráfico el valor de S_p . Hasta aquí, el procedimiento es igual al que clásicamente se utiliza.

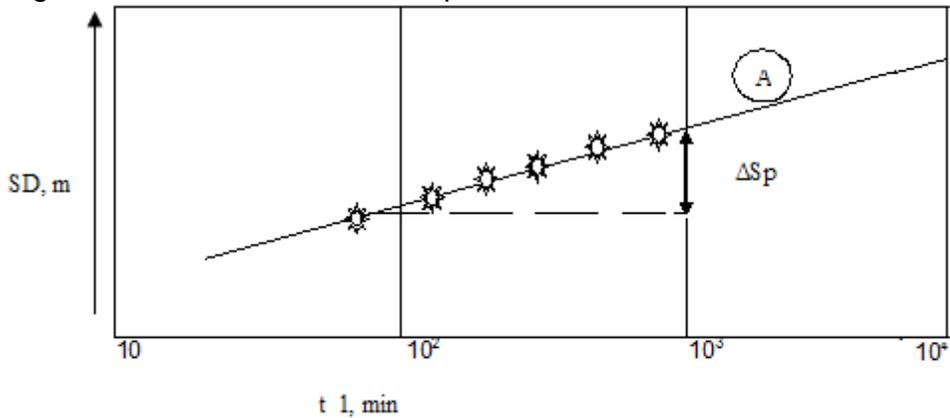
Para calcular T_T haría falta. La diferencia de abatimiento entre dos puntos, pero solamente se tiene uno. Sin embargo, suponiendo flujo permanente, es decir, condiciones de equilibrio, lo que se logra aproximadamente, si el tiempo considerado es lo suficientemente grande, por ejemplo 10^4 minutos (166,67 h). La prueba de de pozo puede tener puede tener menos de 24h de duración, y el abatimiento para 10^4 min se obtiene prolongando La línea recta que representa S_p vs t hasta el tiempo 10^4 minutos.

De ese modo se puede aplicar la formulación para el cálculo del abatimiento en régimen permanente expresada por:

$$S_p = \frac{Q}{4\pi T_D} * \ln \frac{r_o}{r_p} + \frac{Q^2}{4\pi^2 T_T^2 r_p} \quad <16>$$

Donde r_o , radio de influencia.

Figura 6. Abatimientos vs Tiempo de Bombeo



Fuente: Diosdado Perez Franco, 1995.

Donde S_D , en m (escala aritmética), t_1 , en min (escala logarítmica)

Suponiendo un valor grande para r_o a la 10^4 minutos, por ejemplo, 2000 m, se puede calcular la componente darciana S_{Dp} , el abatimiento en flujo permanente:

$$S_{Dp} = \frac{Q}{2\pi T_D} * \ln \frac{r_o}{r_p} \quad <17>$$

De modo que tomando S_p del gráfico para 10^4 min, resultará que la componente turbulenta del abatimiento S_{Tp} , que es constante, quedará expresada por:

$$S_p = S_p - S_{Dp} = \frac{Q^2}{4\pi^2 T_T^2 r_p} \quad <18>$$

Y por consiguiente:

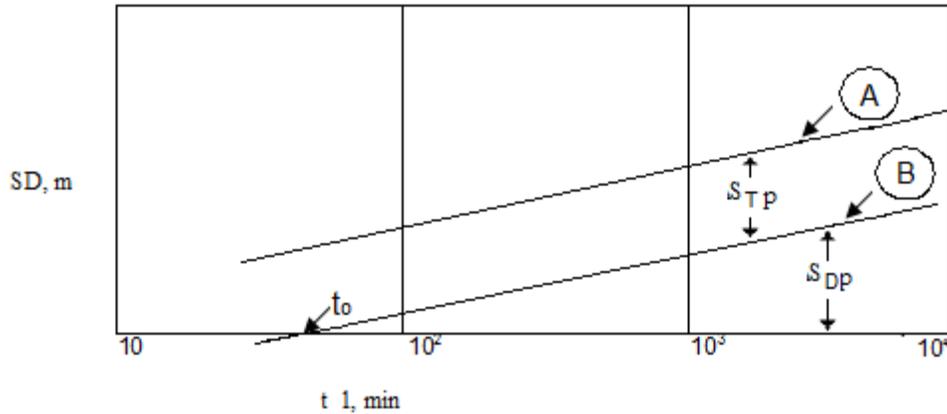
$$T_T = \left(\frac{Q^2}{4\pi^2 r_p S_{Tp}} \right)^{1/2} \quad <19>$$

Que permite calcular T_T .

El cálculo del coeficiente de almacenamiento se puede realizar analíticamente o gráficamente. Para el cálculo analítico se toma un dato de abatimiento para un

tiempo cualquiera que este sobre la recta A del gráfico (fig. 6), y utilizando la ecuación 11 se determina E que es la única incógnita en ella.

Figura 7. Abatimiento Lineal o Darciano S_D (m) vs Log t de bombeo



Fuente: Diosdado Perez Franco, 1995.

Donde S_D , en m (escala aritmética), t , en min (escala logarítmica)

Para el cálculo gráfico, se traza la línea B paralela a la A, a una distancia por debajo de ésta, al igual al valor constante de S_{TP} , que representará la variación del abatimiento darciano con el tiempo (Fig. 7).

La línea B se prolonga hasta que S_{DP} sea cero, lo que ocurre para el tiempo t_0 y partiendo del valor de la componente darciana del abatimiento

$$S_p = \frac{Q}{4\pi T_D} \ln \frac{2,246 T_D t}{r_p^2 E} \quad <20>$$

Como para $S_{DP} = 0$, $t = t_0$ (del gráfico), resultará:

$$0 = \ln \frac{2,246 T_D t_0}{r_p^2 E} \quad <21>$$

o sea que:

$$\frac{2,246 T_D t}{r_p^2 E} = 1 \quad <22>$$

$$E = \frac{2,246 T_D t_0}{r_p^2} \quad <23>$$

Ecuación que permita calcular E

3.2.1.3 Cálculo de las propiedades hidrogeológicas asociadas a T_D y T_T . Como se sabe,

$$T_D = mK_D \quad <24>$$

y

$$K_D = \frac{gk}{v} \quad <25>$$

donde: m, espesor saturado del acuífero, en m;
 K_D , conductividad hidráulica darciana, en m/s;
g, intensidad de la gravedad, m/s^2 ;
k, permeabilidad intrínseca, en m;
 v , viscosidad cinemática del agua, en m^2/s .

Luego, la conductividad hidráulica darciana será:

$$K_D = \frac{T_D}{m} \quad <26>$$

Y La permeabilidad intrínseca

$$k = \frac{vK_D}{g} = \frac{vT_D}{gm} \quad <27>$$

Por otra parte, según Iglesias López citado por Perez Franco, 1995.

$$T_T = mK_T \quad <28>$$

y

$$K_T = \left(\frac{gk^{1/2}}{c} \right)^{1/2} \quad <29>$$

Donde: K_T , conductividad hidráulica turbulenta, en m/s;
C, coeficiente de rugosidad equivalente del método adimensional.
Luego, la conductividad hidráulica turbulenta resultará:

$$K_T = \frac{T_T}{m} \quad <30>$$

y

$$C = \frac{gk^{1/2}}{K_T^2} = \frac{gk^{1/2}m^2}{T_T^2} \quad <31>$$

De este modo, las propiedades del medio se podrán expresar, como se quiera, por cada uno de los tríos:

T_D, T_T y E ; K_D, K_T , y E ; k, C, E

Como se observa, el método presentado permite calcular las propiedades hidrogeológicas con información de un solo punto de la prueba de un pozo, con suficiente aproximación para poder predecir en comportamiento de éste para cualquier caudal de extracción.

3.2.2 Procedimientos para la Evaluación de la conducción, distribución y almacenamientos en el sistema de acueducto. Fueron los siguientes:

- Cumplimiento de la reglamentación RAS 2000 y resoluciones pertinentes y vigentes.
- Diseño y aplicación de una Encuesta para establecer el tamaño, los tipos de demanda y manejo del agua.
- Diseñar etapas o escenarios de proyección del funcionamiento del sistema de acueducto

3.3 REALIZAR LOS ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS GENERALES DEL PROYECTO INCLUIDA LA SEDE PRINCIPAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA.

Los estudios topográficos se realizaron utilizando equipos de alta precisión marca Sokkia DT 600, CST/berger de propiedad de la Universidad de Sucre y haciendo georeferenciación con equipo GPS marca Garmin 7600. Los cálculos topográficos se revisaron y se dibujaron haciendo utilización de los programas Topocal y Autocad.

Las precisiones de control fueron de 5" en levantamientos taquimétricos y altimétricos. Como BM se utilizó el pilar de concreto que empotra la boca del pozo de la captación del agua subterránea del sistema de acueducto, cuya altura sobre el terreno natural es 0,87 m. Y este tiene cota de terreno de 176,0 m., establecida con GPS en varias jornadas.

3.4 ANALIZAR ESTUDIOS HIDROMETEOROLÓGICOS, A NIVEL REGIONAL Y LOCAL, PARA DETERMINAR LA PRECIPITACIÓN, LA EVAPOTRANSPIRACIÓN, LOS CAUDALES DE ESCORRENTÍAS Y LA CAPACIDAD POTENCIAL DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS.

En cumplimiento de este objetivo específico se tomaron como fundamento del Estudio los documentos producidos por investigaciones realizadas por Ingeominas por la Universidad Nacional, fundamentalmente los titulados “Evaluación de las Condiciones de la Explotación de la Zona de Recarga del Acuífero Morroa. Departamento de Sucre y Córdoba. Colombia. (Buitrago et al, 2000)”, “Evaluación de las Condiciones de uso del Agua Subterránea en la zona de Recarga del Acuífero Morroa. Colombia” (Donado G et al, 2001) y “Diagnostico Ambiental del Acuífero Costero Morrosquillo, zona litoral Tolú – Coveñas. (Gutiérrez G, 2004)”. De este trabajo se tomó la Información hidrometeorológica de la zona de Montes de María leída y procesada a partir de la Estación Primates de Coloso durante más de 30 años. Esta información alcanza cobertura técnica a Flor del Monte.

El análisis se hizo orientado al establecimiento de las características hidroclimáticas, de los elementos conceptuales de la oferta hídrica, de la oferta hídrica en cuencas hidrográficas, de la zonificación hidrográfica, del balance hídrico, de la escorrentía media anual, del índice de aridez, de rendimiento hídrico, de los usos y calidad del agua, y de las características de la calidad del recurso hídrico superficial, potencial recarga de los acuíferos. Estas características de calidad determinadas por los parámetros pH, conductividad eléctrica déficit de oxígeno, demanda química de oxígeno y turbidez.

El análisis de las características hidrometeorológicas constituyó el fundamento para la evaluación de la oferta hídrica subterránea viable ante la demanda futura de la comunidad, considerado el acuífero formación Morroa como fuente única de abastecimiento de agua en el horizonte del proyecto.

3.5 ESTABLECER LAS CONDICIONES DE CALIDAD Y DE CANTIDAD TANTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA CAPTADA COMO DE LAS AGUAS LLUVIAS LOCALES, EN LA COMUNIDAD Y EN LA IETA FLOR DEL MONTE

3.5.1 Condiciones de calidad del agua de abastecimiento. Para establecer estas condiciones se hicieron inspecciones oculares a las instalaciones de captación, de conducción, almacenamiento, distribución y recepción del agua por los usuarios.

Durante la realización de los aforos en la captación, en los puntos de entrega a las fincas, viviendas e instituciones se tomaron muestras de agua representativas.

Se tomaron muestras representativas de la captación, del almacenamiento del sistema comunitario y del almacenamiento en la IETA (3 en total). Las muestras de agua se sometieron a análisis para determinar las principales características físicas y químicas. Las características microbiológicas se realizaron a la muestra de agua tomada a boca de pozo.

En el laboratorio de aguas de la Universidad de Sucre se realizaron los análisis de las muestras de agua siguiendo los procedimientos universalmente establecidos y vigentes (standard methods).

Con base en los resultados obtenidos y acorde con lo establecido en el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2000) y en sus decretos y resoluciones reglamentarias vigentes se hizo la clasificación del agua captada y suministrada; consecuentemente, se estableció la calidad existente del agua ante los requerimientos para aguas potable en Colombia.

3.5.2 Condiciones de cantidad de aguas lluvias y de agua subterránea en el proyecto.

3.5.2.1 Aguas Lluvias. Con base tanto en la precipitación media mensual multianual de la zona como del área de cubierta de las edificaciones de la IETA Flor del Monte se estableció el volumen de agua lluvia para potencial almacenamiento.

Como actividad de la comisión topográfica se verificó el área total de la cubierta de las edificaciones de la Institución Educativa.

Mediante la realización de una Encuesta en abril de 2010 se censo la totalidad de la población y de las viviendas, cuyo formato se anexa. El equipo de encuestadores estuvo conformado por estudiantes del 10° de la IETA.

La aplicación del RAS 2000 y su modificación mediante la resolución 2320 de 2009 fundamentó el cálculo del tamaño de la Demanda, la cual se fijó para los escenarios 2010, 2020 y 2027.

En cuanto a la determinación de la Oferta de agua subterránea en el proyecto esta se estableció con base en las características del acuífero, la estructura del pozo en explotación y el equipo de bombeo en operación actual. La cantidad de agua subterránea extraíble, máximo permisible se estableció con base en el siguiente procedimiento.

