

DETERMINACION DE LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS FREATICAS DE CAACUPE

HUMBERTO RAFAEL VILLALBA AYALA Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental - SENASA
lhvillalba@hotmail.com

Resumen

La ciudad de Caacupé esta ubicada a 54 Km. al Oeste de la ciudad Capital de Asunción, en un valle natural, alargado de este a oeste, que se desarrolla por encima de los 150 m.s.n.m. La depresión se halla limitada por rocas de la Formación Cerro Jhu, del Ordovícico Superior, conformados por areniscas blanquecinas a pardo amarillentas, de grano medio a grueso, con intercalaciones arcillosas. Superficialmente se hallan tapizados por suelos residuales tipo alfisoles, entisoles y ultisoles. Esta formación sedimentaria, con niveles permeables secundarios y primarios, permite la acumulación y aportación de importantes reservas de agua subterránea económicamente explotables.

Con el estudio hidrogeológico y el análisis del subsuelo con la utilización de las informaciones provenientes de las perforaciones existentes, geofísica de pozos y de superficie, como de los pozos comunes, ensayos de permeabilidad, análisis hidroquímicos y bacteriológicos, se ha propuesto un modelo hidrogeológico conceptual, que permita determinar y comprender primeramente la existencia de un acuífero freático y su probable afectación por los sistemas de saneamiento básico de disposición de excretas de la ciudad de Caacupe, al parecer en algunos sectores asociado a los niveles mas profundo del acuífero Caacupe, por fenómenos geoestructurales.

Por lo tanto al constituir un área piloto dentro de la zona urbana de Caacupe, se intenta demostrar la contaminación existente del acuífero freático por los sistemas de saneamiento básico, consistente en pozos ciegos en la totalidad de las viviendas ocupadas y monitoreadas, siguiendo una metodología practica y sencilla que permita concluir sobre el riesgo de contaminación que actualmente soporta el recurso subterráneo de interés.

I. INTRODUCCION

La ciudad de Caacupé esta ubicada a 54 Km. al Este de la Ciudad Capital de Asunción, dentro de un valle elongado de dirección Este-Oeste, formado por las subcuencas de los arroyos Yhaca Roysa y

Ortega, pertenecientes a la gran cuenca hidrográfica del arroyo Tobatí, depresión ubicada al Este de la Cordillera de los Altos, la cual forma una de las principales alineaciones orográficas del Departamento de la Cordillera.

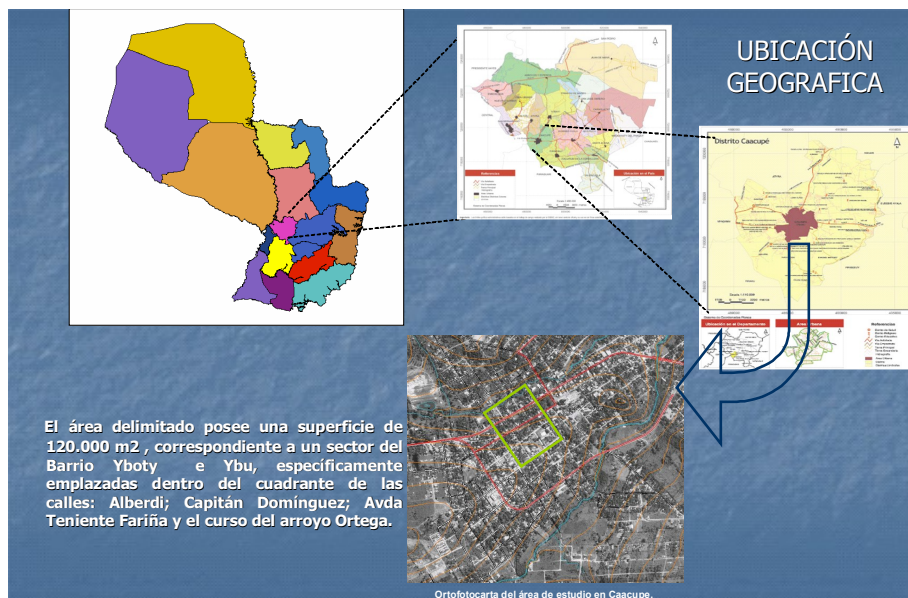


Figura 01. Mapa de Ubicación del área de investigación.

El acceso a la ciudad de Caacupé se efectúa por la Ruta Asfaltada N° 2, Mcal. Estigarribia, desde su punto de origen en Asunción. El Distrito cuenta con una población de 42.000 habitantes, según censo de 2.202, emplazados sobre una superficie de 127 Km², aproximadamente.

El clima guarda una estrecha correspondencia con la unidad geomorfológica del lugar, con temperaturas medias de 22° C, una pluviosidad media de 1450 mm. anual y una evapotranspiración aproximada de 1150 mm.anual.

El valle está ubicado en ambiente de las Cordilleras de los Altos, con predominio de rocas de la Formación Cerro Jhu, del Ordovícico Superior, conformados por areniscas blanquecinas a pardo amarillentas, de grano medio a grueso, con intercalaciones arcillosas, alternando con cuarcitas y filitas muy cercanos a los espejos de falla de la Cuenca de Ypacarai. Superficialmente se hallan tapizados por suelos residuales tipo podsoles. Esta formación posee como basamento al substrato granítico del Precámbrico Sur.

El propósito de este trabajo es investigar las aguas subterráneas someras o freáticas del Distrito de Caacupé, en este caso nos remitiremos a un área piloto de la zona urbana de 120.000 m², correspondiente a sectores de los barrios Yboty e Ybu, donde se pretende analizar y evaluar el comportamiento, distribución espacial, direcciones y velocidades del flujo,

calidad físico química y bacteriológica, niveles de vulnerabilidad y riesgo a la contaminación del acuífero freático de Caacupe por el sistema de saneamiento básico de disposición de excretas.

A través de un estudio hidrogeológico y el análisis del subsuelo con la utilización de las informaciones de las perforaciones existentes y geofísica de pozos, monitoreo de pozos comunes, ensayos de permeabilidad del suelo y subsuelo, ubicación de pozos ciegos, se pretende diseñar un modelo hidrogeológico conceptual.

Donde consideramos también que los análisis físico químico y bacteriológicos facilitaran una caracterización del recurso, que permita finalmente entender la vulnerabilidad y riesgo a la contaminación a que se halla sometido las aguas freáticas de la ciudad de Caacupe por la acción del sistema de saneamiento básico de disposición de excretas.

Mediante la fotointerpretación de imágenes tipo ortofocartas, se desea determinar los principales controles estructurales en el valle, como los límites de la cuenca hidrológica de interés. Donde también el estudio de los antecedentes bibliográficos permitirá completar el marco geológico e hidrogeológico regional, a fin de conocer la secuencia estratigráfica sedimentaria y su desarrollo en la cuenca hidrogeológica de interés.

II. EL PROBLEMA

La ciudad de Caacupè antes de la década de los 80, aun no contaba con servicio de agua potable, por lo que los pobladores utilizaban de manera exclusiva los pozos comunes o con brocales, explotando el acuífero freático del lugar, para dar respuesta a las necesidades básicas de consumo, aseo y riego.

Por lo tanto, también no contaba en absoluto con un sistema de alcantarillado sanitario, utilizaban los pozos ciegos como medio de disposición de excretas.

Con la influencia de una mayor urbanización de la localidad, significaba una mayor demanda de los servicios, en este caso nos referimos al agua potable.

