

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE CIENCIAS GEOLOGICAS

**ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD Y
PERIMETROS DE PROTECCION DEL ACUIFERO
CHUY, EN EL BALNEARIO LA PALOMA (ROCHA)**

LETICIA IVON GONZALEZ CARREIRA

TUTOR: Prof. Dr. Jorge Montaña Xavier

COTUTOR: Lic. Andrés Pérez

TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA

MONTEVIDEO

OCTUBRE 2011

Dedicatoria

A mis hijos Ainara y Kenai, por el tiempo de madre que me han cedido para poder
realizar la tesis.

A mi esposo Gonzalo por su comprensión y apoyo.

A mi mamá y mi suegra por su apoyo diario.

A familiares y amigos que me alentaron y apoyaron a dar este paso.

MUCHAS GRACIAS!

Agradecimientos

Al Dr. Jorge Montaña por su apoyo y dedicación en este trabajo.

Al Dr. Claudio Gaucher, Dra. Paula Collazo y Lic. Elena Peel, por sus correcciones y sugerencias.

A OSE, Lic. Andrés Pérez, Lic. Margarita Sienna, Lic. Sergio Gagliardi, Ing. Eduardo Liard, José Lombardi, Emilio Fosali y todos los funcionarios que han colaborado directa o indirectamente en este trabajo.

Se agradece al equipo de trabajo del Area de Hidrogeología de DINAMIGE por su disponibilidad, hospitalidad y asesoramiento.

A los Licenciados: Eduardo Castiglioni, Josefina Marmisolle y Federico González por su apoyo incondicional en diferentes tareas.

A la Consultora GeoAmbiente por el préstamo de equipo para determinaciones físicas (peachimetro, termómetro y conductivímetro).

Al Técnico Andrés Ramírez por su apoyo en software.

INDICE DE CONTENIDO

Resumen

1. Introducción	5
2. Objetivos	5
3. Metodología	5
4. Caracterización del área de estudio	6
4.1 Ubicación geográfica	8
4.2 Red de drenaje	8
4.3 Clima	8
4.4 Actividades Antrópicas	9
5. Suelos	10
5.1 Planosoles	10
5.2 Argisoles	11
5.3 Gleysoles	11
5.4 Arenosoles	12
6. Geología	13
6.1 Marco Geológico	14
6.1.1 Formación Rocha	15
6.1.2 Formación Chuy	16
6.1.3 Formación Libertad	18
6.1.4 Sedimentos Actuales	19
7. Hidrogeología	20
7.1 Conceptos básicos	20
7.2 Acuífero Chuy	20
7.3 Piezometría	21
8. Hidrogeoquímica	24
8.1 Conductividad	24
8.2 Temperatura	24
8.3 Dureza	24
8.4 Concentración de Iones	25
8.4.1 Cationes	25
8.4.2 Aniones	26
8.5 Representación grafica	27
8.5.1 Diagrama de Stiff	28
8.5.2 Diagrama de Piper	29
9. Vulnerabilidad (V)	30
9.1 Método GOD	32
9.2 Método EKv	36
9.3 Método $\Delta hT'$	37

10. Perímetros de Protección de Pozos (PPP)	42
10.1 Concepto	42
10.1.1 Area de captura de la fuente	43
10.1.2 Zona operacional del pozo	43
10.1.3 Limitaciones del concepto de PPP	44
10.1.4 Comparación de los métodos de delimitación	44
10.2 Determinación de PPP	45
10.2.1 Radio fijado arbitrariamente	45
10.2.2 Radio fijo calculado	46
11. 1 Conclusiones	47
11. 2 Recomendaciones	49
12. Bibliografía	51
13. Anexos	55
13.1 Inventario de Pozos	55
13.2 Datos Fisicoquímicos	57
13.3 Descripción litológica de perforaciones La Paloma-Rocha	57
13.4. Diagramas de Stiff, La Paloma, Rocha	65
13.5. Modelo de Radio de Influencia calculado del Ensayo de Bombeo, Zona I y Zona II. (SWECO VBB VIAK, 2002)	67

INDICE DE FIGURAS

Fig. 4.1. Ubicación del área de estudio	8
Fig. 4.2. Imagen Satelital de la Laguna de Rocha. Mostrando afluentes y desembocadura al mar	9
Fig. 4.3. Mapa de actividad antrópica en La Paloma, Rocha.	10b
Fig. 6.1. Compartimentación estructural del Escudo Uruguayo. Terrenos tectonoestratigráficos (Bossi, J. 2009).	14
Fig. 6.2. Geología del Terreno Cuchilla Dionisio. Cuencas Sedimentarias de Uruguay, Paleozoico. CapII, El Escudo Uruguayo. Masquelin H. (2006).	15
Fig. 6.3. Afloramientos del Basamento en la costa, específicamente en el Faro de Santa María, Balneario La Paloma	17
Fig. 6.4. Formación Chuy vista en afloramiento y lamina delgada	18
Fig. 6.5. Cárcava de erosión	20
Fig. 6.6. Mapa Geológico de La Paloma, Rocha	20a
Fig. 6.7. Corte Geológico La Paloma, E – W.	20b
Fig. 7.1. Mapa Potenciométrico La Paloma, Rocha.	22
Fig. 7.2. Ensayo de bombeo peroración P40. SWECO VBB VIAK (2002). ...	23
Fig. 8.1. Mapa de distribución de Diagramas de Stiff, La Paloma-Rocha.	28b
Fig.8.2. Diagrama de Piper correspondiente a aguas subterráneas del Balneario La Paloma-Rocha	30
Fig. 9.1. Diagrama para cualificar la vulnerabilidad del acuífero para el método GOD. Foster (1987).	33
Fig. 9.2. Corte Geológico, Zona I - La Virazón	34

Fig. 9.3. Corte Geológico, Zona II, La Serena	35
Fig. 9.4. Corte Geológico, Zona III, Parque Andresito	36
Fig. 9.5. Mapa de Vulnerabilidad – GOD, La Paloma.	36a
Fig. 9.6. Potenciales hidráulicos naturales.	39
Fig. 9.7. Potencial hidráulico artificial en Acuífero Semiconfinado	39
Fig. 9.8. Faja costera del sector SW, nivel freático en superficie	41
Fig. 9.9. Mapa de Vulnerabilidad – Ekv y $\Delta hT'$	41a
Fig. 10.1. Diferencia entre el área de captura y la zona de influencia de un pozo de producción. Foster et al (2002).	43
Fig. 10.2. Esquema idealizado de áreas de captura y perímetros de protección según el tránsito entorno al pozo de producción. Foster et al (2002).	44
Fig. 10.3. Líneas de flujo y cono de descenso en un pozo de bombeo.	46

INDICE DE TABLAS

Tab. 4.1. Actividades antrópicas que se identifican en la Localidad de La Paloma.	11
Tab. 5.1. Caracterización de los diferentes tipos de suelos en el área de estudio	11
Tab. 8.1. Error admisible según los valores de conductividad, (Custodio, 1983)	24
Tab. 8.2. Valores guías de los componentes químicos que afectan la calidad del agua potable según la OMS (2006)	25
Tab. 8.3. Muestras con valores no aceptables (rojo) según la OMS (2006).	27
Tab. 9.1. Índices para los parámetros E y Kv	37
Tab. 9.2. Valores de Kv según la litología de la sección no saturada	37
Tab. 9.3. Diagrama de Vulnerabilidad de acuíferos libres.	38
Tab. 9.4. Índice de Vulnerabilidad	38
Tab. 9.5. Grado de Vulnerabilidad según la relación del nivel freático y el nivel piezométrico del acuífero semiconfinado.	40
Tab. 9.6. Resultado de la aplicación del método $\Delta hT'$	40
Tab. 10.1. Diferentes métodos de determinación de PPP en función de la información disponible.	45
Tab. 10.2. Valores necesarios para calcular PPP.	47
Tab. 10.3. Valores de R para cada sondeo.	47

Resumen

Para el acuífero Chuy en la localidad de La Paloma – Rocha se determinó la vulnerabilidad y los perímetros de protección, previo estudio de las características hidrodinámicas y las propiedades hidrogeoquímicas de las aguas subterráneas.

Mediante el análisis de la información recabada para el acuífero Chuy es posible identificarlo como un sistema multicapa conformado por dos regímenes:

1) Acuífero libre, entre las cotas +20 y -10.

2) Acuífero semiconfinado entre la cota -20 hasta el contacto con el basamento, distancia que varía ampliamente, si se considera que en el Cabo de Santa María el basamento aflora y en dirección NW a 4 km de este punto se registra el sondeo P49 que muestra un espesor sedimentario de 140m aprox. La piezometría indica una dirección de flujo hacia el S y SE, cuya zona de recarga se produce al NNW de la zona de estudio y se extiende a lo largo de la R10, la descarga neta es hacia el mar, con un caudal calculado $Q = 800 \text{ m}^3/\text{día}$, para un frente de 1000m y un gradiente hidráulico de $7.3 \cdot 10^{-3}$.

Se caracterizaron hidrogeoquímicamente las aguas subterráneas del área de estudio, diferenciando aguas que pertenecen al Acuífero Chuy y aguas captadas en el basamento. Se observa que de las 15 muestras empleadas, en su mayoría, 8 corresponden a la clasificación de aguas cloruradas sódicas, 4 corresponden al tipo de aguas bicarbonatadas sódicas y solamente una muestra es del tipo clorurada cálcica, estos tipos de aguas corresponden al acuífero Chuy. Las aguas del tipo bicarbonatada cálcica corresponden a perforaciones que toman en el basamento.

Según los valores guía para la OMS aproximadamente el 25% de las muestras presentan valores de hierro por encima de lo aceptable, un poco más del 10% son aguas duras que presentan alto contenido de cloruro y sodio, pudiéndose afirmar una posible contaminación por intrusión salina. Del total más del 50% de las aguas se clasifican como aceptables según las normas de potabilidad empleadas.

Se aplicaron los métodos GOD (Foster, 1987), EK_v (Auge, 2002) y $\Delta HT'$ (Auge, 2005) cuyos datos se mapearon reflejando valores de vulnerabilidad opuestos lo que se explica teniendo en cuenta la especificidad de cada método.

El cálculo de Perímetros de Protección de Pozos (PPP), utilizando la ecuación volumétrica de radio fijo calculado, determinó valores entre 275m y 410m de distancia sobre el terreno, desde el centro de la perforación hasta el perímetro.

1. Introducción.

El presente estudio se encuentra enmarcado en el desarrollo del trabajo final de la Licenciatura en Geología, enfocado al área de Hidrogeología. Mediante estudios Geológicos e Hidrogeológicos se pretende determinar la sensibilidad del acuífero a la contaminación; con el fin de desarrollar una metodología como instrumento de manejo sostenible del acuífero Chuy en el balneario La Paloma, Rocha. Esta localidad es una de los principales destinos turísticos de la costa atlántica uruguaya, con una población estable de 3000 habitantes recibe en el periodo estival alrededor de 45.000 visitantes, siendo su principal actividad el turismo de sol y playa (Instituto Nacional de Estadística, 2002).

El abastecimiento público corresponde en gran medida a la extracción de aguas subterráneas de pozos en torno a esta localidad (295 m³/h) y en menor parte a la toma de agua superficial de los arroyos La Palma y Las Conchas (103m³/h) (Obras Sanitarias del Estado, 2010).

Dadas las condiciones anteriores, se considera de interés recopilar la información generada hasta el momento en esta localidad, a través de diferentes investigaciones institucionales, con el fin de cumplir con los objetivos planteados a continuación.

2. Objetivos.

General.

Determinar la Vulnerabilidad del acuífero Chuy en el balneario La Paloma y calcular los Perímetros de Protección de Pozos como herramienta de gestión del recurso, en un medio de alta sensibilidad.

Específicos.

Determinar las características hidráulicas e hidrodinámicas de acuífero Chuy. Caracterizar las propiedades hidrogeoquímicas de las aguas subterráneas.

3. Metodología.

Para la concreción de los objetivos propuestos se realizaron un conjunto de actividades que se detallan a continuación.

3.1. Etapa de gabinete.

3.1.1. La revisión bibliográfica consistió en la selección, análisis crítico y evaluación de la información pertinente a dicha investigación. Se menciona a continuación en forma sintética, la bibliografía relevante consultada referente al ámbito de estudio.

En relación a la geología del área: Bossi, J. et al (1998) y (2001) junto con Masquelin, H. (2004) se consulto en relación a los datos geológicos generales.

Se empleo como antecedente el mapa geológico de La Paloma- Rocha según Gaucher et al. (2007).

Con respecto a la hidrogeología se recurrió a: Almagro et al. (1998) como datos antecedentes del acuífero Chuy y específicamente para el área de estudio se hizo referencia a los datos generales y ensayos de Sweco VBB VIAK – OSE, (2002). El autor más destacado en torno a la temática principal de este trabajo, vulnerabilidad, ha sido Auge, M. en la publicación web de su curso de posgrado (2004). El resto de la bibliografía se hace referencia en el texto incluyéndose las citas correspondientes en el ítem bibliografía de este trabajo.

3.1.2. Fotointerpretación a escala 1/20.000 de las fotos aéreas (92-019 a 022; 87- 030 a 032; 87-020 a 023; 87-073 a 076) del Plan Cartográfico del Servicio Geográfico Militar de la República Oriental del Uruguay y georreferenciación utilizando la Hoja Topográfica D-28-La Paloma de igual fuente.

3.1.3. Descripción de muestras de perforaciones mediante lupa binocular, datos proporcionados por la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE) desde 1950 a 1990. Se complementan estos datos con información hidrogeológica e hidrogeoquímica actualizada de estas perforaciones y sondeos más recientes desde mediados de 1990 hasta 2010, aportados por el ente público Obras Sanitarias del Estado (OSE).

3.2 Tareas de campo.

3.2.1. Relevamiento de perforaciones en el área estudiada determinando: profundidad, nivel estático, caudal; enriqueciendo el inventario de pozos.