3.5.2.2 Procedimiento para calcular el Caudal máximo a extraer de un pozo. Si se observa cualquiera de las ecuaciones que expresan el abatimiento en un pozo de bombeo, se verá que está en función del caudal extraído; y que a mayor caudal se producirá mayor abatimiento. De lo anterior resulta lógico inducir que el máximo caudal que se podrá extraer de un pozo corresponderá al máximo abatimiento posible.

En el caso de un acuífero confinado, puede resultar conveniente mantenerlo siempre trabajando bajo presión, por lo que, en el caso, el máximo abatimiento recomendable es aquel que garantiza que el nivel del agua en el pozo no baje por debajo del techo del acuífero.

Con ese abatimiento se lograra extraer también el máximo caudal recomendable.

En un acuífero freático, el problema del abatimiento posible y el caudal máximo que se puede extraer de un pozo, ha sido estudiado por diversos investigadores y se han hecho análisis bastante completos para la situación de régimen lineal de flujo hacia el pozo, que se resumirán a continuación como base para extenderlos a las condiciones generales de flujo no lineal.

Si se examina la ecuación:

$$h_o^2 - h_p^2 = \frac{Q}{\pi K D} * \ln \frac{r_o}{r_p} \quad <32>$$

Deducida para el flujo lineal permanente hacia un pozo en acuífero freático, se verá que el caudal máximo, Q_{max} , se producirá cuando $h_p = 0$ ($S_{DP} = h_p$), donde resulta que:

$$Q_{max} = \frac{\pi K_D h_o^2}{\ln \frac{r_o}{r_p}} \quad <33>$$

Esto sería físicamente imposible, si no existiera por la encima de la curva teórica de abatimiento, la superficie de filtración, ya que de no existir ésta, el caudal tendría que pasar a través de un área completamente nula al ser $h_p = 0$.

La ecuación 32 puede también estar expresada en función del abatimiento, analizando que:

$$\begin{aligned} h_o^2 - h_p^2 &= (h_o - h_p)(h_o + h_p) \\ &= (h_o - h_p) S_{DP} \\ &= (h_o + h_o - S_{DP}) S_{DP} \end{aligned}$$

$$= (h_o + h_o - S_{DP}) S_{DP} = (2h_o - S_{DP}) S_{DP}$$

Luego:

$$(2h_o - S_{DP}) S_{DP} = \frac{Q_{max}}{\pi K_D h_o^2} * \ln \frac{r_o}{r_p}$$

Que para $S_{DP} = h_o$ dará el caudal máximo y se transforma en la ecuación 33.

El caudal Q, que corresponde a un abatimiento cualquiera, S_{DP} (altura h_p), se puede expresar en función del caudal máximo, comparando las ecuaciones 32 y 33, como sigue:

$$Q = Q_{max} = \left(1 - \frac{h_p}{h_o}\right)^{1/2} \quad <34>$$

Y la altura h_p y el abatimiento S_p correspondiente al caudal Q, como:

$$h_p = h_o \left(1 - \frac{Q}{Q_{max}}\right)^2 \quad <35>$$

$$S_{DP} = h_o \left[1 - \left(1 - \frac{Q}{Q_{max}}\right)^2\right] \quad <36>$$

Si se estudia la variación de h_p con el caudal a través de su derivada (18)

$$\frac{d h_p}{d Q} = \frac{h_o}{2 Q_{max} \left(1 - \frac{Q}{Q_{max}}\right)^{1/2}} = \frac{h_o^2}{2 Q_{max} h_p} \quad <37>$$

Se verá que cuando Q tiende a Q_{max} , la derivada tiende hacia al infinito; por lo que, para caudales cercanos al caudal máximo, existirá una fuerte inestabilidad del nivel dinámico del agua en el pozo, al presentarse variaciones importantes del abatimiento para muy pequeñas variaciones del caudal. En la figura 8, adaptada de Schneebeli citado por Perez Franco, aparece una curva de caudal-abatimiento donde los abatimientos se expresan en porcentaje del caudal teórico máximo. Es decir, que la curva es de:

$$\left(\frac{S_{DP}}{h_o}\right) \text{ vs. } \left(\frac{Q}{Q_{max}}\right).$$

Si se observa la curva de la figura 7, se verá que se llega a un punto donde el aumento del abatimiento es desproporcionado, con lo poco que aumenta el caudal; ese punto se denomina *punto crítico*. Según Castany citado por Perez

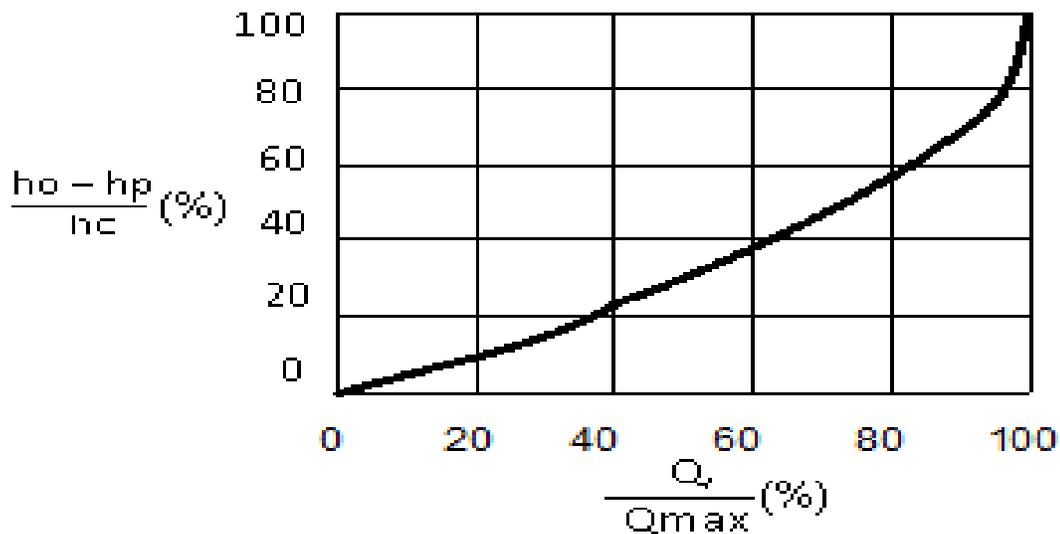
Franco, ciertos autores admiten que el punto crítico está determinado por la ecuación:

$$S_{DP} = 0.75h_o \quad <38>$$

Y por consiguiente, el caudal máximo práctico a extraer del pozo, Q_{mp} , sería:

$$Q_{mp} = \frac{0.9375\pi K_D h_o^2}{\ln \frac{r_o}{r_p}} \quad <39>$$

Figura 8. Curva de caudal – abatimiento en forma adimensional (adaptada de Schneebeli).



Fuente: Diosdado Perez Franco, 1995.

De acuerdo con consideraciones teóricas más o menos aceptables en relación con el máximo abatimiento y la longitud de la superficie de filtración, Castany llega a establecer que el abatimiento no debe pasar de 50% del espesor saturado inicia del acuífero, h_o ; por lo que, en el caso, el caudal máximo recomendable a extraer de un pozo, en un acuífero freático, resultará

$$Q_{mp} = \frac{0.75\pi K_D h_o^2}{\ln \frac{r_o}{r_p}} \quad <40>$$

El análisis realizado para definir en condiciones de flujo lineal, como abatimiento máximo en un acuífero libre, 50% del espesor saturado, permite considerar que en

el caso de flujo no lineal, es debe utilizar como abatimiento máximo recomendable 0.5ho y como caudal máximo el que corresponda a dicho abatimiento.

De modo que, independientemente del régimen de flujo que se produzca alrededor del pozo, como consecuencia de la extracción de agua de éste, el máximo abatimiento recomendable será: a) **para acuíferos confinados, aquel que garantice que el nivel del agua en el pozo no descienda por debajo del techo del acuífero, y b) para acuíferos libres, 50% del espesor saturado.** Sin embargo, no siempre es posible o necesario extraer del pozo el caudal máximo, y el caudal a extraer estará limitado por condiciones que fijarán un abatimiento permisible como puede ser, por ejemplo, la necesidad de evitar la intrusión salina en un acuífero costero, consideraciones de carácter económico.

Si no se considera el efecto de desarenado en el acuífero, el abatimiento dentro de la camisa de un pozo de bombeo en un acuífero confinado, se puede expresar a partir de la ecuación siguiente:

$$S_w = S_p + \Delta_{rp-w} + h_{fcs} \quad <41>$$

Donde: S_p : Abatimiento en la cara del pozo a causa de las condiciones de flujo existentes en el acuífero.

Δ_{rp-w} : Abatimiento adicional que se produce en el empaque de la grava.

h_{fcs} : pérdida de carga en la rejilla y en la camisa del pozo

También se sabe que, de acuerdo con los estudios realizados, S_w se expresa a través de la ecuación característica (42), o sea, que:

$$S_w = \frac{\ln t}{4\pi T_D} * Q + K_{LW}Q + D_W Q^2 \quad <42>$$

Si se fija un valor permisible a S_w , el caudal a extraer se podrá calcular a partir de cualquiera de las ecuaciones 42 o 44. El valor permisible de S_w se fija antes de construir el pozo, y los coeficientes K_{LW} y D_W se calculan después de que el pozo está construido y ensayado; por lo que resulta mejor hacer cualquier análisis a partir de la ecuación 44, como se verá a continuación.

A partir de la ecuación 41 se puede definir qué:

$$S_p = S_w - (\Delta_{rp-w} + h_{fcs}) \quad <43>$$

Conocido el valor permisible de S_w , si se hace un estimado de las pérdidas en el empaque de grava y en la camisa y rejilla, se podrá definir el valor de S_p , o sea, del abatimiento de la cara del pozo, que al no considerar el efecto de desarenado, resultará ligeramente superior al real, lo que estaría del lado de la seguridad. Como se sabe, el cálculo de S_p se puede realizar, conocidas las propiedades del acuífero, utilizando la ecuación:

$$S_p = \frac{Q}{4\pi T_D} * \ln \left(\left(\frac{r_o}{r_p} \right)^2 + \frac{Q^2}{4\pi T_T^2 r_p} \right) \quad <44>$$

Donde el valor de r_o se puede calcular por un periodo de 24 h, por ejemplo, y el radio r_p hasta la cara del pozo, definirlo en función de las características de la estructura necesaria y de los efectos posibles de su valor sobre el valor del abatimiento.

Si por comodidad, en el proceso del cálculo, se hacen:

$$\frac{\ln \frac{r_o}{r_p}}{4\pi T_D} = B_p = \text{constante} \quad <45>$$

y

$$X = \frac{1}{4\pi T_T^2 r_p} = D_p = \text{constante} \quad <46>$$

la ecuación 44 se podrá transformar en

$$S_p = B_p Q * D_p Q^2 \quad <47>$$

Ecuación que resultara para Q , tendrá como solución única:

$$Q = \frac{(-B_p + (B_p^2 + 4D_p S_p)^{\frac{1}{2}})}{2D_p} \quad <48>$$

Esta ecuación permitió para este proyecto calcular el caudal que se puede extraer del pozo en las condiciones establecidas. En el capítulo siguiente se expresan los resultados de estos procedimientos.

4. RESULTADOS

4.1 DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La evidencia y los productos de la revisión bibliográfica realizada se encuentran incorporados y expresados en la descripción de los procedimientos y cálculos, así como en el análisis é interpretación de los resultados de cada uno de los objetivos específicos del proyecto.

Sin embargo, se destacan los resultados en los siguientes documentos

- Memoria Técnica del Mapa de Aguas Subterráneas del departamento de Sucre en escala 1:250.00 Exploración y Evaluación de aguas subterráneas.

Del contenido de éste documento base se estudiaron los siguientes aspectos porque ellos caracterizan el área de investigación de éste proyecto.

- Aspectos Fisiográficos.
 - Aspectos Geomorfológicos
 - Aspectos Climáticos
 - Aspectos Estratigráficos.
-
- Evaluación de las Condiciones de Explotación del Agua Subterránea en el Acuífero Morroa, por Buitrago, J et al, Universidad Nacional de Colombia, 2000 y Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Zona de Recarga del Acuífero Morroa (Departamento de Sucre y Córdoba) por Donado, L et al, Universidad Nacional de Colombia, 2000.

Sus contenidos y conclusiones permitieron apropiarse de resultados que aplican a la presente investigación, concretamente en lo concerniente a la planeación y control del uso del recurso hídrico subterráneo, a los promedios multianuales de precipitación y recarga potencial, a la calidad del agua abastecida y a la condición de superávit predominante en la explotación del agua subterránea en la zona de Ovejas, éste evento calificado así por los investigadores con base en los resultados que obtuvieron.

Por otra parte, como resultado de la indagación de referencias bibliográficas no existe información y documentación formal de la memoria descriptiva técnica del pozo profundo que actualmente abastece a la comunidad Flor del Monte en la Alcaldía Municipal de Ovejas, ni en la Gobernación de Sucre como tampoco en Carsucre y en las Empresas Privadas de Ingeniería.

Actualmente la operación de captación de éste pozo profundo comunitario es ilegal y por disposición de Carsucre tiene orden de suspensión de la operación mediante la Resolución N° 0485 de Julio de 2009 emanada de la Dirección de la Corporación.