En el año 1980, el ente CORPOSANA hoy ESSAP. SA, inicio las tareas tendientes a dotar de agua potable a los pobladores de Caacupé, a través de un sistema abastecimiento, con captación del arroyo Yhaca Roysa, a través de una planta compacta de tratamiento, este sistema funciono por muchos años, hasta que la capacidad de la planta fue rebasada por la demanda local, por lo cual CORPOSANA, tuvo que recurrir al SENASA, organismo técnico del Ministerio de Salud Publica y Bienestar Social, para evaluar la ocurrencia de agua subterránea en el área de interés.

La provisión de agua potable fue solucionada con fuentes de agua subterránea, pero en consecuencia se aumentaron también los ingentes vertidos puntuales de aguas residuales de uso doméstico de cada vivienda, al subsuelo local, con el aumento de dichas aportaciones artificiales, se estaría debilitando las posibilidades de autodepuración de la zona no saturada, provocando así la posible contaminación del acuífero freático local y por ende de los cursos de agua superficiales del lugar.

III. OBJETIVOS:

—

3.1. OBJETIVO GENERAL: _

Demostrar en un área piloto de la ciudad de Caacupe, el riesgo de contaminación por los sistemas de saneamiento básico de disposición de excretas sobre el acuífero freático de Caacupe y su posible influencia sobre los acuíferos más profundos y cursos de aguas superficiales locales.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS: _

-

- Caracterizar el emplazamiento del acuífero freático de Caacupe.
- Identificar la ubicación de las fuentes de agua en el área de estudio.
- Estimar la descarga de aguas negras sobre el acuífero freático.
- Estimar las características hidráulicas del acuífero freático.
- Obtener un Modelo Hidrogeológico Local del Acuífero Freático,
- Establecer un modelo de transporte del contaminante dentro del ciclo hidrológico del acuífero Freático y las aguas superficiales de Caacupe.

IV. DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Área de Estudio

- El área delimitado posee una superficie de 120.000 m² , correspondiente a un sector del Barrio Yboty e Ybu, específicamente emplazadas dentro del cuadrante de las calles: Alberdi; Capitán Domínguez; Avda Teniente Fariña y el curso del arroyo Ortega.



Figura 02. Ortofotocarta del área de estudio en Caacupe.

4.2 Trabajos de Campo

Consistió en la selección y delimitación del área en base a números de viviendas, ubicación de pozos comunes, acceso y grado de representatividad en el área urbana de Caacupe. Estas informaciones iniciales y preliminares fueron insertados o volcadas sobre la carta nacional Caacupé – EDICIÓN 3 – DSGM – ESCALA 1:10.000 – SERIE H941, como también sobre un plano Catastral de la ciudad y la ortofotocarta del área de interés.

- Para la Definición del Acuífero Freático, se utilizaron :

Perfiles litológicos obtenidos de los pozos tubulares profundos del sistema de agua potable de ESSAP. SA.

Perfiles eléctricos y radiactivos del pozo tubular profundo Nro 3, de ESSAP.

Análisis físico químico y bacteriológico de los pozos tubulares profundos de ESSAP. SA,. Como también de algunos pozos comunes del área de interés y curso de agua del arroyo Ortega.

- Para la Identificación de las fuentes de agua, se utilizaron

La tarea de campo consistió en un monitoreo de pozos de comunes, en el área de interés donde se ubicaron los pozos con la ayuda de GPS, también se midieron los niveles estáticos, conductividad eléctrica; uso actual de los pozos y orientación de posibles fuentes de contaminación, en este caso se consideraron los pozos ciegos.

Para tal efecto se utilizaron los diferentes elementos de trabajo como: Planilla Base de Monitoreo, GPS, Cinta métrica, Medidor de Nivel de Agua, Brújula, Conductivímetro.

También en base a las informaciones obtenidas del Banco Hidrogeológico del SENASA, como a las tareas propias de localización, pudieron ser identificados la ubicación de los Pozos Tubulares Profundos de la zona de estudios, fijadas con coordenadas UTM.

- Para Estimar la carga de aguas negras al acuífero freático, se utilizaron los correspondiente al consumo de agua del mes de Noviembre del 2005, de las 12 (doce) manzanas que conforman el área de interés, según el Plano Catastral
- Para la Estimación de las Características Hidráulicas del Acuífero Freático se efectuaron:

Medición de la Permeabilidad del suelo y roca, aplicando en este caso el método indirecto, por análisis granulométrico de muestras de suelo y roca, con aplicación de la Formula de Hazen y el grafico Bredding.

Con dichos datos se pudo llegar a obtener finalmente los parámetros de trasmisividad y modelo de acuífero.

- Para la obtención del gradiente hidráulico, dirección y velocidad del flujo del acuífero freático, se efectuaron:

Determinación de curva de nivel con acotamiento de los niveles de agua de los pozos comunes.

Elaboración del Mapa de Dirección del Flujo del Agua Freática

Aplicación de la Formula de Darcy, para medios porosos, para la obtención del Gradiente Hidráulico y velocidad del Flujo.

- Para la Obtención del Modelo Hidrogeológico Local del Acuífero Freático, se realizo un ordenamiento de todos los datos o informaciones anteriormente obtenidas en las fases precedentes, con los cuales finalmente se caracterizo el acuífero de interés, por medio de:

La elaboración de un Corte Hidrogeológico del área de interés, con la ayuda del Software GeosTru (Gentileza de Víctor González, Hidrogeólogo Consultor)

V. RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

5.1 Definición del Acuífero Freático

5.1.1 Perfil Litológico del Pozo Nro 1 –ESSAP SA - Caacupe

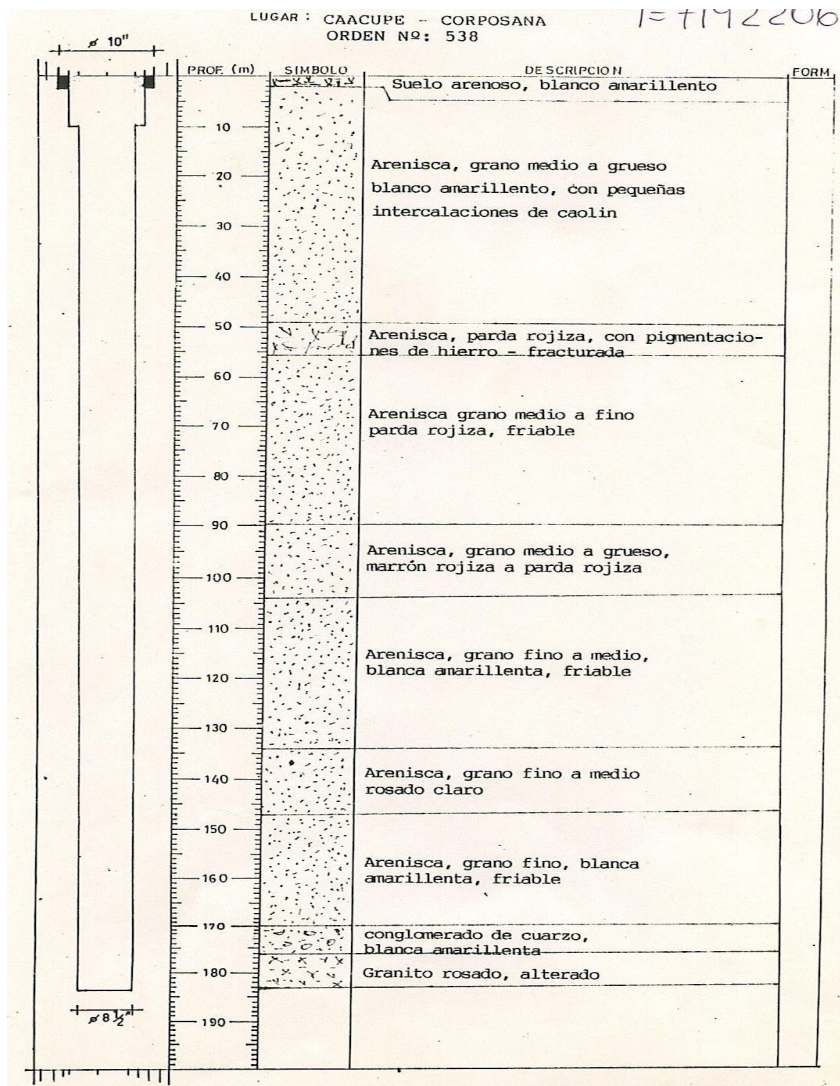


Figura 03 . Perfil litológico del PTP 01

5.1.2 Perfil Eléctrico y Radiactivo del Pozo Nro 3 ESSAP. SA - Caacupe

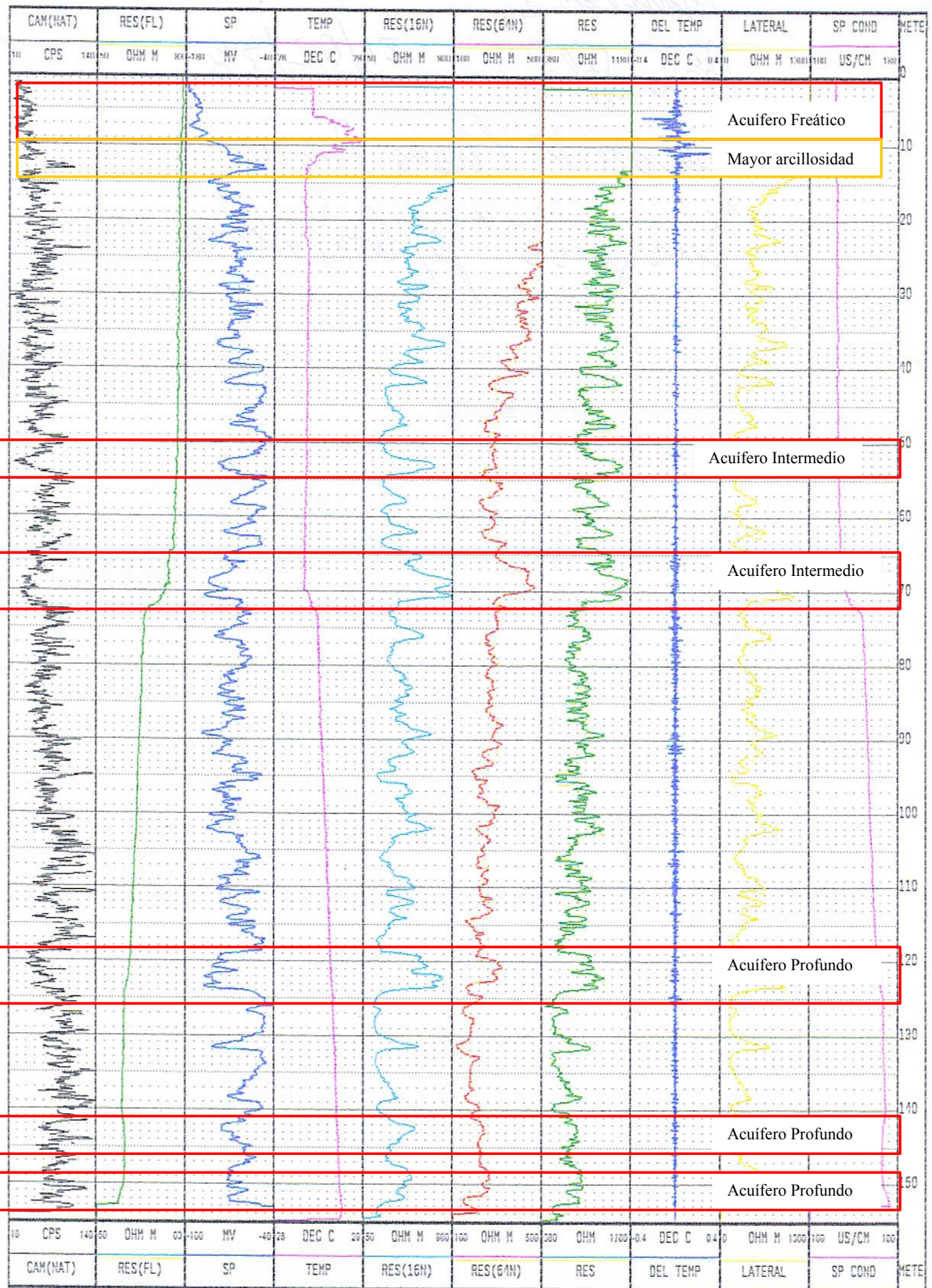


Figura 04. Perfilaje eléctrico y radiactivo del PTP 03

5.1.3 Análisis de la Calidad Físico Química y Bacteriológica de algunas fuentes de agua en el área de Estudio.

Tipo de Fuente	Propietario	Ubicación en U.T.M.		Fecha	Temperatura de Análisis ° C	pH	C.E Us/cm	Turbiedad	Color	Cl	Alcalinidad M CaCO3	Dureza Ca CaCO3	Dureza Mg CaCO3	Dureza Total CaCO3	STD	O2	SiO2	N-NO2	N-NO3	N-NH4	Fe	Coli. Totales U.F.C	C
		X	Y																				
PC-01	UTCD-Caacupe	485614	7192119	01/12/2005	21.1	5.7	243	0.8	3	19.5	23	60	10	70	136	1.9	21.84	0.001	0.46	0.026	0.22	300	
PC-02	Fortunata Vda de Gonzalez	485293	7192234	01/12/2005	29.1	6.8	128.2	41	250	7.9	42	35	19	54	62	3.9	12.19	0.08	9.81	0.02	1.98	500	
PC-03	Manuel Mayeregger	485302	7191957	26/01/2006			410																
PC-04	Maria Balbuena	485450	7192197	26/01/2006			428																
Arroyo Ortega	Sector Pedro Guillen - AF 01	482480	7192205	27/12/2005		6.5	32	5	25	2.5	12	12	13	25	23		10.72	0.005	0.4	0.022	0.79	15000	
PTP-03	ESSAP-Caacupe	485411	7190831	06/01/2006		5.8	50.7	0.3	3	3	22			12	29		0.41	0.001	0.41	0.002	0.01		
PTP-02	ESSAP-Caacupe	485200	7192248	06/01/2006		5.6	69.5	0.5	3	6.5	18			16	39		2.26	0.002	2.26	0.007	0.01		
PTP-01	ESSAP-Caacupe	485179	7192206	06/01/2006		6.4	62	0.7	3	1.5	22			16	35		0.27	0.002	0.27	0.003	0.01		
Arroyo Ortega	Sector Gobernacion - AF 03	485776	7192487	14/04/2004	25.9	7.1	98	20															

■ Datos Brindados por ESSAP S.A. Gerencia de Operaciones - Unidad de Control de Calidad - Dpto. de Laboratorio

■ Datos Brindados por DIGESA - MSP y BS. Laboratorio de Calidad de Agua.

PTP = Pozo Tubular Profundo

PC = Pozo Comun o de Brocal

Tabla 01. Planilla de resultados de análisis físico químico y bacteriológico de fuentes de agua.