3.2.2. Relevamiento de las principales actividades antrópicas que impactan en el medio, representándolas en un mapa.

3.2.3. Realización de sondeos superficiales con el fin de conocer el desarrollo edáfico del área y registrar el nivel freático para los diferentes puntos elegidos.

3.2.4. Toma de muestras para la colección de datos fisicoquímicos en perforaciones con acceso y sin perturbaciones químicas (cloro).

3.3 Tratamiento de datos.

3.3.1. Para el diseño de diagramas, perfiles y mapas, se utilizaron herramientas de software como: AquaChem (hidrogeoquímica), CorelDraw (Perfiles y tratamiento de imágenes) y MapInfo-Discover (Mapas).

3.3.2. Caracterización hidráulica del sistema acuífero.

3.3.3. Caracterización hidrogeoquímica del acuífero a partir de datos existentes en el área OSE (1997).

3.3.4. Análisis de la incidencia de la cuña salina a través de valores de conductividad eléctrica en las diferentes perforaciones y la composición geoquímica.

3.3.5. Aplicación de métodos GOD, E_{Kv} y $\Delta hT'$ para determinar la vulnerabilidad del acuífero, la cual se representa cartográficamente.

3.3.6. Determinación de los perímetros de protección de los pozos utilizando la metodología de Foster (2002).

4. Área de estudio:

4.1 Ubicación.

Se localiza en el Balneario La Paloma, Departamento de Rocha, a 200 kilómetros al este del Departamento de Montevideo, en la Republica Oriental del Uruguay.

Corresponde a la Carta Topográfica “La Paloma”, hoja D-28 (Servicio Geográfico Militar). Se delimita al norte con la coordenada Y: 6168, al este por la coordenada X: 662, al sur limitada por la costa atlántica y al oeste por la Laguna de Rocha (Fig. 4.1.). Ocupa una extensión aproximada de 40 km².



Figura 4.1. Ubicación del área de estudio.

4.2 Generalidades.

Al norte del Balneario La Paloma, se encuentra el arroyo que le da el nombre a la localidad, el cual dentro del área de estudio, se carga desde el este, sobre los depósitos cuaternarios de la formación Libertad, en la zona de mayor relieve del área, desembocando al oeste, en la porción noreste de la Laguna de Rocha (Fig. 4.2.) La Laguna de Rocha ocupa 72 km², con una profundidad promedio de 0.6m, se separa del océano por un cordón arenoso, el cual se abre en algunos momentos lo que permite mezcla de agua dulce y agua de mar. Esta dinámica le confiere un alto valor productivo y ecológico, ya que coexisten permanentemente diversas especies y llegan otras por periodos estivales. En una topografía intermedia se encuentran llanuras altas y bajas, que se inundan estacionalmente, generando humedales. Son áreas de reconocida importancia, por su singularidad biológica y su valor paisajístico. (PROBIDES-Intendencia Municipal de Rocha, 2002)



Figura 4.2. Imagen Satelital de la Laguna de Rocha. Mostrando afluentes y desembocadura al mar.

4.3 Clima.

Uruguay se encuentra íntegramente en la zona templada, la ausencia de sistemas orográficos importantes, contribuye a que las variaciones espaciales de temperatura y precipitación sean pequeñas. La temperatura media anual es de 17.5 °C, variando desde 20°C en NW y 16°C en la costa atlántica (Severova, 1997)

Las lluvias totales medias anuales, tienen su valor mínimo en 1000mm al S y un valor máximo al NE, de 1400mm. De todos modos, las precipitaciones en Uruguay son de comportamiento irregular y variable, se han producido importantes períodos de sequía (1988-89) y años de abundante precipitación

(1992). A modo de ejemplo en la Estación Meteorológica de Rocha, se registró un valor de precipitación media anual de 1700mm para el año 2002; y valores por debajo de 1000mm en el año 1996.

La humedad relativa media anual oscila entre 70 – 75%. (Dirección Nacional de Meteorología, 2011)

Según la clasificación climática Koeppen: es un clima templado moderado y lluvioso, tipo “C”, clima de temperie húmeda, tipo “f” y variación específica de la temperatura, tipo “a”. Lo que se resume, para esta clasificación, como clima “Cfa”.

4.4 Actividad antrópica.

Las principales actividades que se desarrollan en el área son: el turismo de sol y playa, la producción ganadera y la pesca artesanal. Siendo la actividad turística la más destacada y de mayor incidencia en el paisaje.

La población permanente de La Paloma, es de un poco más de 3000 habitantes, aunque en el periodo de diciembre- marzo, aloja alrededor de 45.000 turistas (Instituto Nacional de Estadística, 2004). Sumado a lo anterior, el crecimiento poblacional sobre la zona costera viene incrementando su impacto negativo, en términos de erosión y contaminación, de la napa freática. Esto ocurre fundamentalmente debido a las construcciones que se realizan sobre arena y playa, no respetando la franja de defensa costera de 250 metros, establecida en el art. 153 del Código de Aguas. Con respecto a este punto esta localidad no cuenta con red de saneamiento y se utiliza la modalidad de pozo ciego, los cuales en su mayoría filtran hacia las napas superiores del acuífero Chuy, incrementando las concentraciones de nitratos en estos niveles de agua. Se tendrá en cuenta este tema en el análisis hidrogeoquímico.

Para un claro tratamiento de los datos de actividad antrópica en la localidad se considera apropiado generar un cuadro en el cual se identifiquen las principales actividades en el balneario, las cuales dependiendo de sus condiciones de aislamiento constructivo con el sustrato, podrán estar incrementando o no el riesgo a la contaminación. Se encuentra en la posición más al norte en el área de estudio, el basurero municipal, en el que se vierten los residuos de La Paloma y balnearios vecinos, con ningún tipo de control. Al ingresar a la ciudad se encuentra desde hace más de 30 años, la única estación de servicio de combustibles de acceso próximo a la ruta 10. También se incluye como actividad que incide en el medio a las zonas pobladas y/ o urbanizadas, debido a que el saneamiento es inexistente y no se emplea ninguna alternativa para el tratamiento de las aguas negras de las viviendas y centros comerciales, solamente se vierten en pozos ciegos sin control (Tab. 4.1).

Se construyó un mapa en el que se muestran las principales actividades antrópicas que se desarrollan en La Paloma y se consideran como posibles fuentes de contaminación del acuífero Chuy (Fig. 4.3).

Actividad antrópica en La Paloma	Area afectada (km ²)
Estación de Servicio	0.01
Basurero Municipal	0.1
Area urbanizada y/o en desarrollo urbano	20

Tabla 4.1. Actividades antrópicas que se identifican en la Localidad de La Paloma.

5. Suelos.

Considerando que los suelos generalmente integran la primera cobertura de los depósitos sedimentarios y en función de su grado de desarrollo pueden constituir una barrera primaria útil para la protección a la contaminación de las aguas subterráneas. Se realiza un relevamiento detallado de los diferentes tipos de suelos que existen en el área de estudio. Para esto se toman como referencia los datos de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay 1:1.000. 000, (Altamirano et al. 1976) y se verifica en el campo con una serie de cateos cuyas muestras se visualizan a continuación.

Se identificaron para La Paloma, cuatro clases de suelos diferentes (Tab. 5.1).

Suelo	Planosoles	Argisoles	Gleysoles	Arenosoles
Topografía	Llanura alta	Ladera	Llanura baja	Barra arenosa
Pendiente (%)	0-1	2-5	0	5-8
Material Generador	Sedimento limo-arenoso	Sedimento limo-arcilloso	sedimentos recientes	Arena de duna

Tabla 5.1. Caracterización de los diferentes tipos de suelo en el área de estudio.

5.1. Planosoles.

Son suelos profundos de textura limosa, drenaje imperfecto y fertilidad media. El material madre corresponde a lodolitas limo-arcillosas, asociado mayoritariamente a la formación Libertad, cuya vegetación predominante es pradera estival, permitiendo un uso ganadero y también arrocero (Fig. 5.1).



Figura 5.1. Muestra de suelo correspondiente a la clase Planosol en la zona de La Virazón.

5.2. Argisoles.

Son suelos que se desarrollan sobre lomadas costeras, suavemente onduladas, cuyo material madre son sedimentos areno-arcillosos, vinculados mayormente a la formación Chuy. El horizonte A es de color pardo-grisáceo, de textura franco-arenosa, fertilidad baja y drenaje imperfecto. Permite el desarrollo de praderas estivales y su uso es mayoritariamente pastoril (Fig. 6.2).



Figura 5.2. Muestra de suelo de la clase Argisol en la zona de La Serena.

5.3. Gleysoles

Son suelos profundos pobremente drenados que se desarrollan en llanuras bajas al borde de las lagunas y en la desembocadura de los arroyos. Pueden permanecer anegados por periodos importantes, presentan alto contenido de materia orgánica y posibles concentraciones salinas. En el area de estudio los Gleysoles son de fácil identificación gracias a la vegetación de tipo halófila que desarrollan y se encuentran contorneando los bordes de la Laguna de Rocha. Mediante fotointerpretación se visualizan como planicies de mayor concentración de humedad y este sector fue mapeado como depósitos de albuferas en la cartografía geológica. Ver figura 5.3 y figura 6.6 (Mapa Geológico)



Figura 5.3. Identificación de los sectores del territorio en los que se desarrollan los Gleysoles.

5.4. Arenosoles

Son suelos que se desarrollan sobre los cordones arenosos asociados a la costa, se caracterizan por ser de baja fertilidad y presentar excesivo drenaje. El material generados son las arenas actuales donde se concentra el monte nativo xamófilo y se ha desarrollado la forestación de pinos (Fig. 5.4).



Figura 5.4. Muestra de suelo en la zona del Parque Andresito, correspondiente a la clase Arenosoles.

La amortiguación química de un suelo se debe principalmente a las propiedades de absorción y la capacidad de intercambio catiónico, cuyos principales intercambiadores son las arcillas cristalizadas, óxidos e hidróxidos y la materia orgánica. Se considera la clasificación propuesta por Montañó (1999)

que asocia la capacidad de intercambio catiónico con el poder amortiguador de los suelos. Siendo para los tipos de suelos Planosoles, Argisoles y Gleysoles la capacidad de amortiguación media y en el caso de los Arenosoles su poder amortiguador bajo.

6. Geología.

El área de estudio se ubica en la porción sureste del territorio uruguayo, en el terreno tectonoestratigráfico que se denomina Cuchilla Dionisio, según Bossi et al (1998) (Fig. 6.1.). Limitado al oeste por la Zona de Cizalla Sierra Ballena (ZCSB) representada por milonitas de un ancho de 5 a 6 km que en el sur se extiende casi rectilínea sobre 120 km, según Gómez Rifas (1995), y al este cubierto por el Océano Atlántico.

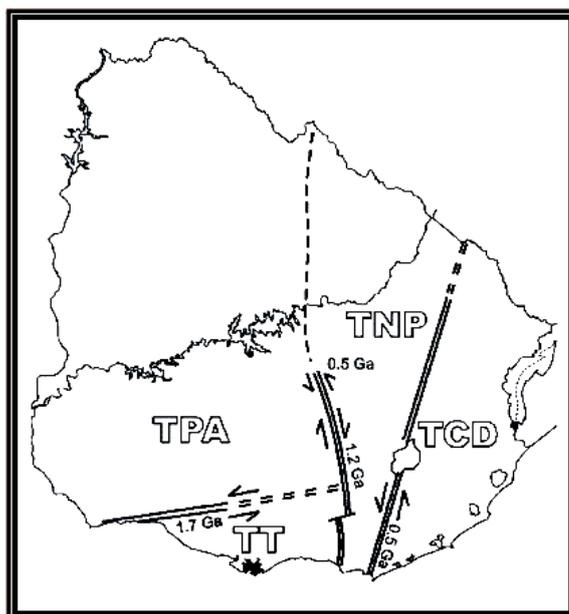


Figura 6.1. Compartimentación estructural del Escudo Uruguayo. Terrenos tectonoestratigráficos (Bossi, J. 2009).

El Terreno Cuchilla Dionisio se caracteriza por ser un bloque alóctono, acrecionado durante la evolución del Cinturón Dom Feliciano (CDF) (Fragoso Cesar 1980, en Masquelin 2006), por procesos diacrónicos y continuos de metamorfismo, magmatismo y deformación, entre el Neoproterozoico y el Cámbrico. El CDF es una mega estructura de escala continental, correspondiente al ramal orogénico panafricano de dirección NE, paralelo a la costa atlántica. El cual se conforma de una amalgama de bloques corticales, separado por fajas angostas de rocas supracorticales.

Entre las litologías que integran estas fajas supracorticales, está la formación Rocha (Sánchez & Mezzano, 1993) la cual aflora en el área de trabajo y se compone de una secuencia siliciclastica de metamorfismo de bajo grado (Fig. 6.2).