Con base en la situación anómala vigente en la actualidad, conjuntamente con la Dirección del Proyecto el Autor construyó la información específica de las características hidráulicas del acuífero formación Morroa en el área de investigación mediante la correlación hidrogeológica prevaleciente con las zonas de captación en operación en un radio de acción de 3.0 Km. Estos pozos profundos, están identificados con los códigos 44-PP-II-7 y 44-PP-II-8, del sector Ovejitas que abastecen al municipio de El Carmen de Bolívar, el pozo 44-PP-II-12 del sector Ovejitas que abastece al Municipio de Ovejas y al corregimiento de La Peña, y también el pozo 44-PP-II- San Rafael que abastece al corregimiento San Rafael del Municipio de Ovejas.

La Dirección del Proyecto, previa solicitud formal, recibió de la Dirección de Carsucre la información técnica pertinente a las pruebas de bombeo y a la interpretación de los resultados realizados en los tres pozos profundos, en mención, del sector Ovejitas del acuífero formación Morroa.

El Ingeniero Frank Rodríguez Pérez cedió formalmente a la Universidad de Sucre la información correspondiente a los aspectos técnicos del pozo profundo de San Rafael el cual construyó y puso en marcha en el año de 1981; así mismo, la información de la propuesta de construcción de un primer pozo profundo en el corregimiento Flor del Monte en aquella época. Este pozo operó abasteciendo a la comunidad hasta el año 1997 cuando fué cerrado al ponerse en marcha el pozo actual.

La información recaudada de la comunidad, vía oral, en relación con la causa de la suspensión de aquel abastecimiento inicial la calidad del agua caracterizada por “ser agua gorda”, “muy salada”, “dañina al estomago” y otras manifestaciones en los pobladores mayores de edad. Su consumo durante 15 años llevo a padecimientos gástricos, grados de hipertensión y problemas renales.

Finalmente la autoría del proyecto hizo acopio de la Resolución N° 2320 de 2009 promulgada por el Ministerio de Medio Ambiente en la cual se introducen modificaciones a la reglamentación RAS 2000 en lo concerniente a Dotación, Control de Perdidas y otros aspectos de los sistemas de acueducto. También se aplico lo establecido en la Resolución 2115 y en el Decreto 1575, ambos de 2007, promulgados por el Ministerio de Protección Social sobre los sistemas para la protección, control y vigilancia de la calidad de agua para consumo humano.

4.2. DE LA EVALUACIÓN EN CAMPO DE LA PRODUCCIÓN INSTALADA DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO, EL ESTADO FÍSICO E HIDRÁULICO DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN, Y EL ESTADO DE LA RED INTRADOMICILIARIA DE LA IETA.

4.2.1. Fuente de abastecimiento. Memoria de Cálculos. El sector del acuífero formación Morroa en la zona Noreste de su extensión, sector oriental rural del municipio de Ovejas, es la Unidad Hidrogeológica según estudios previos de Ingeominas para establecer el modelo hidrogeológico conceptual, se caracteriza esta Unidad por una facie muy arcillosa, interestratificada de arenas de grano fino a medio, arcillosas, con capas de arcillolitas y conglomerados. (Donado, 2001).

Actualmente en Flor del Monte la explotación se hace mediante un pozo profundo de 103 m que penetra totalmente las tres primeras capas acuíferas del sector, atravesando desde superficie tres acuicierres intercalados con las capas acuíferas, conformados por arcillas, muy impermeables. La captación se hace de las dos capas acuíferas inferiores penetradas. Las características geológicas y geotécnicas de éstas capas por definición y por las investigaciones antecedentes, son típicas de acuíferos confinados ó cautivos.

A continuación se informan los resultados de la indagación documentaria en relación con la columna litológica y el diseño del pozo construido actualmente en operación.

Tabla 7. Columna litológica ó perfil estratigrafico del pozo Pozo 45 – I – C – PP – 01 de Flor del Monte – Sucre
Noviembre 4 de 1997

METROS		MINUTOS	MATERIALES	OBSERVACIONES
0	1	1	Arcilla Amarilla	Con presencia de material arenoso de grano fino a medio
1	2	2		
2	3	2		
3	4	2		
4	5	2		
5	6	2		
6	7	2		
7	8	3		
8	9	10	Arenas	

9	10	6	Arcillosas Finas	
10	11	6		
11	12	6		
12	13	6		
13	14	6		
14	15	6		
15	16	6		
16	17	6		
17	18	6		
18	19	6		Arenas Finas Medias
19	20	6		
20	21	6		
21	22	6		
22	23	6		
23	24	6		
24	25	6		
25	26	6		
26	27	6		
27	28	15	Arcilla Gris	
28	29	15		
29	30	15		
30	31	15		
31	32	15		
32	33	15		
33	34	6	Arenas Arcillosas Finas Medias	
34	35	6		
35	36	6		
36	37	6		
37	38	6		

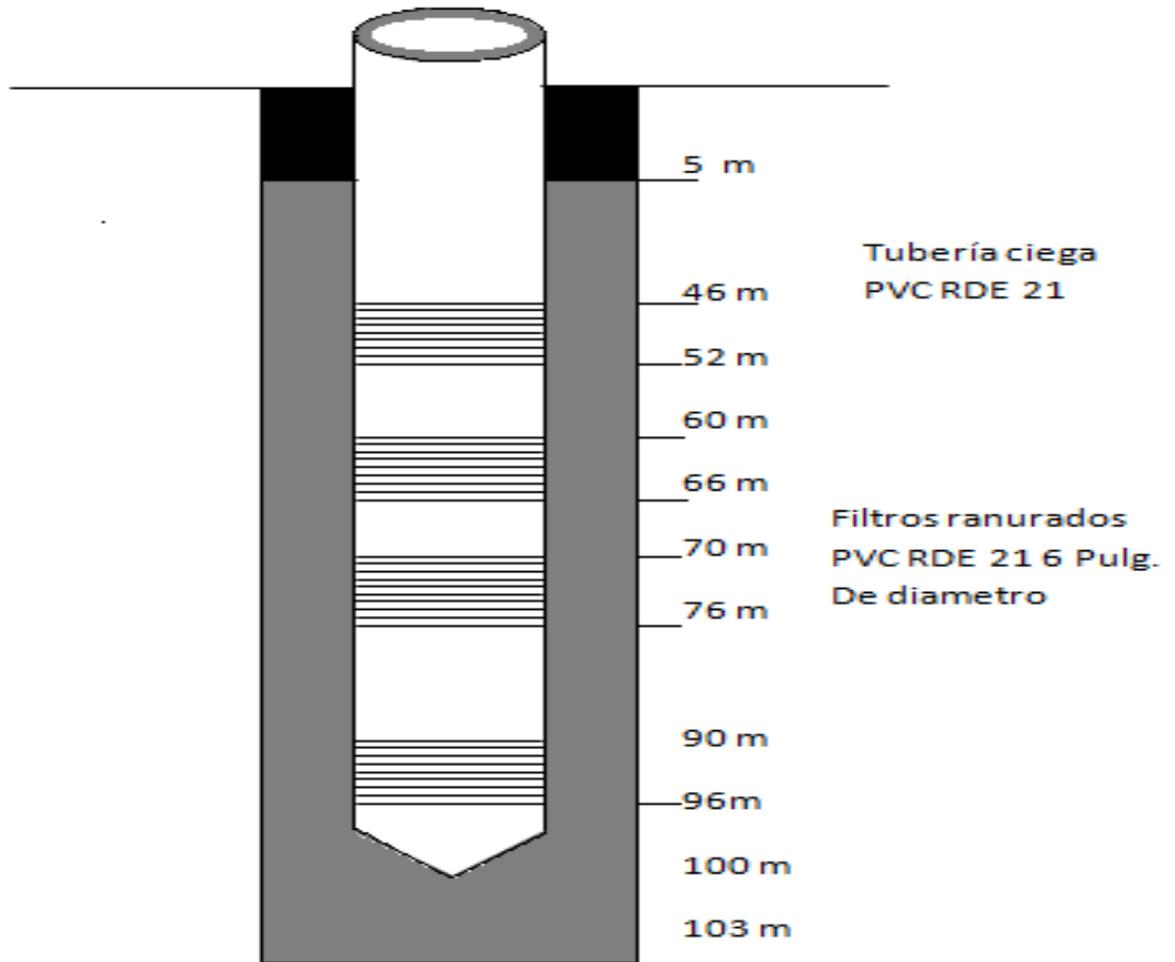
38	39	6	Arenas Arcillosas Finas Medias	
39	40	6		
40	41	6		
41	42	6		
42	43	6		
43	44	6		
44	45	6		
45	46	6		
46	47	6		
47	48	6		
48	49	6		
49	50	6		
50	51	6		Arenas Arcillosas Finas Medias
51	52	6		
52	53	6		
53	54	6		
54	55	6		
55	56	6		
56	57	6		
57	58	6		
58	59	6		
59	60	6		
60	61	6		
61	62	6		
62	63	6		
63	64	6		
64	65	6		
65	66	6		
66	67	6		

67	68	6		
68	69	6		
69	70	6		
70	71	6		
71	72	6		
72	73	6		
73	74	6		
74	75	6		
75	76	6		
76	77	6		
77	78	10	Arcilla Verde con arena fina de granos subredondeados	
78	79	10		
79	80	10		
80	81	10		
81	82	10		
82	83	10	Arcilla Verde con arena fina de granos subredondeados	
83	84	10		
84	85	10		
85	86	10		
86	87	10		
87	88	10		
88	89	7		
89	90	7		
90	91	7		
91	92	7	Arenas Arcillosas Finas Medias Gruesas	
92	93	7		
93	94	7		
94	95	7		

95	96	7		
96	97	7		
97	98	7		
98	99	7		
99	100	7		
100	101	7	Arcilla de color verde oscura	
101	102	7		
102	103	7		
103	104	7		
104	105	7		
105	106	7		
106	107	7		
107	108	7		
108	109	7		
109	110	7		

Fuente: Gobernación de Sucre, 1997.

Figura 9. Diseño Técnico del Pozo 45-I-C-PP-01 de Flor del Monte - Ovejas



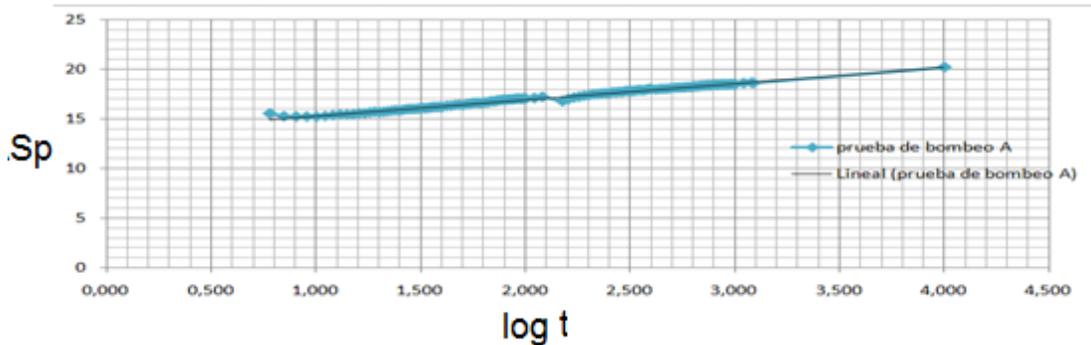
Fuente: Gobernación de Sucre, 1997

Prueba de Bombeo a Caudal Constante en el Pozo de Abastecimiento de Flor del Monte.

Caudal de la prueba de bombeo, $Q = 7,3 \text{ l/s} = 0,0073 \text{ m}^3/\text{s} = 26,28 \text{ m}^3/\text{h}$.

Con base en los resultados obtenidos en la prueba de bombeo, consignados en el Anexo N° 1 (CD), se construye la Figura 9. con el valor de S_p (m), en la ordenada y el valor $\log t$ (min) en la abscisa.

Figura 10. Abatimientos vs tiempo de bombeo



Fuente: El autor

De la curva semilogarítmica Log t vs Sp, para el ciclo de 10^2 a 10^3 , se determina

$$\Delta S_p = 18,47 - 17,04 = 1,43 \text{ m}$$

Remplazando valores en la ecuación 15 se tiene

$$T_D = \frac{Q}{\Delta S_p} = 9,4 e - 4 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 5,6 * e - 2 \frac{\text{m}^2}{\text{min}} = 3,36 e - 2 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} = 81 \frac{\text{m}^2}{\text{día}}$$

Para $t = 10^4 \text{min}$, se asume que el radio de influencia alcanzado es $r_0 = 1000 \text{ m}$, valor de un acuífero confinado (rango de valores típicos de 900 – 1200 m) según FICHS, 2009. El régimen del flujo subterráneo se asume estacionario y por lo tanto:

$$S_{Dp} = \frac{Q}{2\pi T_D} \ln \frac{r_0}{r_p} \quad <17>$$

En la fig. 9., la ecuación de la recta resultante es:

$$S_p = 13,618 + 1,6517 \log t, \text{ t en min y Sp en metros } (r^2 = 0,9941)$$

Para $t = 10^4 \text{min}$, el valor de Sp = 20,22 metros, (o por extrapolación grafica);

Así remplazando valores en la ecuación 18 se obtuvo $S_{Dp} = 11,36 \text{ metros}$.

$$\text{Por lo tanto, } S_{TP} = S_p - S_{Dp} = 20,22 - 11,36 = 9,71 \text{ mts}$$

$$\text{Pero } S_{TP} = \frac{Q^2}{4\pi T_T^2 r_p} \quad <18>$$

y por tanto

$$T_T = 2,2e-3 \frac{m^2}{s}$$

De la curva semilogarítmica, figura 7, la recta A expresa los abatimientos totales S_p , y la recta B expresa los abatimientos darcianos S_{Dp} , a lo largo del tiempo de bombeo. Como se observan las rectas son paralelas, distanciados verticalmente el valor S_{Tp} .