5.1.4 Características de los acuíferos identificados.

Tipo de Acuífero	Modelo de Acuífero	Permeabilidad	Trasmisividad	Velocidad	Conductividad Eléctrica	Dureza	Calidad Bacteriología
Freático	Ínter granular	38.10 m/día	381 m ² /día	0,104 m/día	152 a 560 uS/cm	70 mg/l, Ca CO ₃	200 UFC/100 cc
Intermedio y Profundo	Fracturamiento	0.46 m/día	57,8 m ² /día	----	50 a 70 uS/cm	25 mg/l, Ca CO ₃	-----

5.2 Identificación de las fuentes de agua

5.2.1 Planilla de Monitoreo de Fuentes de Agua

MONITOREO DE FUENTES DE AGUA FREATICAS

Nro Orden	Propietario	Fuente	Manzana Nº	Zona Nº	Barrio	Profundidad	Nivel de Agua	Litología	Uso	Cond. Electrica	Ubicación		Observacion
1	UTCD	Pozo Comun	96	19	Yboty	11.00	6.00	Suelo residual y Arenisca Grupo Caacupe	Riego y aseo domestico	560	X:0485614	Y:7192119	POZO CIEGO CERCANO
2	Esc.Cristo Rey	Pozo Comun	97	19	Yboty	14.00	7.00		Riego y aseo domestico	480	X:0485678	Y:7192041	POZO CIEGO CERCANO
3	Rogelio Sugasti	Pozo Comun	96	19	Yboty	12.00	6.00		Riego y aseo domestico	360	X:0485578	Y:7192099	POZO CIEGO CERCANO
4	Maria Balbuena	Pozo Comun	102	19	Yboty	10.00	4.45		Aseo domestico	428	X:0485450	Y:7192197	POZO CIEGO CERCANO
5	Felix Benitez	Pozo Comun	94	19	Ybu	5.00	1.45		Aseo domestico	470	X:0485515	Y:7192445	POZO CIEGO CERCANO
6	Nunes Gomez	Pozo Comun	81	19	Ybu	6.00	2.20		Sin uso	230	X:0485461	Y:7192282	POZO CIEGO CERCANO
7	Manuelita Peña	Pozo Comun	94	19	Ybu	4.00	1.20		Sin uso	380	X:0485515	Y:7192347	POZO CIEGO CERCANO
8	Rosita Benitez	Pozo Comun	94	19	Ybu	4.00	2.10		Sin uso	400	X:0485530	Y:7192322	POZO CIEGO CERCANO
9	Dimas Paredes	Pozo Comun	95	19	Yboty	12.00	6.00		Sin uso	290	X:0485567	Y:7192188	POZO CIEGO CERCANO
10	Arnaldo Sugasti	Pozo Comun	102	19	Yboty	8.00	3.20		Aseo domestico	190	X:0485429	Y:7192125	POZO CIEGO CERCANO
11	Flia. Guillen	Pozo Comun	102	19	Yboty	9.00	3.00		Riego y aseo domestico	195	X:0485414	Y:7192115	POZO CIEGO CERCANO
12	Ramon Artecona	Pozo Comun	102	19	Yboty	10.00	4.90		Uso general	180	X:0485379	Y:7192125	POZO CIEGO CERCANO
13	Ing. Fatecha	Pozo Comun	102	19	Yboty	7.00	4.00		Sin uso	250	X:0485469	Y:7192097	POZO CIEGO CERCANO
14	Cipriano Gonzalez	Pozo Comun	101	19	Ybu	5.00	1.70		Sin uso	320	X:0485328	Y:7192208	POZO CIEGO CERCANO
15	Javier Pedrozo	Pozo Comun	102	19	Ybu	3.00	1.70		Riego y aseo domestico	270	X:0485415	Y:7192173	POZO CIEGO CERCANO
16	Victoriana Vera	Pozo Comun	103	19	Yboty	15.00	9.00		Uso general	260	X:0485490	Y:7192011	POZO CIEGO CERCANO
17	Adela Torres	Pozo Comun	103	19	Yboty	12.00	6.30		Aseo domestico	350	X:0485550	Y:7192090	POZO CIEGO CERCANO
18	Pablo Colman	Pozo Comun	103	19	Yboty	10.00			Pozo Ciego		X:0485530	Y:7192120	
19	Fernando Gomez	Pozo Comun	103	19	Yboty	10.00	8.00		Sin uso		X:0485474	Y:7192097	POZO CIEGO CERCANO
20	Carmen Pedrozo	Pozo Comun	102	19	Yboty	8.00			Pozo Ciego		X:0485502	Y:7192149	POZO CIEGO CERCANO
21	Rosa Vda Fatecha	Pozo Comun	122	19	Yboty	20.00	10		Sin uso	230	X:0485376	Y:7191844	POZO CIEGO CERCANO
22	Jorge Mendoza	Pozo Comun	121	19	Yboty	12			Pozo Ciego		X:0485339	Y:7191903	
23	Daniel Chaparro	Pozo Comun	113	19	Yboty	8.00			Pozo Ciego		X:0485458	Y:7191812	
24	Manuel Mayeregger	Pozo Comun	121	19	Yboty	10,00	4.7		Sin uso	410	X:0485302	Y:7191957	POZO CIEGO CERCANO
25	Blanca Tullo	Pozo Comun	111	19	Yboty	9.00	7		Riego y aseo domestico	284	X:0485291	Y:7192037	POZO CIEGO CERCANO
26	Oscar Martinez	Pozo Comun	120	19	Yboty	12.00	2.7		Riego y aseo domestico	310	X:0485259	Y:7192027	POZO CIEGO CERCANO
27	Eligio Gomez	Pozo Comun	120	19	Ybu	6.00	3		Sin uso	360	X:0485230	Y:7192103	POZO CIEGO CERCANO
28	Maria Ojeda	Pozo Comun			Ybu	7.00	5.1		Uso general	177	X:0485061	Y:7192321	POZO CIEGO CERCANO
29	Rufino Ayala	Pozo Comun	105	19	Industrial	9.00	6		Sin uso	230	X:0485582	Y:7191780	POZO CIEGO CERCANO
30	Fortunata Vda Gonzalez	Pozo Comun	101	19	Ybu	2.00	0.7		Riego y aseo domestico	152	X:0485293	Y:7192234	POZO CIEGO CERCANO
31	Tomas Espinola	Pozo Comun	101	19	Ybu	3.50	2.4		Riego y aseo domestico	420	X:0485360	Y:7192193	
32	Judih Abbate	Pozo Comun	111	19	Ybu	4.00	2.4		Riego y aseo domestico	280	X:0485335	Y:7192128	POZO CIEGO CERCANO

Tabla 02. Planilla de catastro de fuente de agua en el área de investigación.