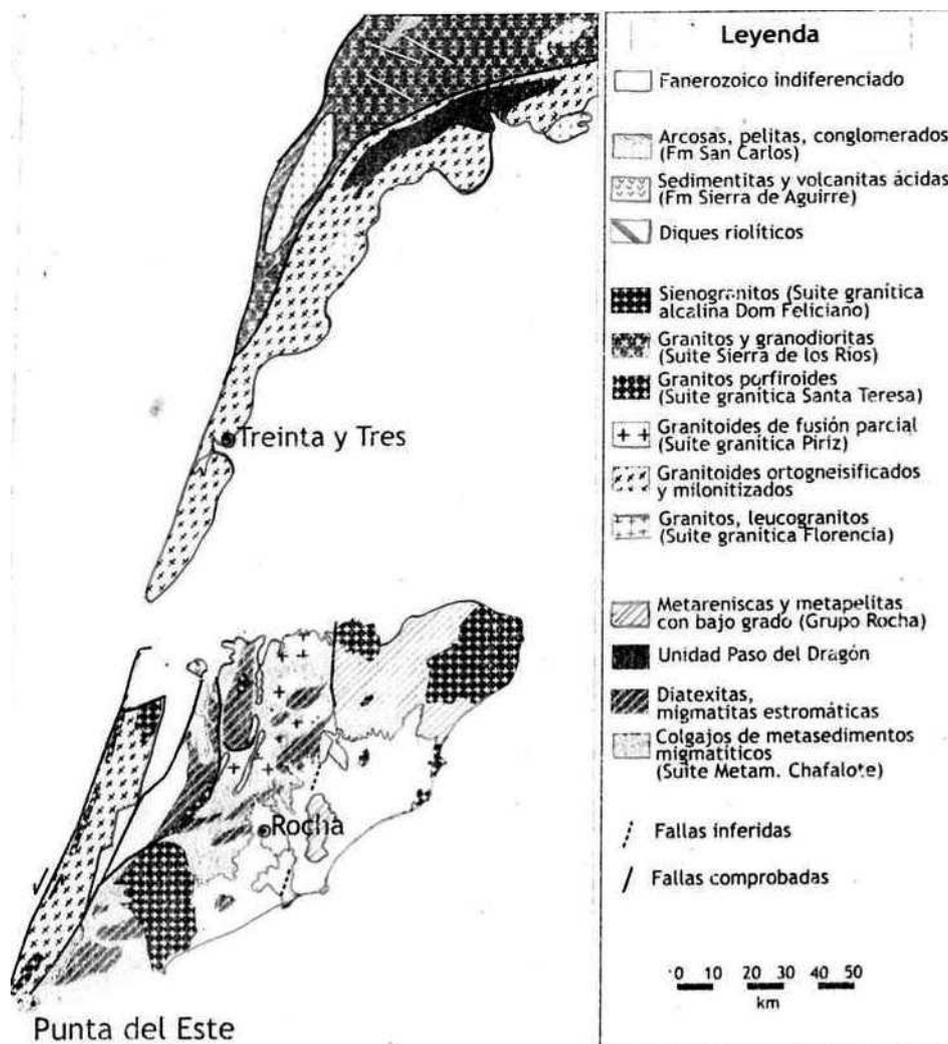


Figura 6.2. Geología del Terreno Cuchilla Dionisio, según Masquelin (2006)

La formación Rocha conforma el basamento de la Fosa La Paloma según Gaucher et al (2007), la cual se rellena con depósitos cenozoicos como: formación Chuy y formación Libertad (Pleistoceno) y turberas, arenas costeras y dunas (Actual).

6.1 Marco geológico.

Grandes esfuerzos distensivos actuaron en la apertura del Océano Atlántico, como consecuencia de los procesos de fragmentación del supercontinente Gondwana, durante el Jurásico. En la Cuenca de la Laguna Merín, se registra parte de estos procesos, en la perforación Puerto Gómez, (Bossi, 1966). Según Gaucher et al (2007), la influencia de la tectónica distensiva de la Cuenca de la Laguna Merin, ha incidido en la arquitectura estratigráfica de los

depósitos pleistocénicos, por lo que se determina una depresión en la parte central de la Fosa La Paloma, en la que predominan depósitos marinos de baja energía. Este escenario, sumado a las posteriores oscilaciones glacioeustáticas del nivel del mar registradas para el Cuaternario, son los factores principales de la geología del área de estudio.

Se detalla a continuación, las litologías que conforman el área de estudio, de base a techo.

6.1.1. Formación Rocha (Precámbrico)

Originalmente integró el denominado “Grupo Rocha” según Hasui et al (1975), luego se diferenciaron tres unidades en las supracrustales del “Grupo Rocha”: (Unidad Cuarcítica, Unidad de Esquistos Verdes y Unidad Faro La Paloma) desarrolladas en el Dominio Oriental del CDF, como se indicó en el punto anterior, caracterizadas por un metamorfismo y una deformación decreciente hacia el E (unidad Faro La Paloma), según Frago Cesar et al (1987). Luego Bossi & Navarro (1988) denominaron al “Grupo Rocha” como los metamorfitos de bajo grado, rumbo regional NE, que se desarrollan desde el E de la ciudad de Rocha hasta algunos kilómetros al W del balneario La Coronilla.

En Sánchez & Mezzano (1993) se muestra en los resultados de su estudio, una continuidad litológica desde la zona de la costa de La Paloma hasta la porción más occidental, por lo cual la Unidad Faro La Paloma de Frago Cesar et al (1987), no puede ser separada. Se propone agrupar a las supracrustales de bajo grado pertenecientes al “Grupo Rocha”, (según Bossi & Navarro 1988) en el rango de “Formación”, ya que estos materiales metasedimentarios se encuentran interestratificados a escala métrica, por lo cual no se pueden diferenciar formaciones. Así se le asigna, el nombre de Formación Rocha a los metasedimentos de bajo grado y se conserva el nombre de Rocha, aunque coincide con el de Grupo, ya que los metamorfitos afloran en varios puntos del departamento.

Los afloramientos de la Formación Rocha en el área de estudio, se disponen en la faja costera, teniendo buenas representaciones desde La Paloma hasta La Pedrera en: Playa Los Botes, Playa El Cabito, Faro de Santa María, Puerto La Paloma y Playa El Barco en La Pedrera. (Fig. 6.3).

Hacia el norte, sobre ruta 15, aflora en la Cuchilla del Rey, aproximadamente a 10 km del Balneario La Paloma. La unidad se registra en otras localidades del departamento, que no son detalladas en este trabajo.



Figura 6.3. Afloramientos del Basamento en la costa, específicamente en el Faro de Santa María, Balneario La Paloma.

Desde el punto de vista litológico está representada por un conjunto de metapsamitas y metapelitas; predominando la fracción arena. Dentro de las arenas, la fracción dominante es arena fina, según Sánchez & Mezzano (1993). Según Menezes (2010) esta formación está constituida por metapsamitas, metawackes y metapelitas que se disponen en láminas y estratos tabulares delgados desde 1 a 10 cm hasta más potentes (>1m), que se superponen formando paquetes de decenas de metros de tres tipos: los que dominan las areniscas, predominan las pelitas o de intercalación pelita- arenisca. Estas unidades fueron localmente mapeadas por Gaucher & Cabrera (2007).

Menezes (2010) establece que formación Rocha es una asociación metasedimentaria turbidítica metamorfozada en facies esquistos verdes, cuyos sedimentos posiblemente se hayan originado en una cuenca extensional de retro-arco o asociada a un arco magmático.

6.1.2. Fm Chuy (Pleistoceno)

Definida por Delaney (1963), publicada por Goñi & Hoffstetter (1964) y descrita como: “Arenas cuarzosas, amarillo rojizas, semiconsolidadas, formada por granos bien redondeados, pulidos y a veces de brillo mate, diámetro medio de 0.10 a 0.18mm, muy bien clasificados. Presenta ocasionalmente nódulos ferruginosos y costras. Con minerales pesados: zircón, turmalina, biotita, rutilo, granate, andalucita, hornblenda, epidoto y actinolita; granos recubiertos ocasionalmente por película ferruginosa” (fig. 6.4).



Figura 6.4. Formación Chuy vista en afloramiento y foto de lámina delgada de areniscas ferrificadas (costras).

Goso (1972), plantea que esta formación está integrada por tres episodios depositacionales marinos, denominados Chuy I, Chuy II, Chuy III, intercalados con depósitos continentales pleistocénicos, Libertad I y Libertad II.

Además de las arenas Preciozzi et al. (1985) incluye litologías arcillo-gravilosas y arcillas. Bossi & Navarro (1998) agrupan las diversas litologías contemporáneas como formación Chuy.

La presencia de microfósiles descritos por Sprechmann (1978), los cuales permiten ubicar a la formación Chuy en el Pleistoceno Superior y le asigna un ambiente marino-somero. De todos modos las relaciones estratigráficas la sitúan concretamente en el Pleistoceno, representa en la región el inicio de la depositación de sedimentos cuaternarios.

La descripción mineralógica de la lámina delgada realizada a las areniscas ferrificadas de esta formación permite identificar la predominancia (60%) de clastos de cuarzo redondeados a subredondeados, en menor proporción (30%) de feldespatos como, Plagioclasa (Andesina) y Microclina; también se identifica vidrio volcánico transformado en Clorita. Destacada presencia de Oxido de hierro dispuesto como cemento. Entre los minerales menores se distingue Epidoto. Se realiza el conteo de los espacios libres indicando una porosidad entre 10 y 15%. Estas areniscas presentan una elevada madurez textural combinada con una baja madurez mineralógica. Ver figura 6.4.

El paquete sedimentario permeable considerado en el presente trabajo como la unidad acuífera principal, corresponde a la formación Chuy, su sedimentación responde a fenómenos de ingresión y regresión marina asociada a las diversas glaciaciones e interglaciaciones del cuaternario y a los respectivos ascensos y descensos del nivel del mar. Por lo cual se disponen sedimentos de baja

energía, como arcilla y limo, intercalados en niveles de mayor granulometría, representados por arenas hasta gravas bioclásticas. Esta disposición le confiere cierta estructuración a estos depósitos, generándose un acuífero de naturaleza semi-confinado.

En el área de estudio la formación Chuy, se encuentra en contacto discordante con el basamento y su techo es truncado por los depósitos de la formación Libertad y/o sedimentos actuales. (Fig. 6.5).

6.1.3. Formación Libertad (Pleistoceno)

Redefinida y cartografiada por Goso (en Bossi, 1966) en la localidad homónima en el departamento de San José, extendiéndose en el sur del territorio uruguayo.

Geomorfológicamente genera superficies onduladas y presenta escasos afloramientos debido a que se desarrollan suelos de gran potencia, exponiéndose en cárcavas y zanjas.

Está formada por arcillas, limos arenosos, limos loésicos y arenas dispersas en una matriz fina (fangolitas), color pardo-rojizas, con concreciones de CaCO₃ friables o masivas.

Esta unidad se ha vinculado a los depósitos conocidos como "Pampeanos", por lo que se le ha atribuido una gran riqueza paleontológica, que en la práctica no ha sido verificada (Ubilla & Perea, 1999).

Se asume por criterios estratigráficos, que la formación Libertad, se ha depositado en el Pleistoceno Inferior y Medio.

La sedimentación de la formación Libertad se ha relacionado con un ambiente continental, coincidente con periodos glaciales. Las condiciones climáticas, habrían variado, de un clima frío y seco (Libertad I) a clima cálido y húmedo (Libertad II) según Panario & Gutiérrez (1999).

En el área de estudio los depósitos se disponen: al NE entre las cotas 25 a 33m, en torno a la Ruta 10 y al SW entre las cotas 10 y 33m (Gaucher et al, 2007). Aflora en cárcavas y desmontes de caminos, donde se desarrolla sobre formación Chuy favoreciendo el desarrollo edáfico de planosoles (Fig. 6.5).

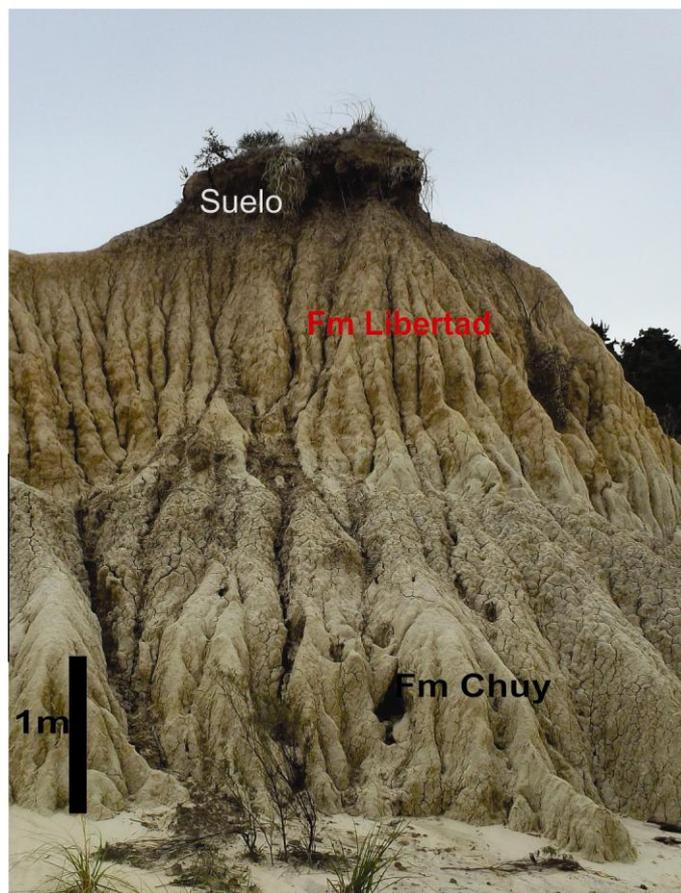


Figura 6.5. Cárcava de erosión. Se muestra el desarrollo de Fm. Libertad, por encima de los depósitos marinos de Fm. Chuy, (Ruta 10, km 231 al sur).

6.1.4. Sedimentos Actuales (Holoceno)

Los sedimentos actuales del área de estudio están representados por: depósitos de playa y aluviones.

Los depósitos de playa conforman el cordón litoral y se extienden sobre la planicie costera, cubriendo buena parte de las unidades más antiguas. Se trata de depósitos de playa sensu estricto y médanos de origen eólico. Constituida por arenas finas, cuarzosas, redondeadas a subredondeadas, bien seleccionadas. Se describen campos de dunas estabilizadas por la forestación al N de la línea de costa, como en Parque Andresito y Parque Balneario La Paloma, (Gaucher et al, 2007).

Los depósitos de albuferas, son depósitos finos, de baja energía, que se disponen bordeando la Laguna de Rocha, en las cotas levemente por encima del nivel del mar y se compone de arcilla, limo y materia orgánica. Ver figura 6.6 (Mapa Geológico) y figura 6.7 (Corte Geológico W-E).

7. Hidrogeología

7.1 Conceptos básicos

Se presentan una serie de conceptos en torno a esta disciplina, utilizados como base, en la discusión y resultados.