Por lo tanto, la ecuación de la recta B es $S_{Dp} = 1,6517 \log t + 4,758$

Para $S_{Dp} = 0$ (teóricamente), el tiempo t es t_0 , se determina por la intercepción de la recta B con el eje de las abscisas ó analíticamente con la ecuación de la pendiente de la recta B.

Se obtuvo el valor $t_0 = 0,0013$ min y mediante la ecuación 23 se obtuvo el valor del coeficiente de almacenamiento E del acuífero, por éste método y remplazando los valores ya conocidos:

$$E = \frac{2,246 * 5,6e-2 * 0,0013}{0,1016^2} = 0,016 = 1,6e-2$$

El valor obtenido para E no corresponde a la característica de los acuíferos confinados. Un valor aceptable debe provenir de los resultados de una prueba de bombeo de un pozo con pozos de observación ó satélites (al menos uno).

Con base en la Transmisibilidades calculadas, T_D y T_T los valores de las propiedades, ρ , μ , g , γ , del agua se determinan las características: K_D , K_T , k , C , teniendo en cuenta el espesor m de la capa acuífera, confinada continua.

Tenemos:

$$T_D = 9,4e-4 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T_T = 2,2e-3 \text{ m}^2/\text{s}$$

$E = 1,0e-4$ (Asumido para acuífero confinado, según FCIHS, 2009; y otras entidades investigadoras)

$$m = 44 + 12 = 56 \text{ m}$$

Para el valor de la temperatura media del agua extraída, 28 °C, las propiedades del fluido son las siguientes:

$$\rho = 996,3 \text{ Kg/m}^3, \quad \gamma = 9772 \text{ N/ m}^3, \quad \mu = 0,856 \text{ e-3 N*s/m}^2, \quad \nu = 0,860e-6 \text{ m}^2/\text{s}$$

Memoria de cálculo de las propiedades hidrogeológicas:

Conductividad Hidráulica

$$K_D = \frac{T_D}{m} = \frac{9,4e-4}{56} = 1,7e-5 \text{ m/s}$$

$$K_T = \frac{T_T}{m} = \frac{2,2e-3}{56} = 3,9e-5 \text{ m/s}$$

Permeabilidad Intrínseca del medio: k

$$k = \frac{K_{D*v}}{g} = \frac{1,7e-5 * 0,86e-6}{9,81} = 0,15e-11 \text{ m}^2$$

Los valores calculados para K_D , K_T , k son típicos para los acuíferos porosos intergranulares de arenas limpias cuyos valores típicos para K son de 10^{-2} a 10^{-6} y k son de 10^{-9} a 10^{-13} m^2 según investigadores peruanos (www.bvcoperación.pe/biblioteca).

$$\text{Ahora } k = \frac{T_{D*v}}{g*m} = \frac{(0,86e-6 * 9,4e-4) \frac{\text{m}^4}{\text{s}^2}}{(9,81 * 56) \frac{\text{m}^4}{\text{s}^2}} = 0,15e-11 \text{ m}^2$$

$$\text{Despejando } r_0 \text{ en la ecuación 44: } \ln r_0 = \frac{2\pi T_D * S_{Dp}}{Q} + \ln r_p$$

Reemplazando valores conocidos:

$$\ln r_0 = \frac{2\pi * 9,4e-4 * 11,36}{0,0073} + \ln(0,1016) \text{ y } r_0 = 997 \text{ m, Ok}$$

Esta ecuación es válida para flujo lineal como no lineal ya que en la práctica la extensión del r_0 depende fundamentalmente de la componente lineal del flujo.

El límite entre las zonas de flujo no lineal y lineal está definido por el radio de Darcy, r_D , el cuál se calcula con base en la ecuación 7.4 d en Perez Franco, 1995:

$$r_D = \frac{Q}{0,1\pi m} * \frac{K_D}{K_T^2} = \frac{Q}{0,1\pi m} * \frac{T_D}{T_T^2}$$

Reemplazando valores:

$$r_D = \frac{0,0073}{0,1\pi * 56} * \frac{9,4e - 4}{2,2e - 3^2} = 0,08m$$

Según investigadores Cubanos (IPJAE, 1995), se ha establecido que $r_D = 380 r_T$ entonces $r_T = \frac{0,08}{380} = 0,0002 m < r_p$.

En Perez Franco, 1995 la ecuación 10.16 establece que el abatimiento S_w que ocurre dentro de la camisa del pozo es:

$$S_w = \frac{\ln t}{4\pi T_D} Q + KL_w Q + D_w Q^2$$

donde $KL_w Q + D_w Q^2$ representan el valor de las pérdidas de energía producidas en la estructura del pozo y su entorno; el autor las denomina Δhw .

Para el cálculo del valor Δhw en el tramo representativo del flujo en régimen permanente se selecciona el $t = 960$ min al cuál correspondió el valor $S_w = 18,50$ m.

Remplazando valores en la ecuación anterior y despejando se obtiene:

$$\Delta hw = 18,50 - \frac{\ln 960}{4\pi * 9,4e - 4 \frac{m^2}{s}} * 0,0073 \frac{m^3}{s} = 14,26 m$$

Para $t = 960$ min se calcula el valor del abatimiento en el pozo (ecu. 11):

$$S_p = \frac{0,0073}{4\pi * 9,4e - 4} * \ln \frac{2,246 * 9,4e - 4 * 960}{0,1016^2 * 1e - 4} + 8,86 = 8,96 + 8,86 = 17,82 m$$

Por lo tanto,

$S_w - S_p = 18,50 - 17,82 = 0,68 m$, que es el valor de las pérdidas totales en la estructura del pozo desde el medio adyacente a la estructura, a través de ésta misma y en su interior por causa del flujo turbulento puro:

La eficiencia del pozo, ef , según la ecuación 10.41 en Perez Franco, 1995 es:

$$ef = \frac{S_p}{S_w} = \frac{17,82}{18,50} * 100\% \cong 96,3\%$$

Este valor es típico de un buen empaquetamiento de grava y el uso de camisa y rejillas del pozo en PVC.

Caudal Especifico, según la ecuación 10.43 de Perez Franco, 1995 es:

$$Q_s = \frac{Q}{S_w} = \frac{7,3}{18,50} \cong 0,4 \text{ lps/m}$$

Por definición, abatimiento Específico, $\frac{1}{Q_s} = \frac{S_w}{Q_s} = 2,5 \text{ m/lps}$

Comprobación del tipo de régimen de flujo en el acuífero:

Se asume el tipo de flujo no lineal hacia el pozo

$$S_{rD} = \frac{0,366Q}{T_T} \log \frac{R}{r_d} = \frac{0,366 * 0,0073}{2,2e-3} \log \frac{1000}{0,08} = 4,98m$$

Abatimiento a la distancia r_D de la cara del pozo = $5,27 + 8,86 = 13,84 \text{ m}$

Gradiente hidráulico a la distancia r_D de la cara del pozo:

$$I_{rD} = \frac{17,80 - 13,84}{0,08} = 49,5$$

Es decir, 49,5 es el gradiente del flujo dentro del pozo (Turbulento)

Para el material acuífero, tipificado como arenas limpias, $D_{10} = 10^{-4} \text{ m}$, entonces

$$R_H = D_{10}/4 = 0,25e-4 \text{ m}$$

El numero de Reynolds, N_R , del flujo en el acuífero es:

$$N_R = \frac{U_o * R_H}{\nu} = \frac{2,38e-7 * 0,25e-4 \frac{m^2}{s}}{0,86e-6 \frac{m^2}{s}} = 6,9e-6 < 1, \text{ es decir el flujo es}$$

lineal en el acuífero a partir de la cara del pozo

En la expresión de N_R la velocidad del agua en el acuífero, $U_o = K * I_o$ el valor del gradiente I_o se cálculo como 1.4 %, resultado del cociente $13.84/(r_0 - r_D)$, y en donde a su vez 13.84 m es la diferencia S_p de abatimientos en las distancias r_0 y r_D .

El valor del gradiente hidráulico crítico, I_{crd} se cálcula a través de la ecuación siguiente tomada de Perez Franco, 1995; remplazando valores:

$$I_{crd} = 0,05 * \left(\frac{r_r}{r_D}\right)^2 = 0,274 = 27,4\%$$

Dentro del pozo, el gradiente hidráulico I_W se calculó con base en los abatimientos en la cara y dentro de la camisa del pozo a lo largo del radio del pozo; de la siguiente manera:

$$I_W = \frac{\Delta S_w}{\Delta L} = \frac{18,50 - 17,82}{0,1016 - 0,08} = 31,5$$

A partir de los resultados obtenidos en varias investigaciones por el comité docente de la Fundación FCIHS de La Habana (FCIHS, 2009)³ definen la separación mínima entre pozos para evitar interferencias entre ellos, W, y se calcula así:

$$W = \frac{Q}{mU_0} = \frac{0,0073}{56 * 2,38e - 7} = 548 \text{ m}$$

donde las variables y sus respectivos valores ya habían sido definidas para el acuífero de este proyecto.

4.2.2. Infraestructura de conducción, almacenamiento, distribución é instalaciones intradomiciliarias de la comunidad y de la IETA. Para realizar la evaluación física é hidráulica y de los componentes (tuberías y tanques) del sistema comunitario de acueducto se partió de la determinación del tamaño de la Demanda de agua potable.

4.2.2.1 Proyección de la población. Con base en los datos censales del DANE, y los resultados de la Encuesta aplicada por el autor, se proyectó la población del corregimiento Flor del Monte, por diferentes métodos de cálculo como recomienda el RAS/2000, con el fin de establecer el *Nivel de Complejidad del Sistema*.

FCIHS. Op. Cit. p. 26

Para el análisis de la demanda a periodo de diseño, se tuvo en cuenta los lineamientos del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2000) incluida su modificación mediante la resolución 2320 de 2009 expedida por el MAVDT actual.

A partir de los comparativos, se determinó utilizar el método geométrico por considerarlo el más apropiado, teniendo en cuenta su aplicación para comunidades que no han alcanzado su desarrollo. Además, el corregimiento Flor del Monte cuenta con suficiente área para la construcción de vivienda, sin tendencia a la saturación.

La expresión utilizada es la siguiente:

$$P=P_1(1+r)^n \quad \text{Método Geométrico}$$

Donde:

P= Población final

n= Período comprendido entre el último censo considerado y el último año del período de diseño.

r= Constante de crecimiento geométrico = 1.0 %

P₁= Población del año t₁ en el que se efectuó el censo de población.

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{1995-1983}} - 1$$

Donde:

P_{uc}= Población último censo

P_{ci}= Población censo inicial

4.2.2.2 Definición del nivel de complejidad. La asignación del nivel de complejidad fué una de las primeras actividades que se realizó para el estudio del sistema de acueducto del Corregimiento Flor del Monte, de acuerdo con lo estipulado por el RAS en el numeral A.3.11

El Nivel de complejidad del sistema de acueducto del Corregimiento Flor del Monte se definió como *Bajo* de acuerdo a las características de la población existente.

Con base en ello el horizonte de proyecto es 15 años.

Con base en los resultados de los censos y de la Encuesta, y con la indagación realizada con líderes de la comunidad se establece una tasa de crecimiento poblacional de 1 % anual.

4.2.2.3 Estudio de la demanda. Consideraciones Generales: El diseño y la optimización del sistema de distribución de agua potable requieren que el caudal en cada zona del área corregimental se estime con una aproximación razonable basada en los resultados de la encuesta pertinente aplicada.

En la práctica de la ingeniería sanitaria se identifica en cada sector del sistema de acueducto el tipo de usuario (usos de agua potable) y sus respectivas demandas ó consumos. Se identificaron los usos domestico ó residencial é institucional

Análisis de la Demanda: Por no existir registros de macro y micro medición a través del sistema comunitario de acueducto el análisis de la demanda se fundamentó en el cálculo de consumos relacionados con las características actuales de la población y las recomendaciones del Reglamento RAS y sus decretos reglamentarios.

Dotación Neta: la dotación neta corresponde a la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante y depende del Nivel de Complejidad. En el caso del corregimiento Flor del Monte, calificado con el nivel Bajo, la dotación neta es 100 L/hab.día como valor máximo según la resolución 2320 de 2009. Se selecciono el valor 100 L/hab.día para clima cálido (temperatura de 28 ° C) como suficiente teniendo en cuenta las máximas necesidades.