5.2.2 Mapa de Ubicación de Fuentes de Agua

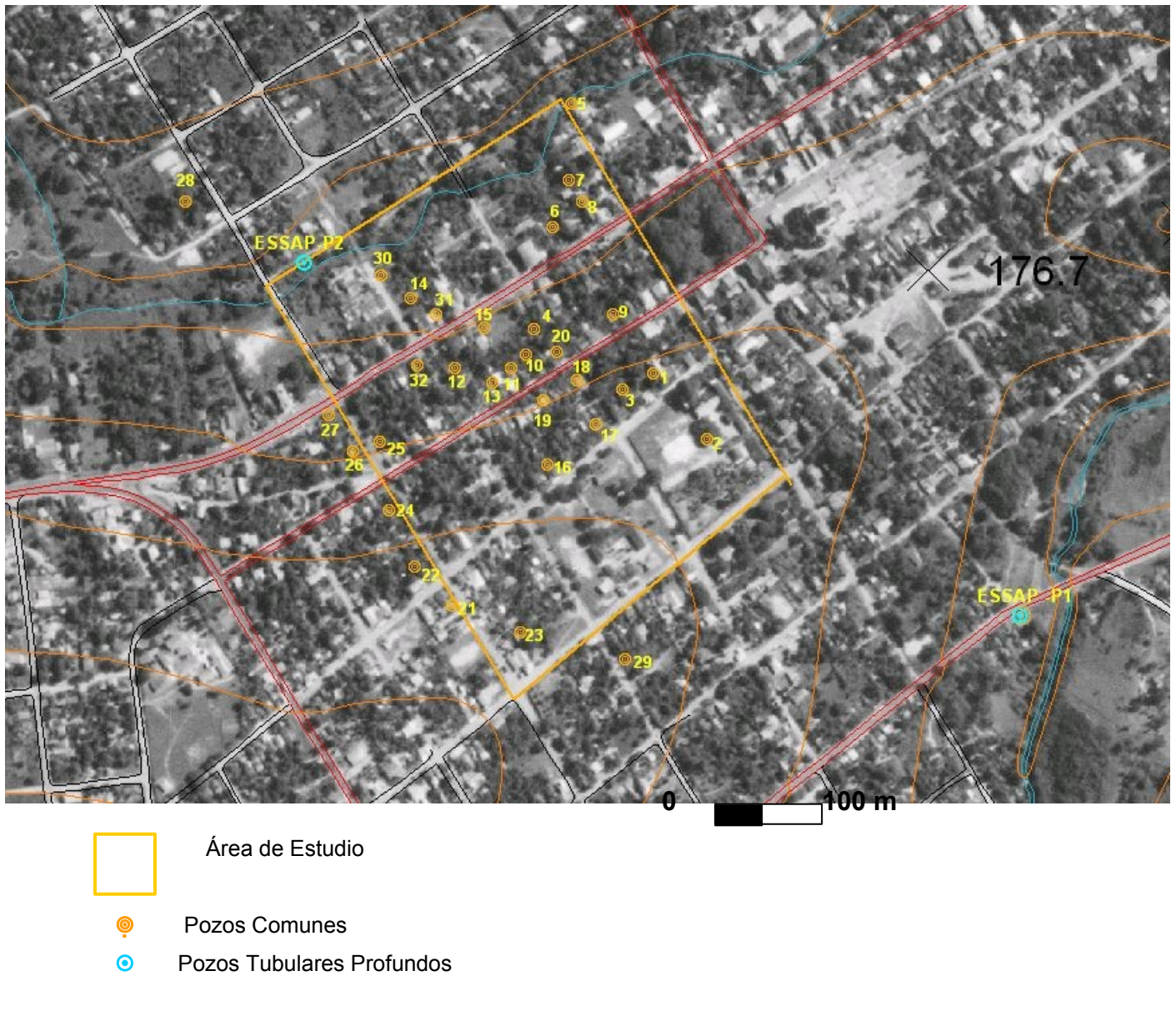


Figura 05. Mapa de ubicación de las fuentes de agua

5.2.3 Inventario de Fuentes de Agua

En el área de Estudio, se ha identificado 32 fuentes de agua tipo Pozo Común o de Brocal, con profundidades medias de 8,00 m.

De los cuales 10 lo utilizan para riego y aseo domestico. Solamente para aseo domestico lo utilizan 4. Sin ningún uso lo constituyen 11. Mientras que 3 le dan un uso general. Y finalmente 4 le destinan como pozo ciego.

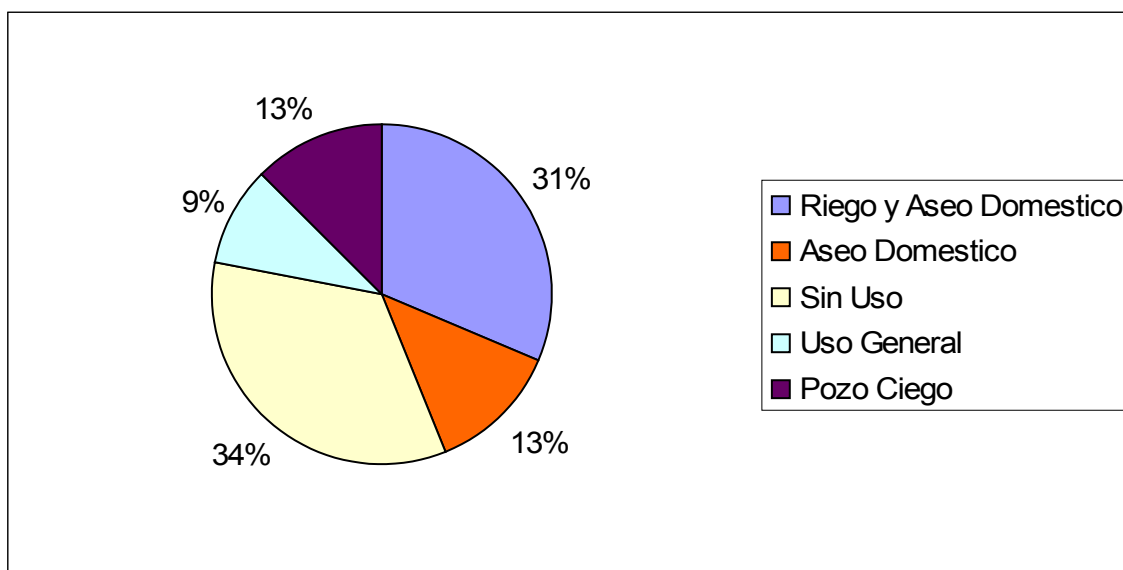


Gráfico 01. Distribución en el uso de las fuentes de agua.

En cuanto a inventario de fuentes tipo Pozos Tubulares Profundos, dentro del área de Estudio solamente se tiene el PTP N° 2, de ESSAP. SA. Pero por cuestiones de una mejor interpretación del modelo hidrogeológico local, se tuvo que utilizar también los datos técnicos de los PTP N° 1 y 3 de ESSAP. SA, fuera del área de Estudio, pero muy próximo a ella, sobre todo emplazado con idénticas características hidrogeológicas, por lo tanto las informaciones que aportaron dichas fuentes igual son consideradas validas y representativas.

5.3 Estimación de la carga de aguas negras sobre el acuífero freático

5.3.1 Plano Catastral del Área de Estudio



Figura 06. Mapa catastral del área de investigación

5.3.2 Modelo de Planilla de Consumo de Agua Potable Utilizado por ESSAP. SA

Nro de Libro	Nro de Manzanas	Consumo en m ³
801	110 – 101 – 94	1688
802	111 – 102 – 95	1268
803	112 – 103 – 96	1267
804	113- 104 - 97	1071
Total		5294 m ³