Se denomina acuífero: a un estrato o formación geológica, capaz de circular agua por sus poros o grietas, permitiendo a al ser humano aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para cubrir sus necesidades (Custodio & Llamas, 1996). A su vez los acuiferos se clasifican en función de la estructura y la presión hidrostática, considerando en este trabajo dos tipos: los Acuiferos Libres: donde la superficie de agua contenida en este cuerpo se encuentra a presión atmosférica, obteniéndose una superficie piezométrica real. En los Acuiferos Semiconfinados: cuando la capa de confinamiento se comporta como un acuitardo, el cual permite una infiltración vertical muy lenta, pudiendo tener una superficie piezométrica mayor o menor. Vale aclarar que en términos generales el Acuífero Chuy es un acuífero semiconfinado, pero en algunos sectores del área de estudio, la formación Chuy presenta espesores de varias decenas de metros prácticamente homogéneos de areniscas, las cuales permiten captar agua de calidad aceptable y con buenos caudales. En este caso las captaciones censadas no superan en profundidad este estrato, por lo que el acuífero Chuy se considera como libre.

7.2 Acuífero Chuy

En el área de trabajo se considera como sistema de aguas subterráneas al acuífero Chuy. El cual se dispone como un sistema heterogéneo constituido por una sucesión de estratos arenosos y arcillosos, de estructura horizontal a subhorizontal que en forma discontinua ocupa las costas de los departamentos de Canelones hasta Rocha, continuando hacia el estado de Rio Grande do Sul, Brasil (Almagro et al. 1998).

La potencia máxima descrita en el área corresponde a 140 m, para la formación Chuy, en la perforación 1469/1 (Anexo14.3).

Sobreyacen al acuífero Chuy los sedimentos de la formación Libertad y/o depósitos de arena y albuferas actuales, encontrándose en algunas zonas cubierto solamente por el desarrollo edáfico. Lo subyacen los metasedimentos de la formación Rocha, la cual oficia por su naturaleza, como un acuífero fisurado.

El Acuífero Chuy se interpreta como un sistema multicapa constituido por dos regímenes: 1) Nivel superficial, entre las cotas +20 y -10m, se comporta como un acuífero libre.

2) Niveles más profundos, entre la cota -20 hasta el contacto con el basamento, corresponde a un acuífero semiconfinado, representado por varias (2 a 3) intercalaciones de litologías de baja energía. Ver figura 6.7 (Corte Geológico W-E) cuya ubicación en el terreno se observa en la figura 6.6 (Mapa Geológico).

7.3 Piezometría del Acuífero Chuy.

Se realizó un relevamiento de perforaciones en la localidad de La Paloma y alrededores, contando con datos de nivel de agua, proporcionados por OSE, registrados en el periodo 1996-1997. Significaron un total de 39 sondeos, con los que se construyó un Mapa de curvas de nivel de agua, el cual se muestra en (fig. 7.1).

Se consideró para la construcción del mapa de nivel de agua únicamente los valores de nivel estático de perforaciones que no alcanzan el basamento, ya que estarían bajo el régimen de acuífero fisurado, dando error al momento de comparar con datos del acuífero sedimentario. De todos modos, son representados y descriptos estos sondeos, ya que aportan a la red de abastecimiento existente, además son útiles al momento de conocer la geometría de la cuenca que contiene al acuífero Chuy.

Se observa en el Mapa de nivel de agua (Fig. 7.1), la dirección de flujo hacia el mar, tanto en la porción SW, como en la porción NE del área representada. Entre estas dos áreas, precisamente en el centro del Balneario La Paloma, la dirección de flujo resultante se desplaza levemente hacia los lados, pudiéndose inferir que el basamento actúa como una estructura de contención. La descarga neta es hacia el mar y la zona de recarga se ubica al NNW, en torno a la intersección de R10 y R15.

A través de cálculos hidráulicos se determinó el caudal de descarga del sistema al mar, mediante la ecuación:

$$Q = T \cdot i \cdot L$$

Siendo Q = caudal de descarga

T = Transmisibilidad

i = Gradiente hidráulico

L = Frente de descarga

Donde la transmisibilidad es por definición: $T = K \cdot b$; siendo (b) el espesor del acuífero y (K) permeabilidad, que es un valor constante para cada medio y fluido en las mismas condiciones de espesor. Según la ecuación anterior se puede decir también que:

$$K = T/b$$

El valor de transmisibilidad se obtiene del gráfico de descenso del ensayo de bombeo para el pozo P40, en la zona de Balneario La Serena, (Sweco Vbb Viak, 2001). Ver figura 7.3.

El valor de transmisibilidad en este punto es de $1.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Para calcular Gradiente hidráulico se toman los datos del mapa:

$$i = \Delta h / \Delta l = 5 - 1 / 550 = 7.3 \cdot 10^{-3}$$

Entonces:

$$Q = 1.4 \cdot 10^{-3} (\text{m}^2/\text{s}) \cdot 7.3 \cdot 10^{-3} \cdot 1000(\text{m}) = 10.22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

El valor del caudal de descarga para la zona de La Serena* para un frente de 1000 m y un gradiente hidráulico de $7.3 \cdot 10^{-3}$ es del orden de:

$$Q = 800 \text{ m}^3/\text{día.}$$

*Se determina sólo para esta área, debido a que los datos disponibles corresponden a esta zona.

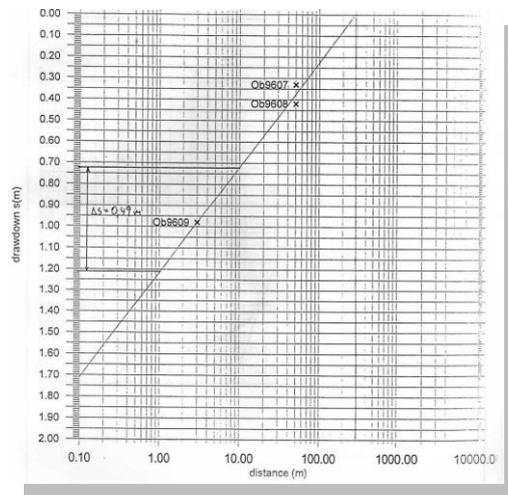


Figura 7.2. Ensayo de bombeo de la perforación P40. Datos tomados de (Sweco Vbb Viak, 2002).

8. Hidrogeoquímica

Para el estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas de la localidad de La Paloma-Rocha, se contó con los datos de 16 análisis químicos proporcionados por Obras Sanitarias del Estado, correspondientes al año 1997. De los cuales 14 de estas muestras corresponden a perforaciones cuyas aguas pertenecen al acuífero Chuy, a diferencia de las dos muestras restantes (P7 y P56) cuyas aguas provienen del acuífero fisurado (formación Rocha).

Los resultados de estos análisis fueron sometidos al cálculo de error mediante la ecuación desarrollada por Custodio & Llamas (1983) y comparados con la escala de valores admisibles según la conductividad eléctrica (Tab. 8.1)

Basado en el error (E) definido por Custodio & Llamas (1983) como:

$$E (\%) = [\Sigma (\text{cationes}) - \Sigma (\text{aniones}) / \Sigma (\text{cationes}) + \Sigma (\text{aniones})] * 100$$

Conductividad Elect. $\mu\text{s}/\text{cm}$	50	200	500	2000	>2000
Error admitido %	30	10	8	4	<4

Tabla 8.1. Error admisible según los valores de conductividad, (Custodio & Llamas, 1983)

El total de muestras evaluadas resultaron satisfactorias con excepción de la muestra P41, la cual se descarta su utilización en las representaciones graficas.

Se especifican a continuación una serie de conceptos necesarios para abordar el tema de hidrogeoquímica de aguas subterráneas y representar a los parámetros tenidos en cuenta en las tareas realizadas. Se especifican los valores máximos, mínimos y medios de cada parámetro.

8.1 Conductividad

La Conductividad es la capacidad del agua para conducir electricidad, este parámetro depende directamente de la temperatura y es preciso tomar un valor de temperatura de referencia a 25°C. A su vez la conductividad tiene una relación directa con los STD (Sólidos Totales Disueltos).

La Conductividad se mide como la diferencia de potencial existente entre dos electrodos paralelos de 1cm² de superficie cada uno y separados 1 cm de distancia, situados dentro del agua a medir, de forma que el medio se toma como infinito. Los valores pueden variar entre 100 y 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 25°C para agua dulce y la unidad es micro siemens/centímetro, Custodio y Llamas (1996). Para las aguas subterráneas de la localidad de La Paloma el valor máximo de conductividad es de 1200 $\mu\text{s}/\text{cm}$, el valor mínimo 270 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y la media es 589.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

8.2 Temperatura

Las aguas subterráneas tienen una temperatura muy poco variable y responde al valor medio anual de la temperatura atmosférica del lugar, el cual se incrementa con la profundidad, debido al gradiente geotérmico (1°C cada 33m en media).

La temperatura afecta a la viscosidad del agua, capacidad de absorción de gases, etc. Se mide en grados centígrados (°C).

El valor máximo de la temperatura del agua subterránea medida en la boca de cada pozo en setiembre del 2011 corresponde a 19.5 °C, el valor mínimo es de 18.7 °C y el valor medio calculado corresponde a 19.1 °C.

8.3 Dureza

La dureza se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio expresadas ambas en mg/l de carbonato de calcio. Cuando un agua presenta concentraciones bajas de ese compuesto se denomina agua blanda y al agua con concentraciones altas agua dura. Según la Norma Interna de Calidad de Agua potable (OSE, 2006) el valor admisible para consumo es de 500 mg/l.

Los análisis químicos indican que 2 sondeos presentan valores altos de dureza que indica la presencia de aguas duras, el resto están por debajo del valor guía.

8.4 Concentración de Iones

El análisis de los diferentes elementos indica que la concentración de los mismos está relacionada con el pasaje del agua por determinados tipos de rocas y según las actividades antrópicas. De esta forma tenemos la siguiente concentración de iones que según los criterios de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) permiten clasificar las aguas subterráneas en aceptables y no aceptables, se encuentren por debajo del nivel guía o por encima respectivamente. Ver tabla 8.2.

Elementos	Valor Guía (mg/l)
Dureza	500 mg/l
Cloruros	250
Hierro	0.3
Manganeso	0.1
Sodio	200
Sulfatos	250
Nitratos	50
Nitritos	3
Amonio	1.5

Tabla 8.2. Valores guías de los componentes químicos que afectan la calidad del agua potable según la OMS (2006)

8.4.1 Cationes

El calcio proviene en su mayoría de la disolución de rocas o cementos carbonáticos, también del ataque de feldspatos y otros silicatos cálcicos. El valor mínimo de este elemento es de 5 mg/l, el valor máximo 307,2 mg/l y el valor medio 63.9 mg/l.

El contenido de sodio se genera por el lavado de sedimentos marinos, ataque de feldspatos, feldspatoides y otros silicatos. La concentración del catión sodio en mg/l corresponde: el valor mínimo es 17, el valor máximo 530 y la media 128.2.

El magnesio se obtiene de silicatos, contaminación industrial y minera. En mg/l el valor máximo 117.1, 2.9 el valor mínimo y el valor medio 19.3.

El potasio se produce por la presencia de ortosa y otros silicatos, por contaminación industrial, minería y abonos en agricultura. La concentración máxima de este catión en mg/l es de 7.8, el valor mínimo es 1.8 y la media de 3.7.

El manganeso es un metal de transición que presenta dos niveles de oxidación, Mn^{4+} y Mn^{2+} , el ion Mn^{4+} prevalece en aguas oxigenadas, produciéndose la oxidación a temperatura ambiente en Dióxido de Manganeso, en cambio en aguas subterráneas predomina la forma Mn^{2+} . La estabilidad del manganeso en los diferentes niveles de oxidación depende del oxígeno (Eh) y del pH. Para las aguas subterráneas comprendidas en este estudio se constató un valor máximo de 0.72 mg/l, un valor mínimo de 0.01 mg/l y se calculo el valor medio de 0.15 mg/l.

Su presencia en las aguas se asocia al ion hierro y aparece en forma de concreciones, recubrimientos, cemento y dendritas.

El hierro es el cuarto elemento en abundancia en la corteza terrestre (5%). Las formas minerales principales están representadas por: Hematita (Fe_2O_3), Magnetita (Fe_3O_4), Pirita (FeS_2), Limonita o Goethita ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), Cromita $Fe(CrO_2)_2$, también este elemento se encuentra en minerales máficos (piroxenos, anfíboles, clorita, biotita y otros) y está presente en los acuíferos.

En la naturaleza Fe ocurre en dos formas de oxidación, ion ferroso (Fe^{2+}) e ion férrico (Fe^{3+}), la precipitación del hierro por la acción del oxígeno atmosférico, produce la oxidación del ion ferroso a férrico.

Se suma a lo anterior la acción de bacterias que utilizan la oxidación de iones de hierro y/o manganeso como componentes esenciales para su funcionamiento metabólico.

El valor aceptado de este elemento en el agua potable según la Organización Mundial de la Salud (2006) es de 0.3 mg/l. Los valores de hierro arrojados por los análisis en mg/l, significan en concentración máxima es 2.2, valor mínimo es 0 y la media 0.38.

La presencia de estos elementos en las aguas produce: coloración en el fluido, reducción en la tasa de flujo a través del sistema de abastecimiento por revestimiento de cañerías, cisternas, tanques, filtros y reservorios de agua; coloración de las paredes, pavimentos, cerámicas, vajilla y ropa; y hasta sabor desagradable (Carbajal, 1998).

8.4.2 Aniones

La Sílice proviene del ataque de los silicatos y rocas que contienen sílice soluble, en menor medida de la disolución del cuarzo y formas alotrópicas.

Los iones Bicarbonato y Carbonato se originan por la disolución de CO₂ atmosférico o del suelo y la hidrólisis de silicatos impulsada por el CO₂. Los valores de carbonato son nulos para estas aguas. En cambio el ion bicarbonato presenta un valor máximo de 214.7 mg/l, el valor mínimo es de 80.52 mg/l y un valor medio de 144.8 mg/l.