Correcciones a la Dotación Neta:

Por Pérdidas: Con base en lo establecido en la resolución 2320 del 2009, la corrección por perdidas es del 25 %

Dotación Bruta: Se estableció según la siguiente ecuación:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 + p}$$

donde:

d_{bruta} = Dotación Bruta

d_{neta} = Dotación Neta Corregida

p = Porcentaje de pérdidas técnicas

Demanda

El caudal del consumo medio diario se calculó con la siguiente expresión:

$$Q_{md} = \frac{P * d_{bruta}}{86400}$$

A partir del consumo medio diario se calculó el caudal máximo diario como $QMD = Qmd \cdot K_1$ y el caudal máximo horario como $QMH = QMD \cdot K_2$

A continuación se expresa la memoria de cálculos correspondiente en relación con la demanda actual (año 2010) y también durante los escenarios futuros 2020 y 2027; se establece que a partir de la actualidad se dediquen dos años al diseño definitivo y a la construcción de las obras de éste proyecto

Memoria de cálculos

Población censada por encuesta: 1195 hab. (abril/10)
 N° de viviendas encuestadas 253 viviendas
 Promedio población / vivienda

$$Hab_{prom} = \frac{1195}{253} = 4.72 \text{ hab/viv}$$

N° de viviendas no encuestadas 300 – 253 = 47 viviendas
 N° de viviendas usuarios 300 viv.+IETA+G+E+PS =304

(Servicio eléctrico, servicio de acueducto)

Donde G es la Guardería del Bienestar Familiar, E es la Escuela de Básica Primaria, PS es el Puesto de Salud y la IETA es la Institución Educativa Técnica Agropecuaria

Fincas como usuarios rurales = 4

Viviendas totales = 304 + 4 = 308 viviendas

Nota: Las viviendas no encuestadas en abril de 2010 por estar cerradas están habitadas ordinariamente.

A continuación se calcula la población futura

Tabla 8. Proyección de la población del Corregimiento de Flor del Monte-Ovejas (SUCRE)

Año	Población Proyectada
2010	1417
2011	1431
2012	1445
2013	1460
2014	1474
2015	1489
2016	1504
2017	1519
2018	1434
2019	1550
2020	1565

2021	1581
2022	1597
2023	1612
2024	1629
2025	1645
2026	1661
2027	1678

Fuente: El Autor

Población beneficio – año 2010	1417 hab.
Dotación Neta+25% de perdidas = dotación Bruta	133.3 l/hab*día
Qmd (l/s) = $(1417*133.3)/86400=$	2.19 l/s
QMD (l/s) = Qmd * K1 = 2.19 * 2.19 =	2.84 l/s
QMH (l/s) = QMD * K2 = 2.84 * 1.6 =	4.55 l/s

A lo largo del periodo de diseño se establecieron tres escenarios de aplicación los cuales se expresan en la tabla N° 9, a continuación

Tabla 9. Escenarios de población y demandas residenciales del Proyecto

Año	Pf (hab)	Qmd(l/s)	QMD(l/s)	QMH(l/s)
2027	1678	2.59	3.36	5.38
2020	1565	2.41	3.14	5.02
2010	1417	2.19	2.84	4.55

Fuente: El Autor

Tabla 10. Escenarios de demandas institucionales del Proyecto

Poblaciones/ Año	Dem. Año 2010	Dem. Año 2020	Dem. Año 2027
IETA	1	1.1	1.2
Escuela	0.5	0.6	0.7
Guardería	0.2	0.3	0.4
Puesto de salud	0.1	0.2	0.2
Eco parque	0.2	0.2	0.2
Q(l/s) escenario, totales	2+4.55 =6.55(l/s)	2.4+5.02 =7.42	2.7+5.38=8.08

Fuente: El Autor

Tabla 11. Escenarios de caudales en la red de distribución del Proyecto

Año	QMH (l/s)	N° vivienda	q=QMH/N° viv.	Población (hab)
2010	4.55	300	0.01517	1417
2020	5.02	332	0.01414	1565
2027	5.38	356	0.01513	1878

Fuente: El Autor

Memoria de cálculos de las Dotaciones demandadas por las Instituciones

- Institución Educativa Técnico Agropecuaria

Tabla 12. Población actual de la IETA

Estamentos	Población
Alumnos	250
Profesores	16
Administrativos	3
Total población	269

Fuente: El Autor

Se asume la misma dotación para profesores, estudiantes y administrativos

Dotación: 50 l/persona./día

Consumo diario total: 50 l/persona./día* 269 persona= 13.5 m³/día

Caudal que debe suministrar la Empresa de Agua:

El volumen a consumir en 24 horas se debe suministrar al tanque de almacenamiento durante un período de 4 a 6 horas.

Se asume un periodo de 4 horas:

$$Q_{\text{Empresa}} = (13,5 \cdot 1000) / (4 \cdot 60 \cdot 60) = 1 \text{ l/s}$$

Volumen de almacenamiento en la IETA

Se asumen dos días de reserva.

$$V_{\text{Almacenamiento}} = 13,5 \cdot 2 = 27 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del tanque bajo} = 27 \text{ m}^3 \cdot 0,6 = 16,2 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen tanque alto} = 27 \cdot 0,4 = 10,8 \text{ m}^3$$

Calculo del tiempo de llenado del tanque Bajo:

$$T_{\text{llenado}} = 16,2 \text{ m}^3 / 3,6 \text{ m}^3/\text{h} = 4,5 \text{ horas}$$

Cálculo de caudal Q para calcular las redes internas.

Se utiliza el método de Roy B. Hunter de simultaneidad; donde se asume un Factor de Simultaneidad, F.S, del 70%

Tabla 13. Inventario de aparatos sanitarios en la IETA

Aparatos	Unidad	Total
4 W.C	3	12
4 W.C	3	12
4 Orinales	2	8
8 Lava Manos	2	16
Totales Unidades		48

Fuente: El Autor

Criterio de diseño hidráulico:

Baño para profesores = $2 \cdot 3 = 6$

$2 \cdot 2 = 4$

Total de Unidades = $10 + 48 = 58$ unidades

$Q_{\text{Diseño}} = 58 \cdot 0,7 = 40$ unidades

$Q_{\text{Diseño}} = 1,58$ l/s

- Guardería ICBF – Flor del Monte

Tabla 14. Población actual de la Guardería

Estamentos	Población
Niños	35
Tutoras	3
Administrativos	4
Total población	42

Fuente: El Autor

Se asume la misma dotación para Tutoras y niños

Dotación: 10 l/persona./día

Consumo diario total: $70 \text{ l/persona./día} \cdot 42 \text{ persona} = 2.9 \text{ m}^3/\text{día}$

Caudal que debe suministrar la Empresa de Agua:

El volumen a consumir en 24 horas se debe suministrar al tanque de almacenamiento durante un periodo de 5 a 8 horas.

Se asume un periodo de 5 horas:

$Q_{\text{Empresa}} = (2,9 \cdot 1000) / (5 \cdot 60 \cdot 60) = 0,2$ l/s

Volumen de almacenamiento requerido por la Guardería

Se asumen dos días de reserva.

$V_{\text{Almacenamiento}} = 2,9 \cdot 2 = 5,8 \text{ m}^3$

Volumen del tanque bajo = $5,8 \text{ m}^3 \cdot 0,6 = 3,5 \text{ m}^3$

Volumen tanque alto = $5,8 \cdot 0,4 = 2,3 \text{ m}^3$

Cálculo del tiempo de llenado del tanque Bajo:

$T_{\text{llenado}} = 3,5 \text{ m}^3 / 0,72 \text{ m}^3/\text{h} = 5,0$ horas

Tabla 15. Inventario de aparatos sanitarios en la Guardería

Aparato	Unidad	Total
9 W- C	3	27
5 Lava Manos	2	10
3 Orinales	2	6
1 Ducha	2	2
Total		45 Unidades

Fuente: El Autor

Calculo de caudal Q de dotación para redes internas de la Guardería.

$$Q_D = 45 \text{ unidades} * 0,7 = 32 \text{ unidades}$$

$$Q_{\text{Diseño}} = 1,32 \text{ l/s}$$

- Escuela primaria asociada con la IETA

Tabla 16. Población actual de la Escuela Primaria

Estamentos	Población
Alumnos	172
Profesores	6
Coordinadores	1
Total población	179

Fuente: El Autor

Se asume la misma dotación por individuo de la población

Dotación: 50 l/persona./día

Consumo diario total: 50 l/persona./día* 179 persona= 9,0 m³/día

Caudal que debe suministrar la Empresa de Agua:

El volumen a consumir en 24 horas se debe suministrar al tanque de almacenamiento durante un período de 4 a 6 horas.

Se asume un período de 4 horas para el almacenamiento:

$$Q_{\text{Empresa}} = (9,0 * 1000) / (4 * 60 * 60) = 0,6 \text{ l/s}$$

Volumen de almacenamiento en la Escuela

Se asumen dos días de reserva.

$$V_{\text{Almacenamiento}} = 9,0 * 2 = 18 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del tanque bajo} = 18 \text{ m}^3 * 0,6 = 10,8 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen tanque alto} = 18 * 0,4 = 7,2 \text{ m}^3$$

Cálculo del tiempo de llenado del tanque Bajo:

$$T_{\text{llenado}} = 10,8 \text{ m}^3 / 2,16 \text{ m}^3/\text{h} = 5,0 \text{ horas}$$

Cálculo de caudal Q para calcular las redes internas.

Tabla 17. Inventario de aparatos sanitarios en la Escuela

Aparato	Unidad	Total
6 W.C	3	18
6 Lava Manos	2	12
2 Orinales	2	4
Total		34 Unidades

Fuente: El Autor

Calculo para Q para redes internas:

$$Q_D = 34 \text{ unidad} * 0,7 = 24 \text{ unidades}$$

$$Q_D = 1,05 \text{ l/s}$$

4.2.2.4 Evaluación de la línea de conducción del sistema de acueducto

La línea de conducción hidráulica opera por bombeo con el mismo equipo motor – bomba utilizada en la extracción del agua subterránea.

La captación es una estructura de pozo profundo de diámetro 8” y profundidad útil de 98 metros construido con una camisa en tubería PVC de 6”, con rejillas ó filtros PVC, RDE 21 en ambos materiales. Alrededor de la camisa tiene empaquetamiento de grava de 1” de espesor; hasta la profundidad de 5 m tiene sello sanitario impermeable.

En la Tabla 7 se expresa la columna litológica descubren en las jornadas de perforación del pozo. En la Figura 9 se indica el diseño del pozo.

El equipo de bombeo, desde el inicio está constituido por un motor trifásico y una bomba sumergible marca Franklin Electric, ambos diámetros de 4”, tiene una potencia de 15 HP, con profundidad de instalación de 54 m; la tubería de succión es material HG de 3” de diámetro. Esta información fué recaudada mediante indagación a miembros de la Junta Administradora y de la comunidad.

En las oficinas de la Alcaldía Municipal de Ovejas no tienen documentos formales en relación con la construcción del pozo y con su mantenimiento; de ésto último se conoce que hubo una labor de limpieza contratada a inicios del año 2009, según informes de la Administración del Acueducto flormontero. La corporación Carsucre desconoce el tipo de equipo de bombeo instalado en el pozo. El autor del presente trabajo rescató la información de la Columna Litológica y del diseño del pozo construido en Noviembre de 1997, documentos que aportó a nombre de la Universidad de Sucre, para la realización de la Prueba de Bombeo y su interpretación.

El resultado de los aforos volumétricos realizados en los seis puntos de distribución (lateral) de agua desde la línea de conducción es el siguiente:

Tabla 18. Aforo de Caudales Derivados de la Conducción

Nodo de Derivación	Caudal Aforado al Usuario (l/s)
Finca Los Cocos	0,46
Finca Portobello	0,61
Finca Piragua	0,45
Finca Oriente	0,30
Viviendas María Martínez	0,42
Viviendas Zunilda Teheran	0,32
Caudal Total Derivado	2,56
Caudal Aforado en el Tanque Comunitario	5,54
Caudal Total Conducido	8.10 l/s

Fuente: El Autor

Los resultados del aforo realizado en la línea de conducción, en distintas jornadas, corroboraron la producción de 8 l/s, explotados del acuífero con la infraestructura y equipamiento electromecánico de bombeo actuales en el pozo. Con base en ello se hicieron los siguientes cálculos.