Tabla 03. Resumen de consumo de agua en el área de investigación

5.3.3 Resumen de la Carga Hidráulica Artificial

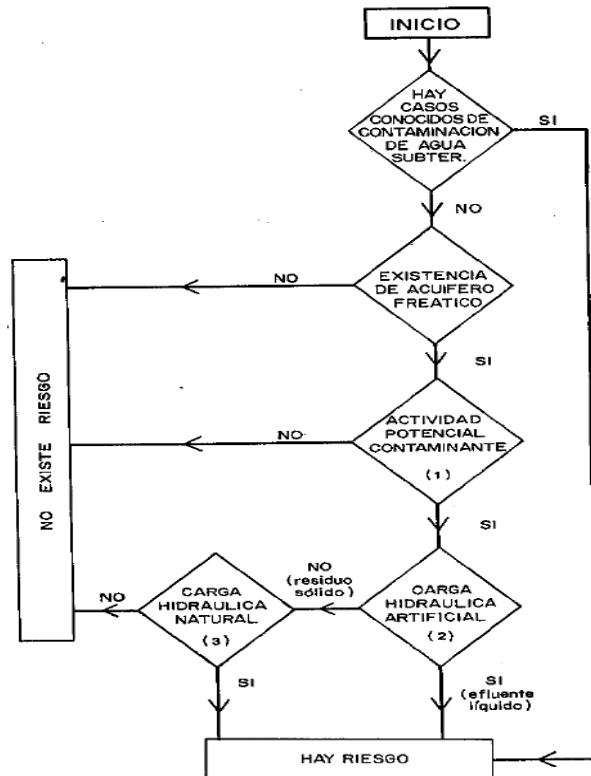
Tomando en consideración los valores totales de 5.294 m³ x mes de agua utilizado en el área de interés de acuerdo a las lecturas de medidor efectuadas en las 12 (doce) manzanas, según el Plano Catastral local, se podría estimar el volumen de aguas negras que ingresa al subsuelo en un 70%, o sea estaría vertiéndose aproximadamente unos 3.705 m³ al mes en el área de estudio. Lo cual representa una carga hidráulica artificial al sistema natural del ciclo hidrológico local.

m ³ /h	m ³ /día	m ³ /mes	m ³ /año
5,14	123,5	3.705	44.460

5.3.4 Determinación del Riesgo de Contaminación del Acuífero Freático

De acuerdo a la figura siguiente, utilizando primeramente el esquema más simple para estimar el riesgo de contaminación al acuífero freático, efectuando un seguimiento de los niveles involucrados en dicho esquema, según el reconocimiento preliminar, por lo tanto al iniciar el análisis podemos decir que no han existido casos conocidos de contaminación del agua subterránea en el área, detectado conforme a investigaciones o análisis ambientales anteriores.

Por lo tanto podemos pasar al siguiente nivel, donde afirmativamente existe un acuífero freático de Caacupe, ligado a una actividad potencial contaminante relacionado principalmente a urbanización con agua potable, pero sin sistema de alcantarillado in situ, con una carga hidráulica importante asociado a las aguas negras, que son dirigidos al subsuelo en forma de efluente líquido, sumados también a la carga hidráulica natural con posibilidad de lixiviación de algunos residuos sólidos de origen hospitalario, detectado en el área de interés, lo cual sirve para afirmar preliminarmente que Hay Riesgo de Contaminación del Acuífero Freático.



5.4 Estimación de algunas Características Hidráulicas del Acuífero Freático

5.4.1 Calculo de Coeficiente de Permeabilidad

Considerando que la muestra de arenisca presento al efectuar el análisis granulométrico D efectivo $10\% = 0,210$ mm, se puede calcular el coeficiente de Permeabilidad, aplicando la formula de Hazen

Pasar $0,210$ mm a cm = $0,021$ cm

$$K = 100 (D 10 \% \text{ efect})^2 = 100 (0,021)^2 = 0,0441 \text{ cm/sg}$$

Pasar a m/día = $38,10$ m/día

Considerando el valor de $38,10$ m/día, obtenido para el coeficiente de permeabilidad del acuífero freático y relacionando con la tabla de permeabilidad extraída del libro Pozos y Acuíferos, Tecnicas de Evaluacion Mediante Ensayos de Bombeos, Manuel Villanueva Martinez/ Alfredo Iglesias Lopez. Instituto Geologico y Minero de España. Podemos observar que posee una calificación Alta.

Tabla de Permeabilidad

K (m/dia)	Calificación Estimativa
$K < 10^{-2}$	Muy baja
$10^{-2} < K < 1$	Baja
$1 < K < 10$	Media
$10 < K < 100$	Alta
$K > 100$	Muy alta

Sin embargo analizando la Curva de Breddín, podemos catalogarlo a la muestra extraida como arena fina a media, con una permeabilidad Clase 4, según el cuadro siguiente presenta una Permeabilidad de 0,05 cm/seg, considerado también como un acuífero regular, de mediana permeabilidad

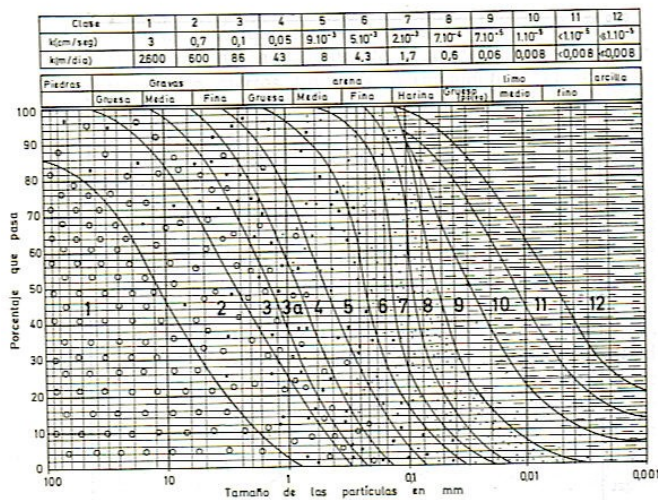


TABLA 8.3 Clases de terrenos de Bredding, según la figura 8.19

Clase	Permeabilidad según Hazen cm/seg	Clase de acuífero	Clase de permeabilidad
1	3	Acuífero	muy buena
2	0,7		muy buena
3	0,1		bueno
4	0,05		regular
5	$9 \cdot 10^{-3}$		pobre
6	$5 \cdot 10^{-3}$		pobre
7	$2 \cdot 10^{-3}$		muy pobre
8	$7 \cdot 10^{-4}$		muy pobre
9	$7 \cdot 10^{-5}$		impermeable
10	$1 \cdot 10^{-5}$	Acuífero	impermeable
11	$< 10^{-5}$		impermeable
12	$< < 10^{-5}$		impermeable

5.4.2 Calculo de Transmisividad del Acuífero Freático

Es mas común que la permeabilidad K, se obtenga como cociente entre la transmisividad T, y el espesor del acuífero b, por lo tanto en este caso ya que tenemos K , como el espesor del acuífero b, por aplicación de formula tenemos:

$$K = T/b \quad \text{entonces} \quad T = K \cdot b$$

$$T = 38,10 \text{ m/dia} \cdot 10 \text{ m.} = 381 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Considerando el valor de 381 m²/dia, obtenido para la Transmisividad del acuífero freatico y relacionando con la tabla de transmisividad extraida del libro Pozos y Acuíferos, Tecnicas de Evaluacion Mediante Ensayos de Bombeos, Manuel Villanueva Martinez/ Alfredo Iglesias Lopez. Instituto Geologico y Minero de España. Podemos observar que posee una calificación Media a Alta.