El ion cloruro se obtiene de la mezcla de agua de mar en zonas costeras, disolución de evaporitas y por contaminación urbana. Para la localidad de La Paloma la presencia de este ion en las aguas subterráneas, es de relevancia debido a la proximidad con el mar. El valor máximo del ion cloruro para los análisis relevados corresponde a 1450 mg/l, el valor mínimo es de 20 mg/l y el valor medio calculado es de 247.2 mg/l. Según la OMS el valor máximo esta considerablemente por encima del valor admisible, el valor mínimo se encuentra diez veces por debajo de ese valor y el valor medio se encuentra dentro de los valores permitidos.

Los niveles de Nitratos y Nitritos pueden tener fuentes naturales y/o artificiales. Como fuente natural se encuentra la descomposición de materia orgánica y sales minerales. Como fuente artificial se encuentran los vertidos urbanos, industriales, ganaderos y agrícolas. El valor máximo para el nitrato es de 28 mg/l, el valor mínimo es 0 y la media es de 3.2mg/l. El valor máximo es no aceptable. Para los nitritos el valor máximo es 5.9 mg/l, el valor mínimo es 0 y la media es 0.5 mg/l. El valor máximo es no aceptable.

El Sulfato se produce por el lavado de terrenos de ambiente marino, oxidación de sulfuros, disolución de sulfatos, actividad industrial y agrícola, según Custodio y Llamas (1996). El valor máximo es de 215 mg/l, el valor mínimo es de 4mg/l y el valor medio 34.9 mg/l. Ninguna muestra presenta valores no aceptables para este componente.

Ver tabla 8.2, donde se señalan los valores aceptables y no aceptables de los diferentes componentes según la OMS (2006).

Nºmuestra	Dureza	Cloruros	Hierro	Manganeso	Sodio	Sulfato	Nitrato	Nitrito
P2	1200	1450	0.1		530	215	0.5	0.01
P3	840	825			340	85	0.3	0.01
P4	96	45	0.2	0.04	112	48	0.49	0.09
P6	110	200		0.5	164	19	28	0.04
P7	84	29	0.69	0.1	17	4.99	0	0
P37	164	155	0	0.03	94	4	4.8	3
P38	40	100	0.2	0.01	76	17	1.1	0.002
P39	64	50	0	0.01	55	12	4.8	0
P47	76	20	2.2	0.17	37	5.1	2	0
P48	310	270	0.4	0.53	150	29.4	0.7	0.02
P52	134	151	0	0.04	100	26.8	1.1	0
P53	210	250	0.3	0.05	88.2	40.6	0.5	0.01
P54	86	45	0.6	0.72	55	4	0.5	0
P55	76	82	0.2	0.05	70	9.6	0.4	0.02
P56	126	36	0.1	0.04	35	4	2.2	1.6

Tabla 8.3. Muestras con valores no aceptables (rojo) según la OMS (2006), todos los valores en mg/l.

Las muestras cuyos valores son aceptables para la OMS son: P4, P37, P38, P39, P52, P53, P55 y P56.

Las muestras P7, P47, P48 y P54 presentan valores altos de hierro el cual podría estar asociado a la lixiviación de niveles ferruginosos de la formación Chuy. Seguramente la muestra P6 se encuentra en esta misma situación ya que el nivel de manganeso es alto, pero no se cuenta con el registro para el hierro.

Las muestras P2 y P3 son aguas duras que presentan alto contenido de cloruros y sodio, en este caso se puede afirmar una posible contaminación por intrusión salina.

8.5 Representación gráfica.

Se utilizan dos tipos de representaciones graficas para los datos Hidrogeoquímicos registrados para las aguas subterráneas de esta localidad, el diagrama de Piper en el que se representan todas las muestras y los diagramas de Stiff los cuales son representados en el mapa hidrogeoquímico al final de este capítulo.

Los valores de los análisis químicos y las medidas tomadas en el campo para las aguas subterráneas en el area de estudio, se detalla en el Anexo 13.2.

8.5.1 Diagrama de Stiff.

Es una herramienta gráfica que permite la representación de los valores de iones en el análisis de agua. Consiste en tomar sobre semirrectas paralelas segmentos en proporción con el valor de cada ion, uniendo los extremos, se obtiene un polígono. La geometría resultante refleja la clase de agua, lo cual permite la visualización clara y rápida de la composición según Custodio (1996).

De entre los Diagramas de Stiff, el que se utilizara es el Poligonal Paralelo. Consta de 3 rectas paralelas igualmente espaciadas, cortadas por una normal, generando 3 semirrectas izquierdas y 3 semirrectas derechas. Las primeras representan a los cationes (Na+K, Mg y Ca) y las semirrectas derechas a los aniones (Cl, SO₄, HCO₃+CO₃). Sobre cada recta se toma un segmento equivalente al valor meq/l del ion correspondiente y se unen los extremos dando un polígono representativo el cual se expone en el mapa del área. (Fig. 8.1).

De acuerdo a la caracterización hidrogeoquímica según los diagramas de Stiff se observa que de las 15 muestras empleadas, en su mayoría, 8 corresponden a la clasificación de aguas cloruradas sódicas, 4 corresponden al tipo de aguas bicarbonatadas sódicas, 2 al tipo de agua bicarbonatada cálcica y solamente una muestra es del tipo clorurada cálcica. Se observan los diagramas con mayor detalle y desarrollo en el Anexo 13.4.

8.5.2 Diagrama de Piper.

Es un diagrama triangular donde cada uno de los vértices del triángulo equilátero representa un componente puro según Custodio & Llamas (1996). Consiste en: un triángulo que corresponde a los cationes mayores (Ca^{2+}), (Mg^{2+}) y la suma de (Na^+ y K^+). El segundo triángulo corresponde a los aniones mayores (Cl^-), (SO_4^{2-}) y la suma de (CO_3^{2-} y HCO_3^-). Se utiliza el valor en % de miliequivalentes/litros y permite representar la totalidad de los análisis en una misma imagen, agrupando en áreas bien definidas aguas geoquímicamente similares.

Se utilizaron 15 análisis químicos de muestras de agua subterránea de diferentes perforaciones en el área, de las cuales 2 corresponden a niveles de basamento y 13 a niveles sedimentarios, especificados en anexo 14.2.

La distribución de la diferentes muestras según su composición se puede observar en el Diagrama de Piper, en donde se diferencian claramente según simbología, las aguas de origen del basamento y las aguas del acuífero Chuy sensu estricto. (Fig. 8.2.)

9. Vulnerabilidad

El término “Vulnerabilidad”, se introdujo en el estudio de aguas subterráneas, en Francia por Albinet & Margat (1970); estos autores se refieren a la medida en que las napas se encuentran más o menos expuestas a la polución, según las condiciones naturales del acuífero. A su vez cartografiaron este parámetro en distintas escalas en función del detalle de trabajo y las necesidades, definiendo zonas sensibles, como proyección en el desarrollo del ordenamiento territorial.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos en 1991 definió la vulnerabilidad, como la facilidad con que un contaminante aplicado en la superficie puede alcanzar el acuífero. Esta definición asocia las condiciones del medio, las prácticas humanas y las prácticas de cultivo (vulnerabilidad intrínseca).

Foster & Hirata (1991) señalan que la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta.

Luego Vbra y Zaporozec (1994) definen a la vulnerabilidad, como una propiedad intrínseca del sistema de aguas subterráneas, que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales.

Auge (1995) considera la vulnerabilidad como un concepto cualitativo que se refiere al grado de protección natural de un acuífero frente a la contaminación.

Existen varios métodos para establecer la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación, en el presente trabajo se seleccionaron tres metodologías identificadas como: God (Foster, 1987), Ekv (Auge, 2001) y ΔhT (Auge, 2005); debido a la disponibilidad de datos y las condiciones hidráulicas del acuífero. Como se expuso anteriormente en el Capítulo 7, el acuífero Chuy es un sistema multicapa, donde en los primeros 30 metros se comportan como un acuífero libre y luego de 40 metros de profundidad el sistema responde a la dinámica de un acuífero semiconfinado. A su vez el sistema de abastecimiento en la localidad utiliza constantemente las perforaciones que toman agua en el acuífero superior (libre), de forma de captar eficientemente aguas del primer nivel, que mayormente se descargan hacia el mar. Puntualmente sondeos que captan a mayor profundidad se emplean para cubrir una demanda durante el pico estival, de forma de minimizar el deterioro de la calidad del agua debido a la contaminación por intrusión salina que existe a esta profundidad (SWECO VVB VIAK, 2001).

Se describen a continuación los métodos utilizados.

9.1 Método GOD

Este método es propuesto por Foster (1987), se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables, que son las que dan el nombre al método:

G: ground water occurrence – tipo de acuífero

O: Overall aquifer class – litología de la zona no saturada, se evalúa teniendo en cuenta el grado de consolidación y las características litológicas.

D: Depth – profundidad del agua o del acuífero

Se emplea el diagrama diseñado por Foster & Hirata (1991) que cualifica la Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación. Los tres índices se multiplican entre sí, resultando un valor, el cual se clasifica dentro de una escala, que va desde, 1 (vulnerabilidad máxima) a 0 (vulnerabilidad mínima), representado en la fig. 9.1.

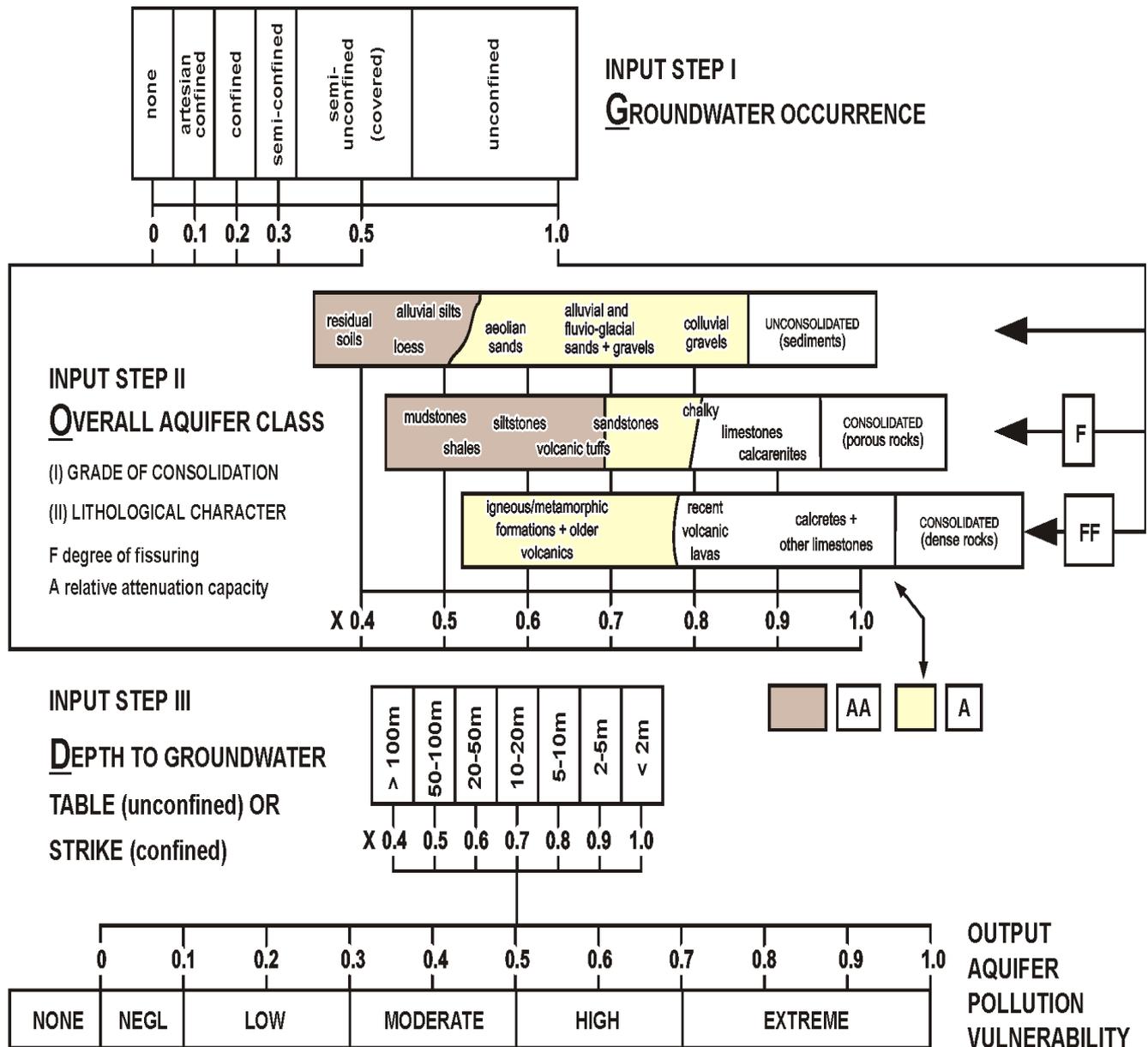


Figura 9.1. Diagrama para calificar la vulnerabilidad del acuífero para el método GOD. Imagen tomada de Foster (1987).

. Para determinar la vulnerabilidad de este sistema, se aplicó el método GOD. Para el área de La Paloma se diferenciaron tres zonas en función de la Geología e hidrogeología, previa realización de un estudio detallado de las descripciones litológicas en cada caso:

- Zona I ⇒ La Virazón
- Zona II ⇒ Alrededores de La Serena Golf Club
- Zona III ⇒ Parque Andresito

Estas zonas se distinguen claramente y son identificadas por su nombre en el Mapa geológico (fig. 6.6).

Zona I – La Virazón: esta área modelo identificada para aplicar los métodos de vulnerabilidad se ubica en la porción SW de La Paloma, próximo a la Laguna de Rocha, su comportamiento es de un acuífero libre, parcialmente cubierto por formación Libertad (potencia máx. 5m), cubierto por suelos de tipo planosoles. Se justifica ya que el sistema de abastecimiento utiliza constantemente las perforaciones que toman agua en el acuífero superior (libre), de forma de captar eficientemente aguas del primer nivel, que mayormente se descargan hacia el mar. Puntualmente sondeos que captan a mayor profundidad se emplean para cubrir una demanda durante el pico estival, de forma de minimizar el deterioro de la calidad del agua debido a la contaminación por intrusión salina que existe a esta profundidad, recomendaciones indicadas por el informe SWECO VVB VIAK (2001) para la zona de La Virazón. Se toma como referencia para la aplicación de las metodologías a las perforaciones N°: P36, P44, P45, P46 cuyo desarrollo no supera los cuarenta metros de profundidad, ya que estas operan todo el año cubriendo la demanda de agua de la localidad. Los valores de profundidad del acuífero se obtienen de Sweco Vbb Viak (2001). Ver Perfil de la Zona I (Fig.9.2).