Perdida de Carga en la elevación del agua a Boca de Pozo

Profundidad de la Bomba = 54 m

L = 54 m, D (3") = 0.0762 m, $C_{HW} = 120$, $Q = 0.0081 \text{ m}^3/\text{s}$. Se utilizan las ecuaciones de Hazen Willian (HW)

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0081 * 4}{0.00762 * \pi} = 1.78 \text{ m/s}$$

$$hf = \frac{6.8241 * l * V^{1.851}}{C_{HW}^{1.851} * d^{1.167}} = \frac{6.8241 * 54 * 1.78^{1.851}}{120^{1.851} * 0.0762^{1.167}} = 3.06 \text{ m}$$

Pérdida por accesorios – instalación hidráulica de salida (en HG)

Impulsión: Accesorios de salida – HG (3"= 0.0762 m)

Accesorios: 1 codo 90°, 5 Uniones, 1 Válvula de Globo (completamente abierta) ,2 codos de 45°. Coeficiente pérdidas menores:

$$\sum K_m = 0.9 + 5 * 0.3 + 10 + 2 * 0.4 = 13.2$$

La pérdida de carga por accesorios es la siguiente:

$$h_m = \sum K_m * \frac{V_i^2}{2g} = 13.2 * 0.16 = 2.13 \text{ m}$$

La pérdida de carga por fricción en los Niples, L = 2.65 m, se calcula a partir del coeficiente f.

$$f = \frac{133.89}{C_{HW}^{1.851} * d^{0.167} * V^{0.15}}$$

$$= \frac{133.89}{120^{1.851} * 0.0762^{0.167} * 1.78^{0.15}} = 0.027$$

$$h_f = f * \frac{l}{d} * \frac{V_i^2}{2g} = 0,027 * \frac{2.65}{0.0762} * \frac{1.78^2}{2 * 9.81} = 0.15 \text{ m}$$

Pérdida de carga en el tramo Bomba a Nodo N0, (inicio de la línea de conducción)

$$h_o = 3.06 + 2.13 + 0.15 = 5.34 \text{ m}$$

Comprobación y cálculos ajustados a partir de la captación por bombeo, para determinar la Cabeza Piezometrica en los nodos de la línea de conducción:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

Con base en los valores establecidos:

Q = 8.1 l/s, $\rho = 996.3 \text{ Kg/m}^3$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, eficiencia (η) = 0.85

Potencia P= 15 HP = 11.19 KW = 11190 W

Despejando la Altura dinámica total:

$$H = \frac{\eta P}{\rho g Q} = \frac{11190 * 0.85}{996.3 * 9.81 * 0.0081} = 120.10 \text{ m}$$

Este valor corresponde a la altura dinámica total neta suministrada por la bomba al sistema de acueducto, como energía/ unidad de peso de fluido (agua)

La potencia disponible para impulsar el agua desde el Nodo N0 a lo largo de La conducción es:

$$\text{Altura por presión interna} = 120.10 - 5.34 - 54 \text{ m} = 60.76 \text{ m}$$

(Transmitida por la bomba)

Cabeza Piezometrica en el Nodo N0 = 60,76 + 0,16 + 175 = 235,92 m (CP N0)

En la Tabla 19 se expresan los cálculos hidráulicos mediante los cuáles se evalúa la línea de conducción en las condiciones de operación encontrada en el año 2009 y vigentes.

Tabla 19. Cálculos Hidráulicos de la línea de conducción

N O D O	TR A M O	LONG . (m)	D(mm)	Q (l/s)	VEL. (m/s)	hf (m)	hm (m)	h(m)	cotas (m)	Cota Piezome trica	H(m)	Tiempo de conduc ción (s)
N0									175,00	235,92	60,92	32,6
	N0 - N1	7	83,42	8,1	1,48	0,17	0,03	0,2	175,07	235,71	60,64	4,7
N1												
	N1 - N2	115	83,42	7,6	1,39	2,46	0,18	2,64	173,98	233,05	59,07	82,7
N2												
	N2 - N3	848	83,42	7,0	1,28	15,55	0,07	15,62	176,11	217,42	41,31	662,1
N3												
	N3 - N3 v	111,7	83,42	6,6	1,21	1,85	0,06	1,91	195,84	215,51	19,67	92,5
N3 v												
	N3 v -	529,3	83,42	6,6	1,21	8,74	0,09	8,83	175,94	206,68	30,74	438,3

	N3 p												
N3 p													
	N3 p - N4	68	83,42	6,6	1,21	1,12	0,03	1,15	194,86	205,53	10,67	56,3	
N4													
	N4 - N4 P	203,4	83,42	6,6	1,21	3,12	0	3,12	175,56	202,41	26,85	168,1	
N4 P													
	N4 P - N5	36	83,42	6,3	1,15	0,53	0,02	0,55	178,13	201,95	23,82	31,2	
N5													
	N5 - N6	45	67,45	6,3	1,76	1,9	0	1,9	190,18	200,03	9,85	25,5	
N6													
	N6 - N7	26	67,45	5,9	1,65	0,98	0,04	1,02	197,89	199,17	1,28	15,7	
N7													
	N7 - N8	77	55,7	5,9	2,42	7,35	0	7,35	201,22	191,79	-9,43	31,8	
N8													
	N8 - N9	82	55,7	5,6	2,30	7,12	0,62	7,74	205,61	183,78	-21,83	35,7	
N9													
	su ma	2148, 4				50,89	1,14	52,03					1677,3

Fuente: El Autor

Se observa en la Tabla 19. que las presiones internas resultantes en los últimos tres tramos de la línea no son adecuadas para el funcionamiento hidráulico requerido para una línea de conducción de acueducto.

La cota Piezometrica inicial colocada por el equipo de bombeo, 235,92 m en el primer nodo de la línea de conducción (N0), impone en el punto más alto de la Línea una Piezometrica de cota 215,51 m (Cerro Ahuyamal) la cuál es superior a todos los puntos topográficamente altos de los tramos siguientes y ello genera que el flujo llegué al tanque comunitario por simple escurrimiento.

4.2.2.5 Evaluación de la red de distribución del sistema de acueducto

El primer escenario año 2009 estuvo constituido por una red desprovista de válvulas de control para la sectorización en la prestación del servicio, tal como opero el sistema hasta ese año.

La red de distribución es abastecida por gravedad desde el tanque de almacenamiento comunitario; éste es de tipo superficial, construído en concreto reforzado hace 30 años aproximadamente, con dimensiones internas útiles de 5,5 m *5,5 m *1,7 m, para un volumen de 51,42 m³; está localizado en el sector La Concepción sobre la cota de terreno más alta del poblado.

Previo a la realización de los cálculos hidráulicos se realizarón aforos volumétricos en las instituciones, Guardería é IETA. En los otros dos usuarios institucionales no fue posible realizarlos por carecer de estructura de almacenamiento. Los resultados de los dos aforos son: Guardería 0,37 l/s en las horas de la mañana y en la IETA 1,04 l/s en las horas de la tarde.

La red de distribución existente está conformada por tres mallas tal cuál como lo está la red vial interna de la población, con ramales hacia las viviendas é instituciones localizadas en el perímetro, tal como se observa en el Plano 1, anexo.

En la evaluación del funcionamiento hidráulico de la red de distribución se utilizó el software Epanet 2.0 conformando la base de datos requerida con la información de la demanda por tramos, de las cotas topográficas de los nodos y de las características físicas é hidráulicas de las tuberías. Los resultados se expresan en la tabla 20.

Tabla 20. Cálculo de EPANET en los ramales de la red principal
Primer Escenario (G, E, PS, IETA con demandas tipo viviendas), Eco = 0 l/s

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Factor Fricción	Veloc. Reacción mg/l/día	Calidad	Estado
Tubería C	2,17	0,40	2,22	0,023	0,00	0,00	Abierta
Tubería D	1,01	0,18	0,58	0,028	0,00	0,00	Abierta
Tubería G	1,31	0,24	0,91	0,026	0,00	0,00	Abierta
Tubería L	1,36	0,25	0,97	0,026	0,00	0,00	Abierta
Tubería M	1,37	0,25	0,99	0,026	0,00	0,00	Abierta
Tubería O	1,03	0,19	0,60	0,028	0,00	0,00	Abierta
Tubería Q	0,17	0,07	0,18	0,041	0,00	0,00	Abierta
Tubería B	1,73	0,32	1,48	0,024	0,00	0,00	Abierta
Tubería F	1,27	0,23	0,86	0,026	0,00	0,00	Abierta
Tubería H	0,67	0,12	0,29	0,031	0,00	0,00	Abierta
Tubería J	0,20	0,04	0,03	0,033	0,00	0,00	Abierta
Tubería I	-0,01	0,00	0,00	0,397	0,00	0,00	Abierta
Tubería K	0,27	0,05	0,06	0,041	0,00	0,00	Abierta
Tubería E	0,28	0,11	0,43	0,035	0,00	0,00	Abierta
Tubería N	0,12	0,02	0,01	0,035	0,00	0,00	Abierta
Tubería P	0,37	0,15	0,69	0,033	0,00	0,00	Abierta
Tubería R	1,09	0,20	0,66	0,027	0,00	0,00	Abierta
Tubería S	0,59	0,11	0,23	0,032	0,00	0,00	Abierta
Tubería T	0,59	0,11	0,23	0,032	0,00	0,00	Abierta
Tubería U	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	Abierta
Tubería V	0,33	0,06	0,08	0,038	0,00	0,00	Abierta
Tubería A	3,90	0,71	6,26	0,020	0,00	0,00	Abierta

La observación general permite observar que en la simulación realizada un caudal de 3,9 l/s (a partir del tanque), propuesto por el programa para que se distribuya por todos los tramos y a todos los usuarios de la red existente es satisfactorio,

pero a velocidades muy bajas con perjuicio para los usuarios más alejados del tanque de distribución.

4.2.2.6 Evaluación de las instalaciones intradomiciliarias de la comunidad y de la IETA Flor del Monte. Esta evaluación se realizó mediante las siguientes actividades:

- Inspección ocular de la acometida y de los elementos de almacenamientos de los usuarios.
- Cuantificación é identificación de los elementos de almacenamientos, información que se recaudo mediante la Encuesta (Tabla 21).
- Aforos volumétricos a las instalaciones de los cuatros usuarios rurales y de dos institucionales, IETA y Guardería.

Tabla 21. Evaluación de las condiciones de abastecimiento

N°	Sector	Alm. En aljibes m3	Alm. En taques plástico s m3	Alm. En alberca s m3	Alm. En Caneca s litros	Tanque s elevado s m3	Total m3
1	Calle Real	21,3	0,11	7,05	0	0	28,46
2	Korea	9,31	1,41	8,94	800	2	22,46
3	Fco El Hombre	8,23	1,03	1,7	0	0	10,96
4	San Roque	6,63	0,6	12,5	400	0	20,13
5	Las Flores	8,44	2,44	4,87	0	0,5	16,25
6	San Jose	12,4	1,32	3,41	1600	2	20,73
7	La Concepción	7,31	0	5,64	800	0	13,75
8	La Plaza	8,94	1,51	5,26	560	0	16,27
9	Divino Niño	8,23	1,03	1,7	0	0	10,96
Suma m3		90,79	9,45	51,07	4160	4,5	159,97

Fuente: El Autor

Como se observa en la Tabla 21 Evaluación del Almacenamiento Intradomiciliario predomina el que se hace en Aljibes (58,4%). Y le siguen el que se hace en albercas (38,2%); se utilizan más de 200 canecas plásticas de 20 litros. Se destaca que en los sectores céntricos existen almacenamientos en tanques

elevados; éstos son abastecidos directamente por la red de distribución; su elevación promedio es de 2,5 metros y los tanques son plásticos de 500 Litros.

El resultado de aplicar Epanet 2.0 a la red de distribución totalmente abierta a flujo en todos sus tramos simultáneamente (escenario año 2009) indica que se abastecían desde el tanque de almacenamiento 3,9 l/s que permitía dotar a los usuarios de 84,24 m³ a lo largo de 6,0 horas de servicio, 2,5 horas por la mañana y 3,5 horas por la tarde. Esta distribución, aún actualmente, debe hacerse previo llenado del tanque, 51,42 m³, operación que dura 2,5 horas y se hace 2 veces en la jornada de bombeo desde la captación. Desde éste punto al tanque la conducción del agua tarda 0,5 horas aproximadamente.

Tabla 22. Dotaciones año 2010 con Sectorización del servicio

Nombre del Sector	N° de Viviendas	Población hab.	Duración del servicio hrs.	Volúmenes de Almacenamiento m ³	Caudal de Entrega l/s	Caudal de Entrega l/s Diario	Dotación l/hab.*día
Calle Real	74	383	3	28,46	2,64	1,32	37,2
Korea	33	144	3	22,46	2,08	1,04	78,0
Fco. El Hombre	29	145	2	10,96	1,52	0,76	37,8
San Roque	24	102	3	20,13	1,86	0,93	98,7
Las Flores	24	107	3	16,25	1,50	0,75	75,9
San Jose	21	91	2,5	20,73	2,30	1,15	113,9
La concepción	20	88	5	13,75	0,76	0,38	78,1
La Plaza	19	85	3	16,27	1,51	0,75	95,7
Divino Niño	9	50	2	10,96	1,52	0,76	109,6
Totales	253	1195		159,97			
IETA			1	6,3	1,04	0,52	
Guardería			2,5	8,8	0,37	0,18	

Fuente: El Autor

Cálculos y comentarios a los resultados:

Duración del Servicio a Usuarios residenciales: 5,5 horas/día, cada dos días.
Dotación a Usuarios- año 2009: $3,90 * 5,5 * 3600 / 1195$: 64,7 l/hab*día cada dos días.

Dotación a Usuarios año 2010: Con Sectorización en la Distribución: dotaciones mínima 37,2, máxima 113,9 y promedia ponderada 60,5 l/hab*día.

Dotación a Instituciones es Insuficiente: IETA 59% y Guardería 38% de Almacenamiento año 2010.

Las instalaciones de las acometidas en las fincas están hechas con tuberías PVC de ½" de alta presión enterradas y/o superficiales en todos los casos, dotadas de un grifo al final. La derivación se hace mediante Collares de derivación provisto del respectivo anillo de caucho. El almacenamiento de agua para el consumo animal lo hacen mediante albercas superficiales y abiertas, y para el consumo humano mediante albercas cerradas y canecas plásticas.

Como expresión de los resultados de la inspección practicada a varios elementos del sistema de acueducto objeto de esta investigación se muestran las fotos (CD):

Foto 1. Aforo volumétrico a un usuario.