Tabla de Transmisividad

T(m ² /dia)	Calificación Estimativa
T < 10	Muy baja
10 < T < 100	Baja
100 < T < 500	Media a alta
500 < T < 1000	Alta
T > 1000	Muy alta

5.5 Obtención de un Modelo Hidrogeológico Local del Acuífero Freático.

5.5.1 Mapa isopieza del área de investigación

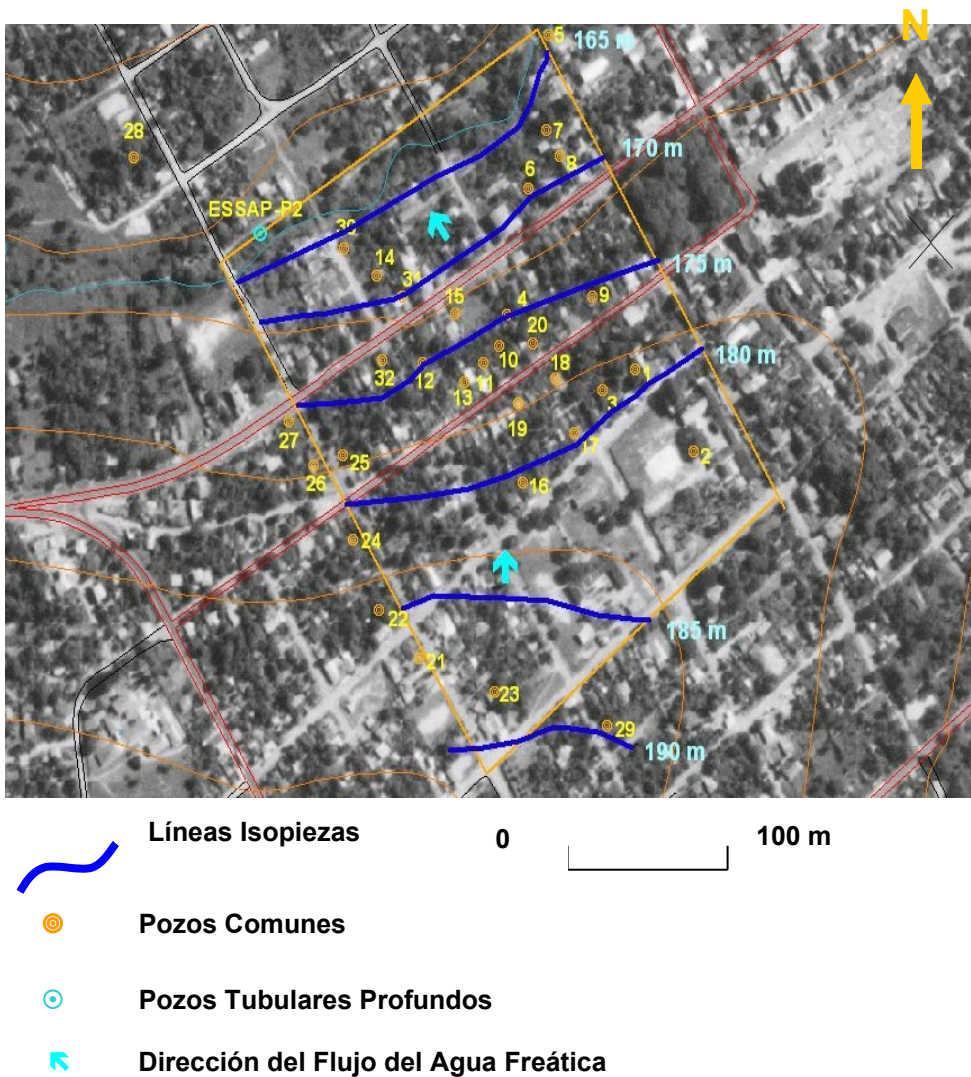


Figura 07. Mapa isopieza del área de investigación

5.5.2 Calculo de gradiente y velocidad del flujo subterráneo

Gradiente Hidráulico	Formula $I = \frac{H_1 - H_2}{L}$	$I = \frac{179 - 168.5}{330} = 0.03$	Sentido de flujo hacia el arroyo Ortega
Velocidad de Circulación según Ley de Darcy	Formula $V = \frac{K \cdot I}{m}$	Resultados $V = \frac{38.10 \times 0.03}{11} = 0.104 \text{ m/día}$	Los datos de k, fueron extraídos por Hazen y m según tabla de U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2220, 1987