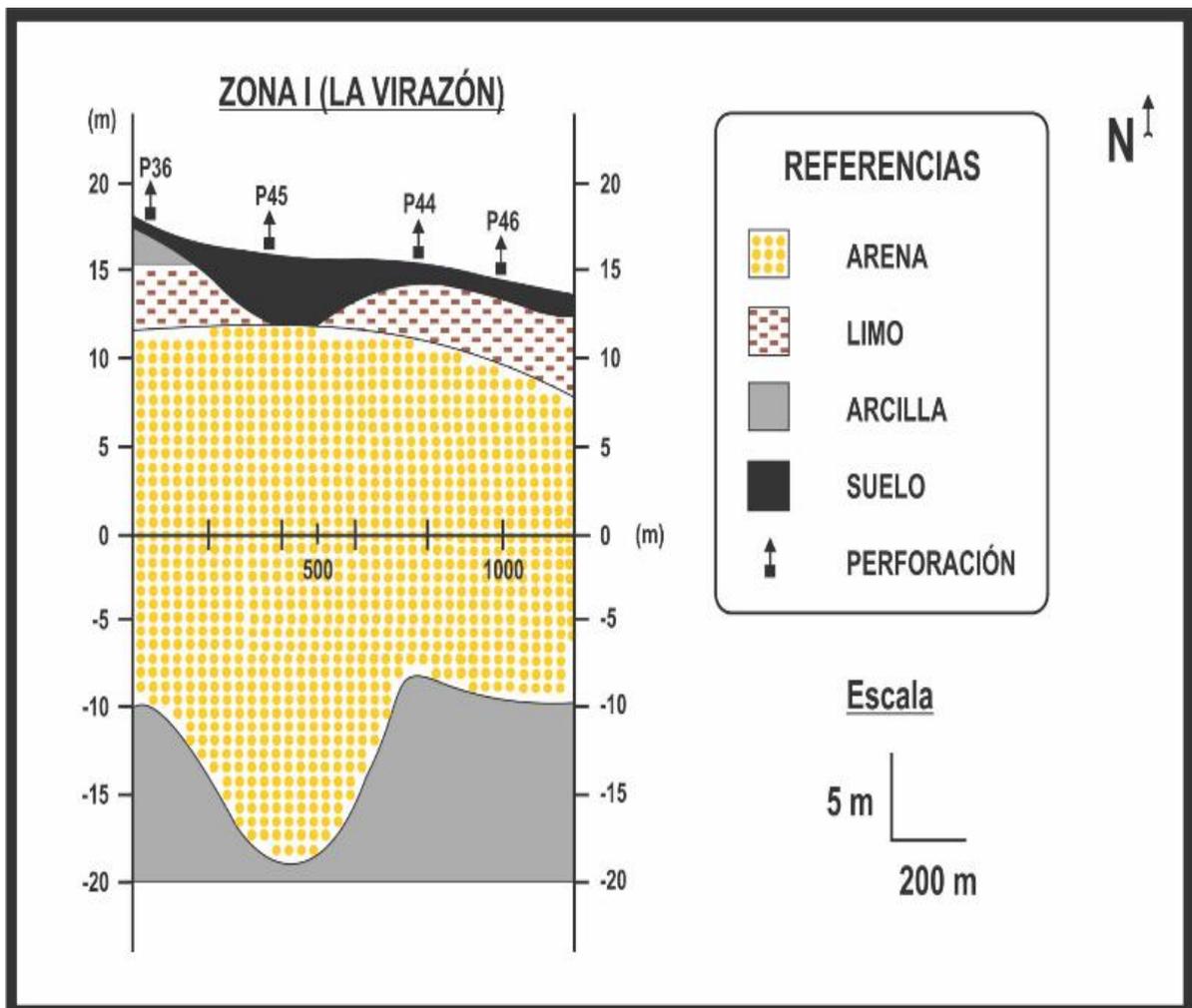


Figura 9.2. Corte Geológico, (Zona I) - La Virazón.

Para la localización de los sondeos ver Mapa Geológico. (Fig. 6.6)

Considerando los datos presentados arriba para la Zona I, los índices utilizados son para el parámetro:

Groundwater occurrence = 0.8, ya que es un acuífero libre parcialmente cubierto.

Overall aquifer class = 0.5 que corresponde a loess de la formación Libertad.

Depth to Groundwater = 0.75 los valores de profundidad del agua están en torno a 10 metros.

$G (0.8) \cdot O (0.5) \cdot D (0.75) = 0.30 \Rightarrow$ **Vulnerabilidad Moderada**

Zona II – La Serena: Se encuentra al sur de la continuación de R 10 y se extiende hacia la línea de costa, hasta la barra arenosa. En dirección E-W se ubica intermedia entre La Virazón (Zona I) y Parque Andresito (Zona III). Corresponde a un acuífero semiconfinado, en el que aflora Fm. Chuy, cuyos primeros 25m corresponden al acuífero libre.

Gran parte de la explotación de agua en esta región se da a mayor profundidad, por debajo de los 30 metros, atravesando así un nivel de limo-arcillosos, el cual se comporta como un acuitardo (espesor mínimo 5m).

Las perforaciones corresponden a: P43, P42 y P39. Ver Perfil de la Zona II (Fig. 9.3) y su ubicación en Mapa Geológico (Fig. 6.6).

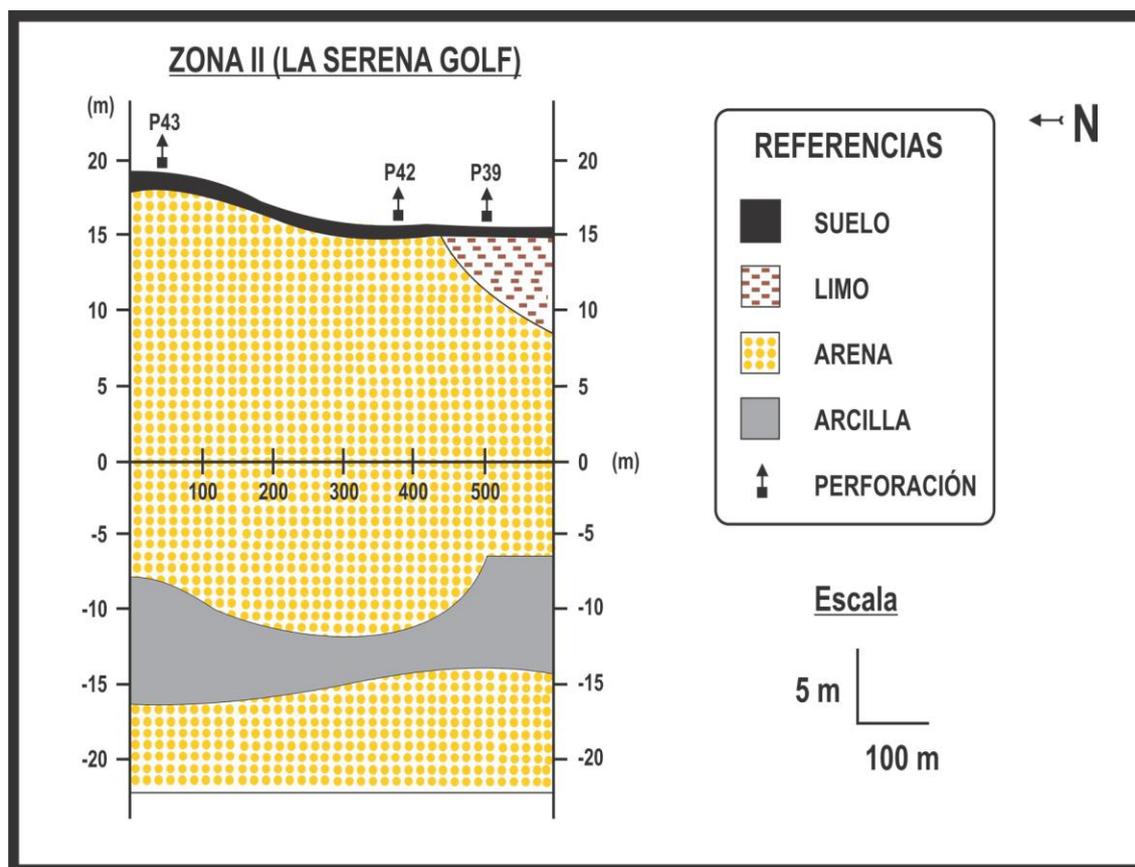


Figura 9.3. Corte Geológico, (Zona II) – La Serena.

Aplicando método GOD para Zona II:

Groundwater occurrence = 0.3, ya que es un acuífero semiconfinado.

Overall aquifer class = 0.7 que corresponde a las areniscas de la formación Chuy.

Depth to Groundwater = 0.75 las valores de profundidad del agua están en torno a 10 metros.

$G (0.3) \cdot O (0.7) \cdot D (0.75) = 0.16 \Rightarrow$ **Vulnerabilidad Baja**

Zona III – Parque Andresito: Representa la zona más hacia el E del área de estudio, la cual tiene como cobertura a las Arenas Actuales y el sistema corresponde a un acuífero semiconfinado.

Las perforaciones cuyos datos se utilizaron en la aplicación del método son: P7, P19 y P47. Ver perfil de la Zona III (Fig. 9.4) y verificar posición en el Mapa Geológico (Fig. 6.6).

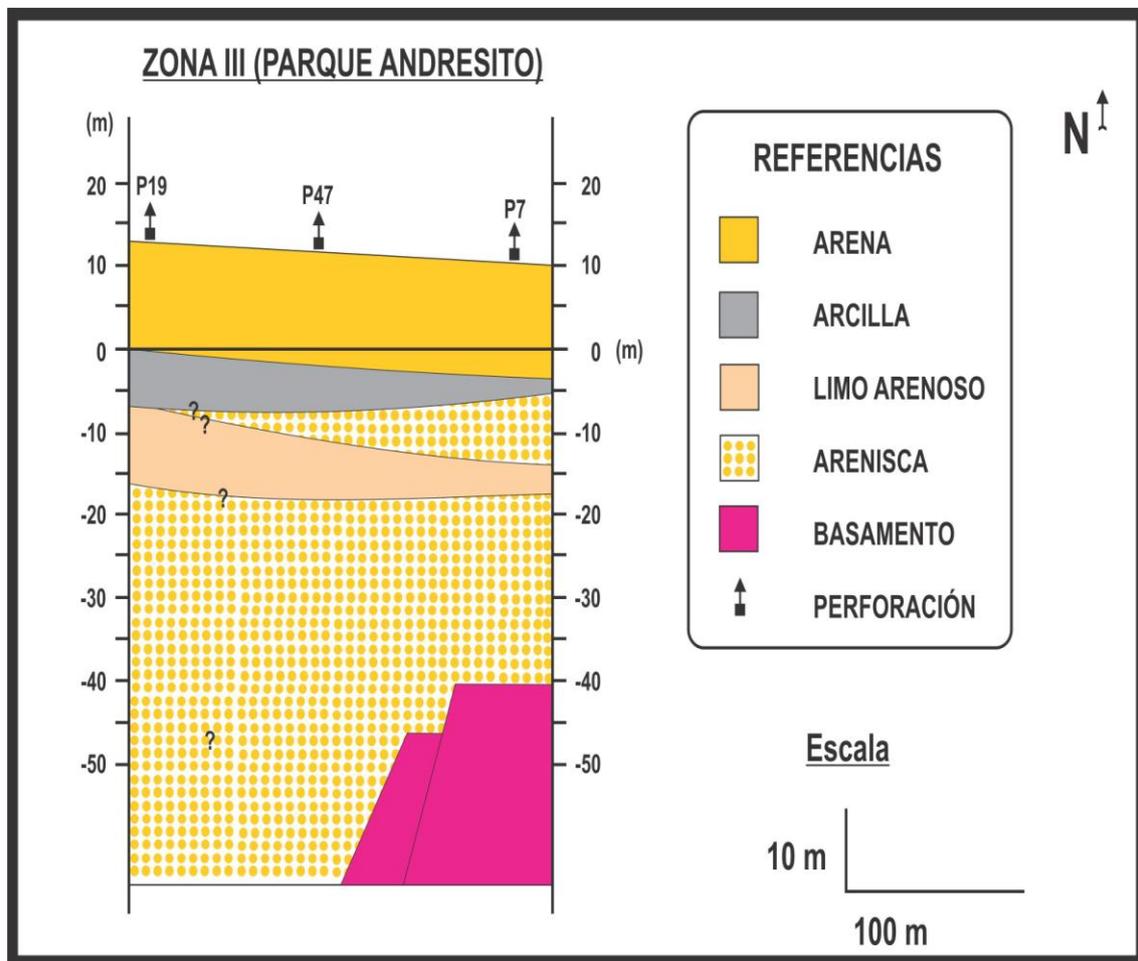


Figura 9.4. Corte geológico (Zona III), Parque Andresito.

Se aplica método GOD para la Zona III:
 Groundwater occurrence = 0.3, ya que es un acuífero semiconfinado.
 Overall aquifer class = 0.6 que corresponde a arenas Actuales (dunas).
 Depth to Groundwater = 0.9 los valores de profundidad del agua están en torno a 5 metros.

$G (0.3). O (0.6). D (0.9) = =0.16 \Rightarrow$ **Vulnerabilidad Baja**

Los resultados son representados en el Mapa de Vulnerabilidad – GOD escala 1:50.000 (Fig. 9.5).