Foto 2. Alberca abierta para consumo animal

Foto 3. Tanque de almacenamiento comunitario

Foto 4. Fugas en la tubería principal de la red de distribución.

En el capítulo siguiente de éste documento se hace el análisis ampliado de los resultados de la evaluación realizada a los componentes de captación conducción, almacenamientos, distribución é instalaciones intradomiciliarias del acueducto de Flor del Monte.

4.3 DE LOS ESTUDIOS TOPOGRAFICOS GENERALES DEL PROYECTO

Estos resultados se encuentran expresados en las respectivas carteras topográficas de la línea de conducción y de la red de distribución, con los respectivos detalles topográficos en relación con las acometidas a los usuarios rurales y a las viviendas é instituciones comunitarias más alejadas inclusive.

En los Cuadros 1 a 10 consignados en Anexo (CD) se registran éstos resultados.

Con base en ellos, se observa que la línea de conducción tiene una longitud de 2148,6 m y la red de distribución tiene una longitud total de 2925,5 m. La distancia que recorre el agua desde el tanque de almacenamiento de la comunidad hasta el tanque de almacenamiento de la IETA es 1480,0 m; ésta Institución es el usuario crítico del sistema de acueducto.

En los Planos 1 y 2 se expresan los detalles físicos de los levantamientos topográficos realizados, en planta y en perfil (Anexo)

4.4 DE LOS ESTUDIOS HIDROMETEOROLOGICOS

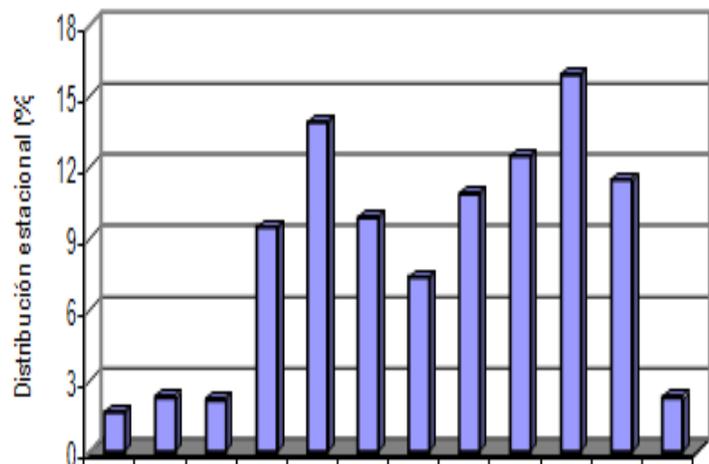
Las características hidrometeorológicas del área de investigación se establecieron con base en el estudio de las más recientes mediciones y trabajos realizados. Con una cobertura satisfactoria en años de lecturas en las Estaciones IDEAM, mayor que 30, Buitrago et al. (2002) y Gutiérrez R, G (2004) han determinado la siguiente información pertinente y vigente en el año 2010 y en relación con: precipitación, evapotranspiración, escorrentía, capacidad de campo, recarga y balance hídrico.

Precipitación

En la Zona Los Palmitos – El Bongo – Ovejas: Variaciones de la precipitación media multianual desde 1200 mm hasta 1450 mm, con una media de 1325 mm. La distribución estacional es mostrada en la figura 11.

Figura 11. Distribución Estacional de la Precipitación Media Multianual

Enero	1.7
Febrero	2.3
Marzo	2.2
Abril	9.5
Mayo	13.9
Junio	9.9
Julio	7.4
Agosto	10.9
Septiembre	12.5
Octubre	15.9
Noviembre	11.5
Diciembre	2.3



Fuente: Donado, 2000
Evapotranspiración Potencial.

Para el cálculo de la ETP, se usarón las formulas de Christiansen y Penman,

García – López y Thornwaite y Turc y se compararon con los registros de evaporación de tanque de la estación Puerta Roja de la Universidad de Sucre y Primates de Coloso para estar dentro de los límites de seguridad. Los resultados se muestran en el capítulo referente al balance hídrico. El método de Thornwaite fué el de mejor aproximación.

Escorrentía

No existen estaciones hidrométricas en la zona, ni tampoco estaciones en zonas geográfica y geomorfológicamente similares, por lo tanto la escorrentía fue estimada como el 10% de la precipitación de excesos en los meses de invierno, tal como lo propuso Rodríguez.

Capacidad de Campo

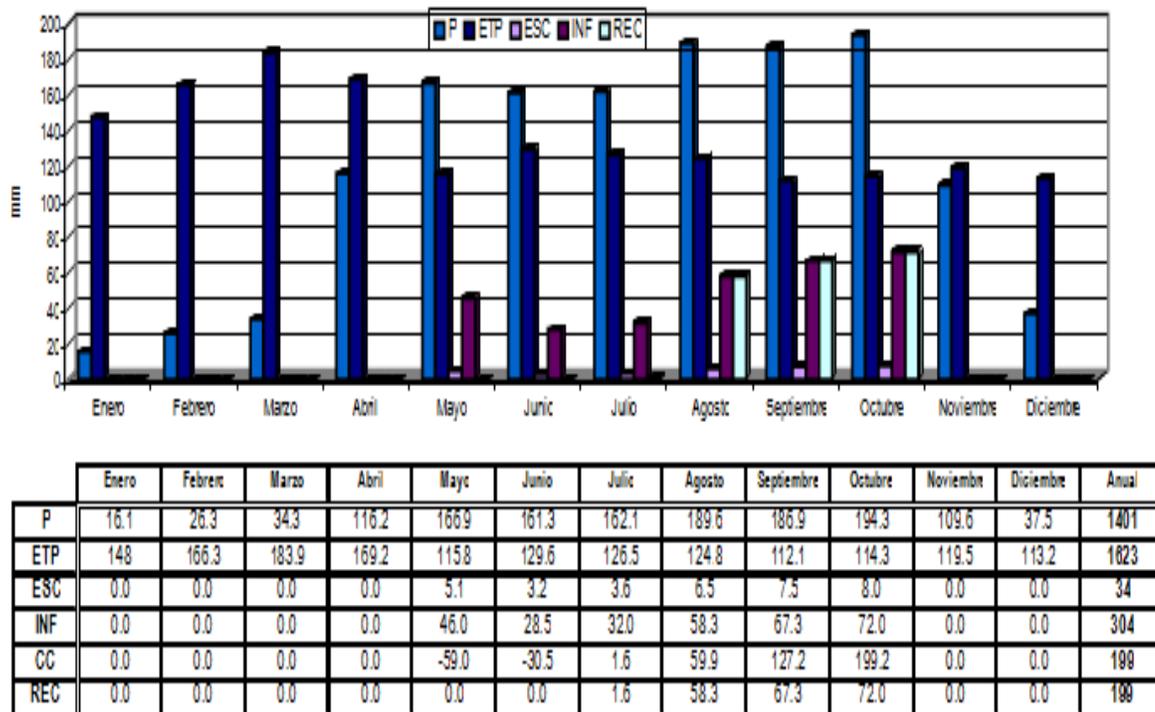
Se define como el contenido máximo de humedad que puede tener un suelo antes de que se inicie flujo dentro de él. La capacidad de campo se establece en promedio con una lámina de 105 mm/año.

Balance hídrico

Se realizó un balance hídrico sencillo, donde la entrada de agua al sistema es la precipitación, y las pérdidas son la escorrentía directa, la evapotranspiración y la infiltración, donde ésta se divide en el agua que surte la capacidad de campo del terreno y en el agua que se convierte en recarga al acuífero (excedentes) .

Todos los valores se encuentran en mm.

Figura 12. Balance Hídrico en el Área de Investigación.



<i>P</i>	<i>Precipitación</i>
<i>ETP</i>	<i>Evapotranspiración Potencial</i>
<i>ESC</i>	<i>Escorrentía Directa</i>
<i>INF</i>	<i>Precipitación de Excesos</i>
<i>CC</i>	<i>Saturación del Suelo</i>
<i>Recarga</i>	<i>Recarga Potencial</i>

Fuente: Donado, 2000

4.5 DE ESTABLECER LAS CONDICIONES DE CANTIDAD Y DE CALIDAD TANTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LA CANTIDAD DE AGUAS LLUVIAS EN LA IETA

4.5.1 Condiciones de calidad del agua de abastecimiento. Se tomarán debidamente las muestras de agua rotuladas en el laboratorio de la Universidad de Sucre con los registros números 295, 296 y 297 representativas respectivamente de los sitios Boca de Pozo, Tanque Comunitario y Tanque de la IETA. Los resultados del análisis físico químico se expresan en la Tabla 23

Calidad de las Aguas de Abastecimiento en Flor del Monte (también ver Anexo Calidad de Agua)

Tabla 23. Calidad de las Aguas de Abastecimiento en Flor del Monte

Parámetros	Unidades	Calidad Agua Potable	Pozo	Tanque Comunitario	Tanque IETA
pH	U	6,0 - 8,5	8,2	8,3	8,2
Conductividad Eléctrica	μS/cms	50 - 1000	762,0	650,0	752,0
Calcio, Ca ++	mg Ca++/L	60	40,0	34,0	40,0
Magnesio Mg++	mg Mg++/L	36	16,0	11,6	20,0
Sodio Na+	mg Na+/L		87,4	75,0	69,9
Potasio K+	mg K+/l		7,0	3,1	3,1
Carbonatos CO3=	mg CO3=/L		0,0	0,0	0,0
Bicarbonatos HCO3 -	mg HCO3 - /L		140,3	209,8	231,8
Cloruros CL -	mg CL- /L	250	97,5	53,2	63,8
Sulfatos SO4 =	mg SO4 =/L	250	74,9	55,2	25,0
Dureza Total	mg CO3=/L	300	210,0	170,0	185,0
Salinidad	o/oo		0,1	0,0	0,1
Temperaturas	°C		30,0	30,0	30,0
Absorción de Sodio	RAS		4,9	3,8	4,1
Carbonato de Sodio Residual	CSR		0,0	0,8	0,1
Salinidad Efectiva	meq/L		5,3	2,6	3,0
Salinidad Potencial	meq/L		3,5	2,1	2,1
Sodio Posible	%		71,6	126,9	101,7

Fuente: El Autor

Los resultados del examen de la calidad de agua captada desde el punto de vista físico químico indican que en su estado natural no es una fuente de abastecimiento aceptable para el consumo humano, no es agua potable; es una fuente que por su calidad califica de fuente regular a fuente deficiente por su dureza tipo permanente.

El agua almacenada en los tanques tiene las mismas características y calidad de la captada del acuífero mediante el pozo profundo. Se observan algunas variaciones en las concentraciones de los iones disueltos en el agua almacenada en comparación con las iniciales.

Para el uso agrícola y pecuario el agua subterránea suministrada a la IETA no es adecuada; no es recomendable para riego dada su alta salinidad en el estado natural.

4.5.2 Del estudio de las Condiciones de cantidad en aguas lluvias y de agua subterránea en el proyecto.

4.5.2.1 Aguas Lluvias en la IETA

Con base en la precipitación media mensual conocida (Figura 11.) en el periodo de Abril a Noviembre se puede almacenar el 91,5% que corresponde a 1282 mm. Esta lamina precipitada sobre la cubierta impermeable existente, tejas de asbesto cemento, de extensión 1980 m², representa teóricamente la cantidad de 2500 m³ de aguas lluvias para un almacenamiento potencial.

El almacenamiento de las aguas lluvias anualmente en la IETA, de acuerdo con las necesidades agrícolas y pecuarias en su sede principal puede ser la fuente de abastecimiento natural que por su calidad y cantidad esta llamada a reemplazar la utilización del agua subterránea.

4.5.2.2 Agua subterránea para la comunidad

Las características hidrogeológicas del acuífero confinado en el sector de Flor del Monte y la estructura del pozo de captación con el equipo de bombeo actual, permite extraer un caudal máximo permisible que corresponda al abatimiento del nivel de agua hasta la profundidad del techo del primer acuífero.

Por lo tanto el abatimiento $S_p \text{ máx.} = 27,0 - 6,17 = 20,63 \text{ m}$

Con base en la ecuación 16, reemplazando los valores ya conocidos incluido S_p se despeja $Q_{\text{max}} = 8,6 \text{ l/s}$, es decir 31m³/h aproximadamente.

Por razones prácticas el caudal máximo permisible a explotar debe ser el 75% del máximo teórico, es decir, 23 m³/h (6,4 l/s).

El caudal explotado actualmente es 8,1 l/s (29m³/h) aforado por el autor en diferentes jornadas. Esto significa que por habitante reciben 230 l/día cada dos días, es decir una dotación media de 115 l/hab*día.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La realización del presente trabajo logró rescatar para el mundo técnico y científico la información pertinente a la columna litológica y al diseño del pozo construido sin la cuál se hacía compleja la realización de la prueba de bombeo, la clasificación de acuífero confinado y por lo tanto la determinación de las principales características hidrogeológicas en esa Unidad de la formación Morroa en Flor del Monte.

5.2 EVALUACIÓN DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO, CONDUCCIÓN, RED DE DISTRIBUCIÓN E INSTALACIONES INTRADOMICILIARIAS.