Tabla 04. Resumen de datos de gradiente y velocidad del acuífero freático

5.5.3 Modelo hidrogeológico local.

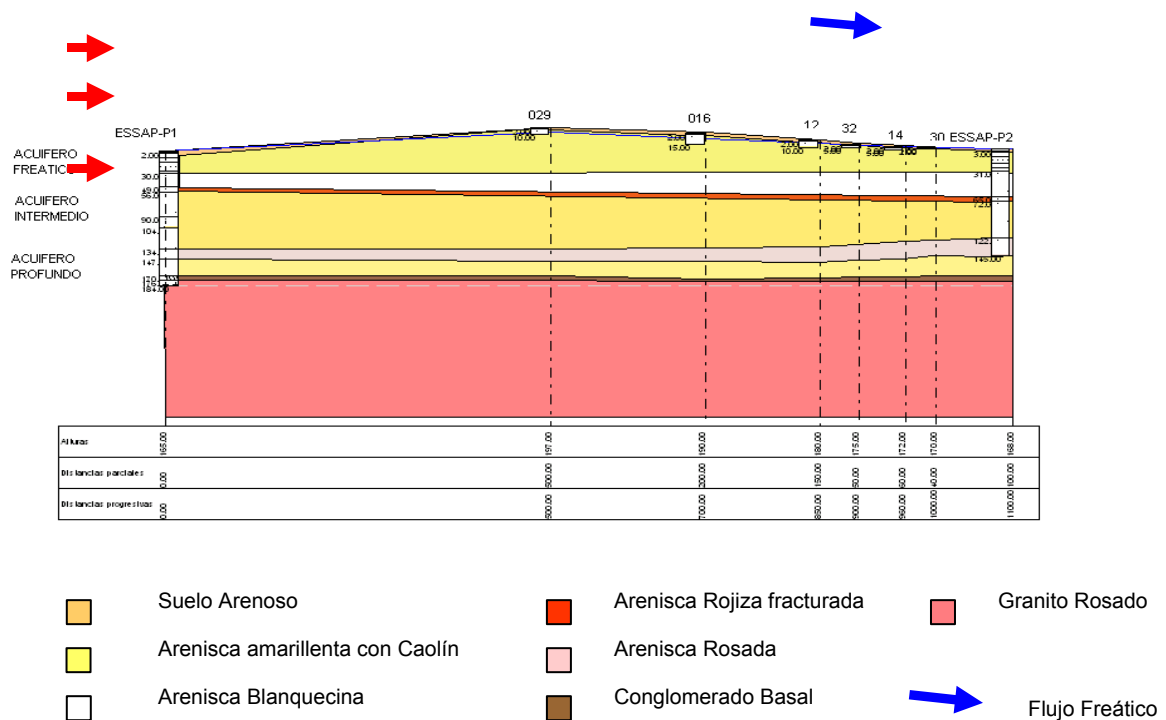


Figura 08. Corte hidrogeológico del área de investigación

VI. CONCLUSIONES

- Después de que la ciudad de Caacupé contó con el sistema de servicio de agua potable finales de los años 80, los antiguos pozos comunes familiares, quedaron relegados, a satisfacer algunas actividades como riego y aseo domestico, otras familias lamentablemente por falta de asesoramiento y educación ambiental, convirtieron dichas fuentes en pozos ciegos.
- Esta practica de convertir los antiguos pozos de agua, en pozos ciegos por algunos pobladores, nos demuestra indudablemente que existe aun un déficit en educación ambiental y sanitaria en el área.
- Estos pozos comunes que anteriormente brindaban el sustento para la provisión de agua a los pobladores de Caacupe y que de acuerdo a los análisis anteriores efectuados a través de perfilajes eléctricos, análisis físico químico bacteriológico, perfiles litológicos, parámetros hidráulicos, entre los pozos excavados y el pozos tubulares profundo dentro del área de investigación, se pudo determinar evidentemente la existencia de un acuífero freático o somero, del cual se proveían los antiguos pozos comunes o excavados del área de Caacupe, que bajo un contexto general responde a un modelo hidrogeológico multicapa, donde también coexisten con acuíferos intermedios y profundos.
- El acuífero freático de Caacupe, se halla conformado por una porción de suelo arenoso y una arenisca amarillenta de grano medio a fino, posee espesores saturados de unos 10,00 hasta 20,00 m, con niveles de agua entre 8,00 a 0,70 m., con parámetros hidrogeológicos de permeabilidad y tranmisividad media a alta, la dirección de flujo posee una dilección hacia el Arroyo Ortega, con una velocidad de 0,104 m/dia, por lo tanto el arroyo Ortega es efluente con respecto al acuífero freático.
- Los análisis físico químico bacteriológico, practicados a las fuentes de agua dieron conductividades eléctricas entre 152 a 560 uS/cm; pudiendo clasificarlo hidroquímicamente de acuerdo a su dureza, como agua poco dura, los valores de 9,81 ppm de NO_3 , aun se encuentran dentro de la Norma Paraguaya de Calidad de Agua, NP24 001 80 del INTN . Sin embargo los valores medio de 200 UFC/100 cc, de coliformes totales y fecales, detectado en el acuífero freático, evidentemente se encuentran muy por encima de los valores permisibles sustentados también por la Norma Paraguaya de Calidad de Agua, NP24 001 80 del INTN, donde la calidad microbiológica para agua potable deberían tener valores cero.

- Siempre enfocando los valores de coliformes fecales encontrados en el acuífero freático de 200 UFC/100 cc, se puede afirmar que estos valores estarían relacionados al lixiviado de las aguas negras provenientes de todos los pozos ciegos existente dentro del área de estudio, los cuales se infiltran y se escurren dentro de las aguas freáticas locales, para drenar finalmente sus aguas hacia el colector natural del lugar, en este caso representado por el arroyo Ortega, como se pudo apreciar en el Esquema de Contaminación propuesto anteriormente.

Sin embargo, en este arroyo se detectó también coliformes fecales en unidades muy superiores, con valores de 5.800 UFC/100 cc, en el sector de la naciente, mucho antes del área de estudio y 65.000 UFC/100 cc, después de atravesar el área de estudio, lo cual nos demuestra que la afectación del acuífero al arroyo local, en términos bacteriológicos es muy leve o mínimo, sin embargo el aumento de 10 veces más, observados entre los valores de coliformes fecales encontrado en el curso del arroyo Ortega, dentro del sector de la naciente y el sector urbano de Caacupe, responden más bien a los vertidos puntuales y directos de aguas residuales, a la que es objeto en forma muy común, en muchos tramos del curso de agua de referencia.

- Esta situación, evidentemente responde al progresivo crecimiento demográfico urbano del área, lo cual genera serios inconvenientes en el momento de eliminar las aguas negras en los pozos ciegos individuales, o directamente al pozo de agua, creando así un progresivo deterioro de las aguas freáticas, bajo un modelo de contaminación difusa y su entorno inmediato, las aguas superficiales del sector urbano de la ciudad, ya que ellos reciben también altas cargas de efluentes en forma puntual y difusa más levemente, que exceden la capacidad de auto depuración natural del curso de agua.
- La degradación de la calidad físico química y bacteriológica de las aguas freáticas y superficiales por un modelo de contaminación difusa que está afrontando el área, son los impactos negativos esperados por el funcionamiento de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable sin Alcantarillado Sanitario.
- Por lo tanto podemos concluir finalmente que se ha llegado a demostrar la hipótesis de que efectivamente existe una progresiva degradación en la calidad físico, química y sobre todo bacteriológica del acuífero freático de la ciudad de Caacupe, relacionado principalmente a los aportes de los sistemas de saneamiento básico de disposición de excretas o pozos ciegos existente en su totalidad en el área urbana de dicha ciudad, generados por la creciente actividad humana del lugar.

VII. RECOMENDACIONES

- En base a los resultados de este trabajo es necesario realizar otra investigación similar pero a mayor escala para conocer el estado actual de todo el acuífero freático y profundo de Caacupé.
- Establecer medidas de control a las fuentes potenciales de contaminación y uso eficiente de las aguas provenientes de las fuentes de agua subterránea.
- Delinear Estrategias de Protección, basados en la planificación del ordenamiento territorial utilizando como herramienta fundamental la correlación entre vulnerabilidad y riesgo potencial del acuífero, pudiéndose proponer tres alternativas de acción; la no degradación, la degradación limitada y la protección diferencial.
- Incluir en los programas académicos desde los niveles primarios, el tema del agua subterránea para lograr la difusión del conocimiento del recurso y su preservación.
- Hacer un llamado a la reactivación inmediata del sistema de alcantarillado sanitario para evitar el progresivo deterioro del acuífero freático de Caacupé y de los cursos de aguas superficiales locales.
- El arroyo Ortega por su elevada contaminación con Bacterias de Coliformes Fecales, su uso debería ser restringido actualmente para fines paisajístico, ya que sobrepasan las normas permitidas para recreación según la Resolución N° 222/02, de la SEAM, POR LA CUAL SE ESTABLECE EL PADRON DE CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL TERRITORIO NACIONAL.
- Los usuarios de la cuenca media y baja del arroyo Tobati, deberían también restringir el uso de las aguas para ciertos fines, por la progresiva contaminación, por lo tanto el problema debe ser abordado a nivel de cuenca hidrológica, ya que si no se efectúa las tareas de remediación de la contaminación en la cuenca alta, sector de la ciudad de Caacupe, donde irrigan sus aguas los arroyos Ortega, Yhaca Roysa, Paso Irala, es imposible de esperar una rehabilitación del curso de agua superficial del colector principal de la zona, el arroyo Tobati, por lo tanto las soluciones deben proponerse y ejecutarse indefectiblemente a nivel de cuenca.
- Crear una Asociación de Cuenca del Arroyo Tobati, que congregue a Usuarios, Instituciones Oficiales, Privadas, de manera a intervenir en forma deliberativa en todas

las acciones que puedan incidir directa e indirectamente en los recursos hídricos de la cuenca, en resumen se debería elaborar un Plan de Gestión de dicha Cuenca.

VIII. BIBLIOGRAFIA

AGUILO, Miguel; (1984) El Agua en Madrid Consejería de Obras Publicas y Transportes Madrid – España

CUSTODIO, Emilio y LLAMAS Manuel; (2001) Hidrología Subterránea. Vol. I y II. Barcelona – España.

ORUE, Delio; (1997) Geología del Paraguay, Tesis. Sao Paulo –Brasil

PAR/83/005; (1986) Memoria del Mapa Geológico del Paraguay Asunción – Paraguay

PAR/83/005; (1986) Memoria del Mapa Hidrogeológico del Paraguay Asunción – Paraguay

FOSTER, Etephen; (1988) Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Lima – Perú.

MEMORIA TECNICA; (2000) 3^{er} Curso Sudamericano sobre Evaluacion Y Vulnerabilidad de Acuíferos OEA Itaipu Binacional Asuncion – Paraguay

CASTANY, G; (1975) Prospección y Explotacion de las Aguas Subterraneas Ediciones Omega, S.A Barcelona – España.

CANTER, Larry W; (1998) Manual de Evaluacion de Impacto Ambiental Mc Graw Hill / Interamericana Madrid – España.