9.2 Método EKv

Este método es diseñado por Auge M. (1995) para acuíferos libres, relaciona (E) espesor de la zona sub-saturada y (Kv) permeabilidad vertical de la zona sub-saturada. A los que se le asigna un índice desde 1 (menos vulnerable) a 5 (más vulnerable), ver tabla 9.1.

(E) Espesor de la zona subsaturada					
(m)	>30	>10 a 30	>5 a 10	>2 a 5	<2
Índice	1	2	3	4	5
(Kv) Permeabilidad Vertical de la zona subsaturada					
(m/día)	<0.001	>0.001 a 0.01	>0.01 a 1	>1 a 50	>50 a 500
Índice	1	2	3	4	5
Vulnerabilidad	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Tabla 9.1. Índices para los parámetros E y Kv (Auge, 1995).

Siendo Kv según la litología de la sección no saturada:

Índice	Kv (m/día)	Granulometría
5	500 a 50	Grava, grava arenosa, arena gruesa a media.
4	50 a 1	Arena media a fina, arena fina limosa
3	1 a 0.01	Limo, limo arenoso
2	0.01 a 0.001	Limo a limo arcilloso
1	<0.001	Arcilla limosa a arcilla

Tabla 9.2. Valores de Kv según la litología de la sección no saturada.

Ambos valores se suman, (E+Kv) proporcionando un índice final que abarca el rango de 2 a 10. Ver tabla 9.3.

Kv	1	6	5	4	3	2
	2	7	6	5	4	3
	3	8	7	6	5	4
	4	9	8	7	6	5
	5	10	9	8	7	6
		5	4	3	2	1
E						

Tabla 9.3. Diagrama de Vulnerabilidad Método EKv (Auge, 1995).

Resultando los siguientes valores:

E+Kv	Vulnerabilidad
2 a 4	Baja
5 a 7	Media
8 a 10	Alta

Tabla 9.4. Índice de Vulnerabilidad Método Ekv (Auge, 1995).

Para la aplicación del método Ekv se utilizan los parámetros pertenecientes a la Zona I (La Virazón), cuyo régimen corresponde a un acuífero libre. No fue posible incluir la Zona II y III, ya que presentan características hidrogeológicas diferentes.

Los valores que se obtuvieron para esta zona en promedio de espesor de la sección no saturada (E) corresponde a el índice= 2. (Tab. 9.1).

La permeabilidad vertical de dicha sección corresponde al índice = 4. (Tab. 9.2).

Siendo (E+Kv)=2+4, lo que corresponde a un Índice de Vulnerabilidad=6. (Tab. 9.4).

Con respecto al método EKv:

Zona I= Vulnerabilidad Media.

9.3 Método $\Delta hT'$

Diseñado por Auge M., 2004 (in Auge, M., 2001) para aplicar en acuíferos semiconfinados donde los parámetros que inciden en el grado de vulnerabilidad del sistema son las propiedades físicas y geométricas del acuífero que conforma su techo y también la relación de gradiente hidráulico (Δh) que guarda con el acuífero libre superpuesto. Esta diferencia en condiciones

naturales puede ser insignificante, pero bajo un régimen de explotación se acentúa.

La relación hidráulica en condiciones naturales se explica en la figura 9.6, donde la situación 1 corresponde a un valor de $\Delta h_1 < 0$ (por debajo de la superficie), permitiendo la recarga del acuífero semiconfinado. En la situación 2 el valor de $\Delta h_2 > 0$ (por encima de la superficie), se genera un ámbito de descarga del semiconfinado. Es posible el ingreso de contaminantes al acuífero semiconfinado en condiciones de recarga, es decir $\Delta h < 0$, situación 1, (Fig. 9.6).

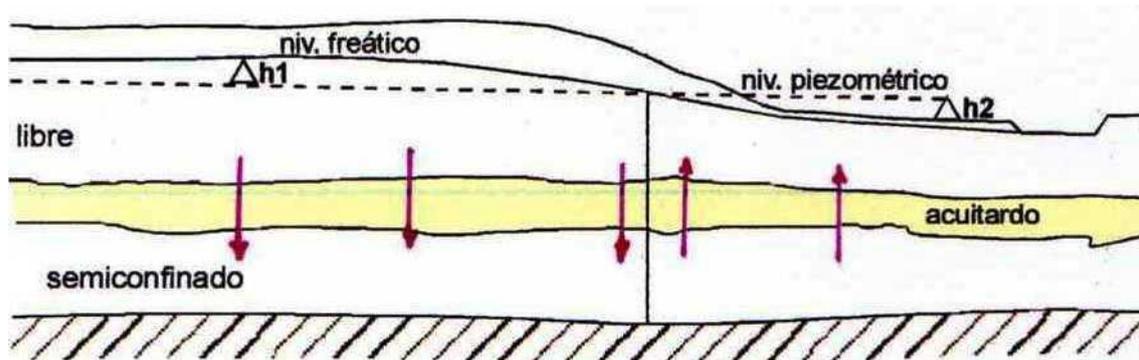


Figura 9.6. Potenciales hidráulicos naturales. (Auge, 2001)

En condiciones de explotación del sistema, se produce el descenso de la superficie piezométrica, acercándose al techo del acuitardo, propiciando la filtración vertical descendente y el acceso de contaminantes al nivel semiconfinado (Fig. 9.6).

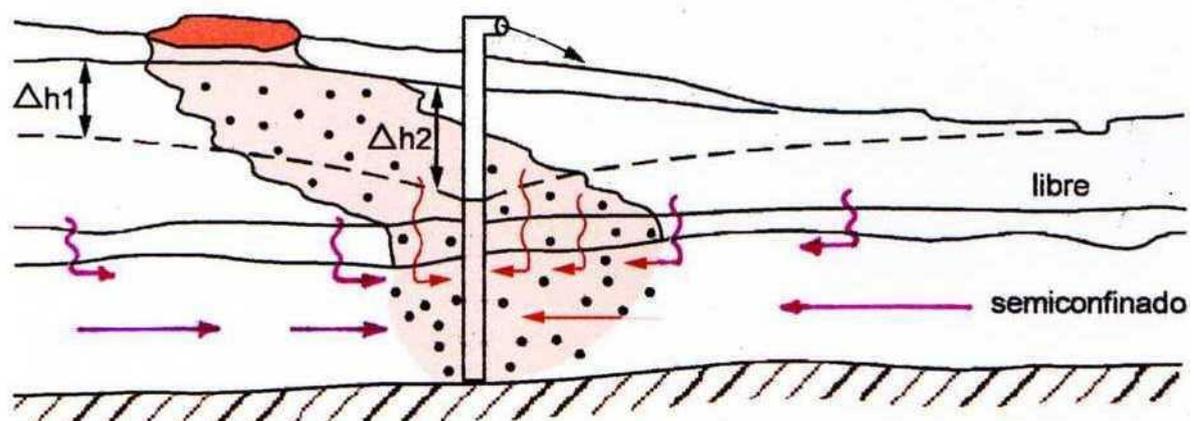


Figura 9.7. Potencial hidráulico artificial en Acuífero Semiconfinado. (Auge, 2001)

Determinar cuantitativamente la permeabilidad vertical (K_v) y la transmisibilidad vertical (T') no es de fácil determinación, una modalidad es el Ensayo de bombeo, pero puede brindar valores exagerados. Más representativo es comparar la freatimetria con la Piezometria en una misma zona. Los

potenciales hidráulicos relativos de las unidades hidrogeológicas superpuestas son fundamentales, pues condicionan el flujo vertical, (Fig. 9.6). La dinámica vertical se acentúa en condiciones de explotación, (Fig. 9.7).

En función del potencial hidráulico se puede determinar la Vulnerabilidad del acuífero semiconfinado.

Se denomina H_1 al potencial hidráulico del acuífero libre (nivel freático) y H_2 al potencial hidráulico del acuífero semiconfinado (nivel piezométrico), siendo la clasificación según la tabla 9.6:

$H_2 > H_1$	Vulnerabilidad baja
$H_1 \sim H_2$	Vulnerabilidad media
$H_2 < H_1$	Vulnerabilidad alta

Tabla 9.5. Grado de Vulnerabilidad según la relación del nivel freático y el nivel piezométrico del acuífero semiconfinado.

El método $\Delta hT'$ puede ser aplicado en la Zona II (La Serena) y en Zona III (Parque Andresito), ya que el acuífero en estas áreas se clasifica como semiconfinado (Fig. 9.3 y 9.4). Se suma a este análisis el sector de faja costera la cual puede ser evaluada por este método, ampliando así el área analizada según el grado de vulnerabilidad.

Se utilizan rangos de nivel freático y de nivel piezométrico de las 3 grandes zonas (Zona II, Zona III y faja costera). Los primeros fueron obtenidos en los cateos de reconocimiento edáfico, realizados en las salidas de campo y los valores de piezometría se incluyen en la información proporcionada por las instituciones públicas. Para el caso de la zona de faja costera se consideró que el nivel freático se encuentra en superficie, situación fácil de comprobar tanto en la costa SW, como en las playas hacia el E, ver figura 9.8.

Se aplica el método ΔhT para las diferentes zonas, resultando el siguiente cuadro (Tab. 9.6).

	Zona II	Zona III	Faja costera
H_1 (m)	0.8 - 1.2	1.5 - 1.8	1 - 0
H_2 (m)	10 - 12	5 - 7	1 - 0
$H_1 \leftrightarrow H_2$	$H_2 < H_1$	$H_2 < H_1$	$H_1 \sim H_2$
Vulnerabilidad	Alta	Alta	Media

Tabla 9.6. Resultado de la aplicación del método $\Delta hT'$.



Figura 9.8. Faja costera del sector SW, nivel freático en superficie.

Se entiende que el método EK_v y $\Delta hT'$ son complementarios y de gran utilidad en medios heterogéneos, por lo que se exponen los resultados de ambos métodos en un mismo mapa, ver figura 9.9.

10. Perímetros de Protección

10.1. Concepto

El establecimiento de zonas de protección para el agua subterránea, constituye una importante valoración en el ordenamiento territorial. Restringiendo actividades de índole agrícola, ganadero, forestal, industrial, urbano y resulta evidente que para lograr una eficiente protección, las captaciones deben estar diseñadas y construidas de forma de evitar el ingreso de contaminantes (encamisadas, boca cerrada, recintos limpios, en lugares que no son cubiertos por agua superficial, que el equipo de bombeo no presente pérdida de lubricantes, etc.).

Según Foster et al (2002), las estrategias para la protección de las aguas subterráneas comienza con el mapeo de la Vulnerabilidad del sistema acompañado por un inventario de cargas contaminantes en el área de evaluación.

Las entidades encargadas en promover la protección a la contaminación del agua subterránea son las empresas de servicios de agua estatales y las agencias reguladoras del ambiente y del recurso hídrico; así cuentan con una base sólida para desarrollar las intervenciones.

Como fase final se realizan medidas de control de la contaminación de aguas subterráneas luego de ser aplicado el perímetro de protección, evaluando si lo establecido cumple los objetivos de protección requeridos.

El Perímetro de Protección de Pozos (PPP), se asigna como vigilancia para la protección del recurso.

La proximidad a las fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas (pozos, perforaciones, manantiales) de ciertas actividades sobre el terreno, es un factor clave que influye en el peligro de contaminación de las aguas. Las amenazas de contaminación dependen de:

- Si la actividad se ubica superficialmente en el área de captura de la fuente.
- Tiempo de flujo horizontal en la zona saturada desde la ubicación de la actividad hasta el punto de extracción.

Los PPP deben dar protección contra:

- Contaminantes que decaen con el tiempo.
- Contaminantes no degradables

Toda actividad contaminante debe ser prohibida o controlada dentro del área de captura de la recarga de la fuente, lo que frecuentemente es muy difícil y antieconómico, sobre todo por presiones socioeconómicas (Fig. 10.1).

Por lo cual se subdivide el área de protección de modo que haya zonas más estrictas y zonas de menor restricción. Esta subdivisión puede basarse en diferentes criterios (distancia horizontal, tiempo de flujo horizontal, porcentaje del área de recarga, capacidad de dilución y atenuación de la zona saturada), sobre todo los dos primeros parámetros son los más apropiados.

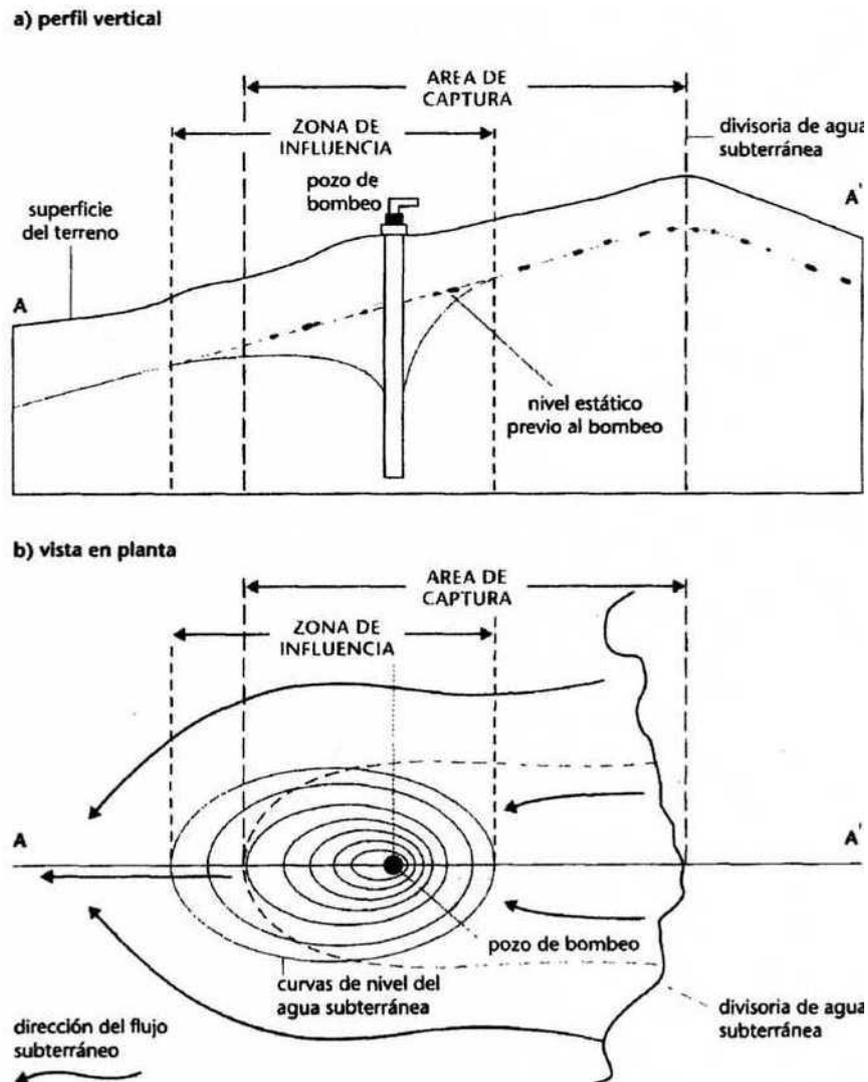


Figura 10.1. Diferencia entre el área de captura y la zona de influencia de un pozo de producción. Foster et al (2002)

10.1.1 Area de Captura de la Fuente.

La zona de protección externa para una fuente puede ser tomada como el área de captura de la recarga. Este es el perímetro en el que toda la recarga del acuífero (proveniente de la precipitación y/o cursos de agua superficial) será captada por la fuente de abastecimiento de agua. Las áreas de captura de la recarga son muy importante no solo por la protección a la contaminación, sino en términos de manejo del recurso, y en situaciones de explotación intensiva del agua subterránea.