5.2.1 Evaluación de la fuente de abastecimiento. La prueba de bombeo realizada en un único pozo, como en éste trabajo, no podía conducir a un Coeficiente de Almacenamiento E confiable y típico para un acuífero confinado. En cambio, los valores calculados para las Transmisividades y Permeabilidades corresponden al tipo de estratos acuíferos de la formación geológica en ésta zona. Por sus valores éstas propiedades hidrogeológicas tienen una calificación estimativa de Media a Alta. La permeabilidad intrínseca resultante también es típica de acuíferos porosos intergranulares de arenas medias y finas.

El régimen de flujo del agua subterránea se estableció como lineal o darciano a partir de la cara del pozo. El régimen impermanente no ocurre, el flujo turbulento puro se establece dentro de la camisa del pozo. Todo ésto con base en los resultados de los cálculos hidráulicos realizados.

La anterior condición de régimen de flujo es un significativo soporte de la alta eficiencia del pozo, 96,3% a lo cuál contribuye el hecho de una infraestructura del pozo en material PVC y posiblemente un buen empaquetamiento de grava.

La distancia mínima del pozo Flor del Monte con respecto a un nuevo pozo de explotación de agua debe ser 550 m para evitar interferencias; su radio de influencia es del orden de 900 a 1200 m con base en los resultados, y los cuales son típicos para acuíferos confinados

5.2.2 Evaluación de la línea de conducción. Actualmente la línea de conducción transporta hacia la comunidad el 68% del agua captada y el caudal restante es abastecido lateralmente desde 6 nodos localizados a todo lo largo de la longitud. Prácticamente no existen fugas en la tubería principal.

La línea de conducción de 2150 m de longitud, toda en material PVC RDE 32,5 tiene un diámetro nominal de 3" excepto en los últimos 230 m cuando se estrecha a 2,5" a lo largo de 71 m y finalmente a 2", 159 m, hasta llegar al tanque. Es una línea topográficamente ondulada y carece de válvulas de ventosa y de purga. Opera deficientemente en los últimos tres tramos cuya longitud es 200m aproximadamente.

El abastecimiento y llenado del tanque comunitario se hace posible por la cota Piezométrica que la bomba sumergible del pozo impone en la cima del cerro Ahuyamal (N3v) punto localizado a 1100 m del tanque aproximadamente; esta información se observa en la Tabla 18 y en el Plano 2 (Anexo).

El caudal abastecido por la conducción es de 5,5 l/s el cual es muy alto para la dotación requerida actualmente por la comunidad y las instituciones.

5.2.3 Evaluación de la red de distribución. Aunque al tanque de almacenamiento la conducción entrega 5,5 l/s para su llenado previo y distribución posterior, la red existente hasta el año 2009 no facilitó una distribución equitativa y oportuna, dadas sus características físicas e hidráulicas, generando insatisfacciones en la comunidad, (viviendas e instituciones) dado que a algunos usuarios no les llegaba el agua y a muchos solo por una ó dos horas en comparación con otros que recibían el servicio con mayor duración y caudal. Esta situación fue motivo de interés para el Autor.

En el año 2010 se instalaron a la red 3 válvulas de paso para crear una sectorización en la prestación del servicio público. Como se observa en la Tabla 21 la sectorización implementada produjo que todos los usuarios reciban el servicio de agua en la jornada de bombeo desde la captación al tanque. Sin embargo, predomina la inequidad en la distribución actual ya que hay sectores poblados que reciben una dotación menor a 40 l/hab.día mientras que en sectores poco poblados reciben más de 100 l/hab.día.

Actualmente la prestación del servicio de distribución del agua se presta con una duración similar entre sectores lo cual es socialmente favorable; la excepción la constituye el sector La Concepción, adyacente al tanque de almacenamiento, pobladores éstos que hasta el año 2009 fueron parte de los usuarios poco beneficiados por el sistema de distribución.

5.2.4 Evaluación de las instalaciones intradomiciliaria de la comunidad y de la IETA Flor del Monte. Los resultados consignados en la Tabla 22 sobre las condiciones de abastecimiento en las residencias y en las instituciones, actualmente, indican que los sectores que reciben menos dotación, Calle Real y Fco. El Hombre, almacenan mucho menos de 500 litros por vivienda por día. Esta característica particular hace más crítica la situación del servicio para éstos usuarios. Un sector de alta dotación, Divino Niño, tiene una capacidad de almacenamiento mayor a 1200 litros por vivienda por día, en promedio.

La capacidad de almacenamiento de la IETA, es insuficiente; se requiere un volumen adicional de 10 m³ para atender el consumo humano y las necesidades domésticas actuales. La dotación y el periodo de servicio recibido sólo permiten alcanzar el 59% del volumen de almacenamiento actual.

La Guardería está dotada de un tanque con suficiente volumen de almacenamiento pero la duración del servicio, 2,5 horas, no alcanza para su llenado. Actualmente esta Institución, cuya sede fue construida en el año 2009, no ha entrado en funcionamiento.

5.2.5. Condiciones de Calidad y de Cantidad del agua subterránea y de las aguas lluvias locales

5.2.5.1 Calidad del agua subterránea de abastecimiento. En su estado natural el agua suministrada a la comunidad Flor del Monte no es agua potable; es agua dura tipo permanente con pH admisible pero alto. Por lo tanto, desde el punto de vista físico químico debe someterse a proceso simple de ablandamiento con remoción de los subproductos ya que este tipo de dureza no se remueve con ebullición.

El agua subterránea captada a Boca de Pozo desde el punto de vista microbiológico sería apta para el consumo humano. La línea de conducción está construida en parte enterrada y parte superficial y transita por tres tramos inundables en época de lluvias lo que la hace vulnerable a la contaminación bacteriana y con un alto riesgo eventual debido a roturas periódicas.

El tanque de almacenamiento comunitario al igual que el tanque de la IETA, carecen de planes de limpieza y mantenimiento y la simple observación de sus condiciones internas hacen presumir la presencia indeseable de microorganismos.

La obligación de suministrar agua potable a la comunidad hace necesario de manera urgente dotar al sistema de acueducto de procesos de tratamiento para adecuar el agua para el consumo humano en cumplimiento de la legislación vigente. (Decreto 1575/2007 y Resolución 2115/2007).

En su estado natural el agua subterránea captada no es apta para riego agrícola por su alta salinidad y según la calidad de suelo de la sede de la IETA y los proyectos Agrícolas puede adecuarse para tales fines.

5.2.5.2 Captación de aguas lluvias en la IETA. El almacenamiento eventual de aguas lluvias en la sede de la IETA va a permitir el desarrollo agropecuario de la misma independientemente del abastecimiento proveniente del acuífero. Se impone la instalación de canaletas y bajantes así como la construcción de cajas de recepción y derivación de caudales, tuberías entre ellas y un emisario al estanque de almacenamiento; en este lago el lago tendría sedimentación simple para su clarificación.

5.2.5.3 Cantidad de agua subterránea para la comunidad. Los resultados provenientes de la evaluación de los caudales presentes y futuros demandados por la comunidad, y suministrados por la línea de conducción y la red de distribución permiten deducir que se extrae un volumen de agua muy alto en comparación con las necesidades actuales y aún futuras tanto a nivel residencial como a nivel Institucional.

Actualmente se extraen 5030 m³/mes y sólo se requieren 2830 m³/mes, teniendo en cuenta por una parte la jornada de captación cada dos días pero no se tiene en cuenta la capacidad de almacenamiento en las viviendas é Instituciones.

El volumen de almacenamiento que demanda actualmente la población es de 82,4 m³ y solamente existe capacidad para 51,4 m³ lo cuál perjudica la operación de bombeo al alargar su periodo en 3 horas, teniendo en cuenta además que sólo deberían extraerse 3,0 l/s para consumo humano y solo 0,10 l/s para el uso pecuario (necesidades de 50 vacunos y 5 equinos en verano, por ejemplo).

6. CONCLUSIONES

El agua subterránea abastecida no es potable debido a su alta concentración de bicarbonatos; es agua de dureza permanente o no carbonacea establecida por sales disueltas distintas a calcio y a magnesio.

Actualmente el sistema de acueducto de la comunidad Flor del Monte suministra una dotación media de 173 l/hab.día, incluyendo el agua almacenada en las viviendas. Acorde con el reglamento técnico debe dotarse de 133 l/hab.día. Esta excedencia equivale a un volumen calculado de 20500 m³*año de agua extraída del acuífero sin un uso definido en lo social y productivo.

En las instalaciones hidráulicas a la salida del pozo no existe protección al equipo de bombeo ante los efectos del golpe de ariete por la carencia de válvula de cheque. La válvula de salida es tipo Globo que no es apropiada para la operación de control de caudal y potencia requerida eventualmente por el sistema de acueducto y por las actividades de pruebas y monitoreos del pozo.

La capacidad de almacenamiento es insuficiente en el tanque comunitario que abastece a la red de distribución y ello conlleva al alargue de tres horas del periodo de bombeo con consecuencias en los mayores costos de operación y en una intermitente y desigual distribución de agua a los usuarios, actualmente.

La prestación del servicio de agua potable a la comunidad académica de la IETA Flor del Monte es muy deficiente en todos los componentes del sistema: caudal, presión y duración del servicio; capacidad de almacenamiento; agua almacenada y suministrada con vulnerabilidad y riesgo de contaminación potenciales.

7. RECOMENDACIONES

La potabilización del agua captada y suministrada a la población debe hacerse con urgencia mediante procesos de tratamientos físico químico de ablandamiento y desinfección.

La explotación del agua subterránea a través del pozo Flor del Monte no debe exceder el caudal de 6,4 l/s para evitar que la capa acuífera captada pierda su comportamiento hidráulico como confinada por abatimiento excesivo.

En la línea de conducción actual debe instalarse tubería con diámetro 3" en los últimos 230 metros para que funcione favorablemente a lo largo de toda su longitud con presiones de trabajo adecuadas.

El almacenamiento debe tener un volumen suficiente en todo tiempo para lo cual el tanque actual debe operar como tanque Bajo y para tanque Alto deberá construirse uno de volumen 30 m³, tipo elevado.

La red de distribución actual debe adecuarse para mejorar satisfactoriamente en la prestación del servicio a la IETA para lo cual es necesario cambiar el diámetro 2" instalado a 3" en los últimos tramos del sector Calle Real.

El almacenamiento de agua potable en la IETA debe ser suficiente en todo tiempo y para ello se debe construir otro tanque, de 10 m³ de capacidad, para consumo humano.

BIBLIOGRAFIA

BUITRAGO, J. Evaluación de las condiciones de Explotación del Agua Subterránea en el acuífero de Morroa. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2000.

CARSUCRE – FINAGUAS. Sistema de información para la Gestión del recurso hídrico en el Acuífero de Morroa, SIGAS. Sincelejo, 2001

CUSTODIO, E Y LLAMAS, A. Hidrología Subterránea, Tomo 1 y 2. Editorial Omega. España, 1996.

DONADO, Leonardo, et al. Modelo hidrogeológico conceptual de la zona de recarga del acuífero Morroa (Departamentos de Sucre y Córdoba). Bogotá: Universidad Nacional, 2000.

DONADO, Leonardo, et al. Evaluación de la condiciones de uso del agua subterránea en la zona de recarga del acuífero de Morroa. Bogotá: Universidad Nacional, 2001.

EOT. Esquema de ordenamiento territorial, municipio de Ovejas. Alcaldía Municipal. Ovejas 2009.

FUNDACIÓN FCIHS. Hidrogeología. Conceptos básicos de Hidrología Subterránea. Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona España, 2009. Capítulo 5.

GONGORA, Jehomara, DE VIVERO, Jorge y MONTOYA, Carlos, Elaboración de la Red de Flujo del Acuífero Morroa en el Sector de Sincelejo, Corozal y Morroa. Trabajo de grado de Ingeniería Civil. Sincelejo: Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2004.

GUTIERREZ RIBON, Guillermo. Diagnostico Ambiental del Acuífero Costero Morrosquillo, Zona Litoral Tolú – Coveñas. Trabajo de grado Maestría en Ingeniería Ambiental. Bogotá: Universidad Nacional. Facultad de Ingeniería. Departamento de Postgrados 2004.

HERRERA, Hector Mario. Estudio Hidrogeológico para la localización de un pozo profundo del acueducto de Morroa. Corporación Autónoma Regional de Sucre, Carsucre, 1997

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000. Bogotá, 2000. Título A, B y C.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto Ley 1575. Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua Potable para Consumo Humano. Bogotá D.C. MINPROSOCIAL, 2007. 10 p.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115. Características, Instrumentos Básicos y Frecuencias del Sistema de Control y Vigilancia para la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá D.C. MMVDT, 2007. 23 p.

PACHECO. D y VILLEGAS, P. Caracterización hidráulica del acuífero Morroa utilizando pruebas de bombeo. Trabajo de grado de Ingeniería Civil. Sincelejo: Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil, 2003.

PEREZ FRANCO, Diosdado. Explotación de aguas subterráneas. Un nuevo enfoque: Instituto Superior Politécnico Jose A. Echeverría, ISPJAE. La Habana, Cuba: Editorial Científico – Técnica, 1995. 500 p.

SALDARRIAGA, Juan. Hidráulica de tuberías: Universidad de los Andes Bogotá D.C: Editorial Alfaomega, 2007.

VARGAS QUINTERO, María Consuelo. Explotación y Evaluación de Aguas Subterráneas. Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas), Ministerio de Minas y Energías Bogotá D.C, 2002.

UNESCO. Agua limpia para un mundo sano. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2010.

www.agua.uji.es/pdf/lecciónRH08.pdf