Se utiliza como área de conservación del recurso para abastecimiento de agua potable, ver fig. 10.1.

10.1.2 Zona Operacional del Pozo.

Pequeña área alrededor del pozo la cual es conveniente que sea propiedad y este bajo el control del propietario que realiza la extracción. Debe presentar

piso de concreto para evitar la infiltración de lubricantes de la bomba y estar debidamente identificado y cercado para no permitir el ingreso a este perímetro. El radio estimado son 20m, como se muestra en la figura 10.2.

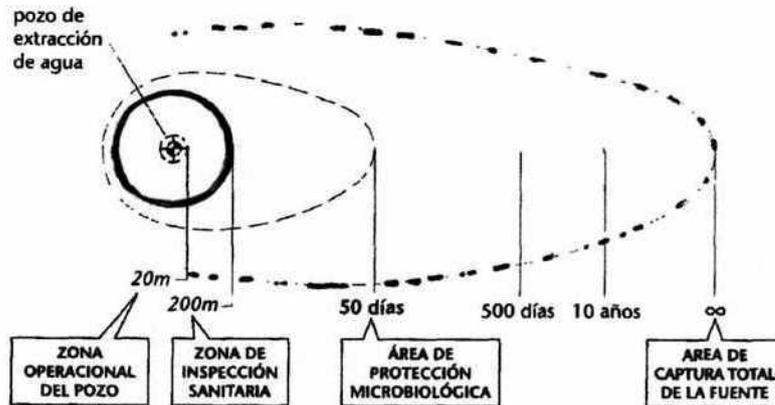


Figura 10.2. Esquema idealizado de áreas de captura y perímetros de protección según el tránsito entorno al pozo de producción. Foster et al (2002).

10.1.3 Limitaciones del concepto de PPP.

La demanda de mayor protección o menor restricción, pueden llegar a plantear desafíos técnicos y pone a prueba cualquier concepto, revelando su capacidad para lidiar en forma justa con tales desafíos, tomando en cuenta el contexto específico en el que la crítica se plantea (Foster e Hirata, 1995) in Foster et al 2002. Una limitante habitual es cuando los acuíferos están sometidos a bombeos estacionales fuertemente variables (balnearios, uso agrícola, refrigeración de maquinaria), la interferencia entre los pozos de bombeo produce zonas de protección excesivamente compleja e inestable.

10.1.4 Comparación de los métodos de delimitación.

La delimitación de los PPP de las fuentes puede ser encarada utilizando una amplia variedad de métodos, que comprenden desde los más simples hasta los más extremadamente elaborados. La elección del método se verá condicionada por la disponibilidad de información hidrogeológica más que cualquier otra consideración. Se resume en la tabla 10.1 las diferentes opciones y sus características técnicas.

MÉTODOS	Facilidad de aplicación	Complejidad de los datos requeridos	Adaptabilidad al modelo hidrogeológico regional	Precisión
Radio fijado arbitrariamente	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
Radio fijo calculado	ALTA	BAJA	MEDIA BAJA	(1) Media/alta (2) Baja
Métodos analíticos	MEDIA	MEDIA	MEDIA	(1) Alta (2) Media
Métodos hidrogeológicos	BAJA	Media/alta	ALTA	(1) Media/baja (2) Media/alta
Modelos matemáticos de flujo y transporte	BAJA	ALTA	ALTA	ALTA
Poder auto-depurador del terreno	ALTA	Baja/media	BAJA	Baja/media
Empleo de trazadores	MEDIA	Baja/media	ALTA	ALTA
Datación con tritio	ALTA	BAJA	Media/alta	Media

Tabla 10.1. Consideraciones técnicas para la selección del método de determinación de PPP. (Montaño J. 2005)

Sumado a lo planteado anteriormente, la selección del método más apropiado para cada caso, deberá tener en cuenta consideraciones de carácter técnico, económico y el impacto social que supondrá la implementación de la medida. (Montaño J. 2005)

10.2 Determinación de PPP.

10.2.1 Radio fijado arbitrariamente.

Corresponde al área definida por un radio con centro en la captación, cuya dimensión corresponde a una medida arbitraria que habitualmente se relaciona con medidas existentes obtenidas mediante la aplicación de métodos complejos en el área. Este método se ha aplicado en los PPP de captaciones de aguas minerales, basándose en la legislación, cuyo valor es 300 metros de radio con centro en el pozo (R.D. Ley de 25 de abril 1929). Actualmente se

utiliza esta medida como definición de la zona de restricciones absolutas en torno a la captación ya que el método ha perdido vigencia.

10.2.2 Radio fijo calculado (R.F.C).

Se determina esta distancia mediante la Ecuación Volumétrica, la que calcula el volumen de agua que llegará al pozo en un tiempo determinado, tiempo que se considera el necesario para eliminar o disminuir la contaminación, corresponde al tiempo de tránsito.

Se supone que la captación es el único drenaje del acuífero, convergiendo en el pozo todas las líneas de corriente, líneas isócronas concéntricas a la captación (Fig. 10.3).

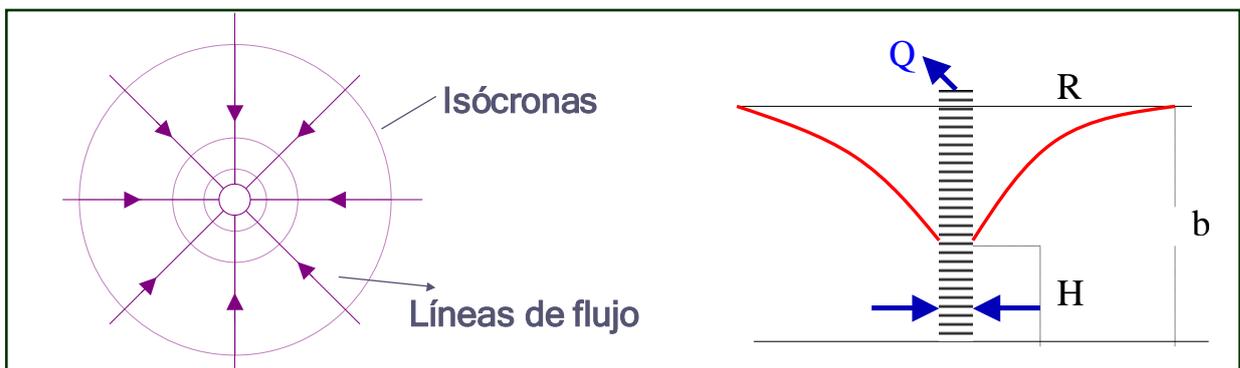


Figura 10.3. Líneas de flujo y cono de descenso en un pozo de bombeo

La Ecuación Volumétrica es:

$$Q \cdot t = m_e \cdot H \cdot \pi \cdot R^2$$

$H \cdot \pi \cdot R^2 =$ Volumen total del cilindro

$m_e \cdot H \cdot \pi \cdot R^2 =$ Volumen de agua contenido

Por lo tanto:

$$R = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{m_e \cdot H \cdot \pi}} \quad (1)$$

Siendo:

Q = caudal bombeado

t = tiempo de tránsito hasta la captación

m_e = porosidad eficaz del acuífero

H = espesor saturado en la captación

R = radio del perímetro de protección

Basado en la división del área de estudio por zonas como se ha implementado en el desarrollo del trabajo y contando con datos certeros proporcionados por OSE en el informe de SWECO VVB VIAK (2002), al periodo comprendido por los años 1995-97. Se resumen los datos en la tabla 10.2, para un sondeo representativo de cada zona.

	ZONA I (P48)	ZONA II (P42)	ZONA III (P47)
Q (m₃/h)	27	22	13
H (m)	8	4.5	6
m_e %	15*		

Tabla 10.2. Valores necesarios para calcular PPP.

*El valor de porosidad efectiva se obtuvo de datos estándar para diferentes litologías (Custodio & Llamas 1996)

Aplicando la ecuación (1) se obtienen los siguientes valores de R para las distintas perforaciones para un tiempo de tránsito = 5 años (Tab.10.3).

	ZONA I (P48)	ZONA II (P42)	ZONA III (P47)
R (m)	340	412	275

Tabla 10.3. Valores de R para cada sondeo.

El cálculo realizado para las perforaciones de las que se contaba con información suficiente, indica valores de radio de los PPP que van desde 275 metros a 412 metros desde el centro del sondeo hacia la circunferencia equidistante.

11.1 Conclusiones

11.1.1 Acuífero Chuy

El acuífero Chuy en el Balneario La Paloma, departamento de Rocha se caracteriza por ser un sistema multicapa constituido por una sucesión de estratos arenosos con intercalación de niveles arcillo-pelíticos, de estructura horizontal a subhorizontal.

La formación Chuy, se disponen sobre el basamento, el cual está representado por los metasedimentos de la formación Rocha, cuya geometría genera la estructura que se denomina Fosa Tectónica La Paloma (Gaucher et al, 2007).

En algunos sectores por encima de la formación Chuy se preserva la formación Libertad (Pleistoceno) y en otros sectores el acuífero se encuentra cubierto por sedimentos Actuales como arenas y depósitos de albuferas.

Se verificó el desarrollo de cuatro tipos de suelos en el área, Planosoles, Gleysoles y Argisoles presentan un poder amortiguador medio, mientras que los Arenosoles se caracterizan por permitir el ingreso de contaminantes, cuya capacidad amortiguadora es baja.

Dado el arreglo sedimentario del acuífero Chuy se reconocen, por lo menos dos regímenes: un nivel superior el cual se dispone entre las cotas +20 y -10, el que se comporta como un acuífero libre y un nivel de mayor profundidad, entre la cota -20 hasta el basamento, cuya dinámica es de un acuífero semiconfinado con un acuitardo de espesor y geometría variable.

11.1.2 Hidrodinámica

En la cartografía generada del análisis de los datos de nivel de agua del acuífero Chuy, se observa mayoritariamente una dirección de flujo hacia el Océano Atlántico. Se calculó el caudal de descarga neto, específicamente en la zona de La Serena, para un frente de 1000 metros y un gradiente hidráulico de $7.3 \cdot 10^{-3}$, resultando:

$$Q \text{ descarga} = 800 \text{ m}^3/\text{día}$$

Siendo la perforación P40 el punto en el que se cuenta con la información necesaria para realizar dichos cálculos.

Se identifica en el Mapa nivel de agua (Fig. 7.2) el área de recarga del acuífero al NNW, en los alrededores de la intersección de R15 y R10 y extendiéndose a lo largo de esta última. Existe una leve desviación de la resultante de dirección de flujo de descarga en el sector del Parque Andresito, hacia el borde de costa este y oeste, del Cabo de Santa María. Se puede interpretar que, el basamento en este punto actúa como una estructura de contención “barrera” en la cuenca, generándose una leve desviación de la dirección de flujo en este sector.

11.1.3 Hidrogeoquímica

En lo referente a la caracterización química de las aguas subterráneas relevadas en este estudio, predominan por encima del 50% las aguas cloruradas sódicas. En menor relación, 25% aproximadamente, se encuentran las aguas bicarbonatadas sódicas y solamente una muestra cayó en el campo de las aguas cloruradas cálcicas; todas muestras del acuífero Chuy.

Apenas por encima del 10% del total de las muestras analizadas, corresponde al tipo de agua bicarbonatada cálcica, coincidiendo en su totalidad con muestras de aguas provenientes del acuífero fisurado.

Según los valores guías establecidos por la OMS, más del 50% de las muestras presentan valores aceptables para el consumo humano (P4, P37, P38, P39, P52, P53, P55 y P56).

Las muestras P7, P47, P48 y P54 presentan valores altos de hierro el cual podría estar asociado a la lixiviación de niveles ferruginosos de la formación Chuy. Seguramente la muestra P6 se encuentra en esta misma situación ya que el nivel de manganeso es alto, pero no se cuenta con este dato para el hierro.

Aproximadamente el 10% de las muestra corresponden a aguas duras que presentan alto contenido de cloruro y sodio, en este caso se puede inferir una posible contaminación por intrusión salina (P2 y P3).

11.1.4 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad del acuífero Chuy en el área de estudio utilizando el método GOD, corresponde a media para la zona de La Virazón. En el caso del sector de La Serena y Parque Andresito la vulnerabilidad es baja.

Al aplicar el método Ekv y Δht la vulnerabilidad para La Virazón coincide, a diferencia de las otras dos áreas, La Serena y Parque Andresito cuya vulnerabilidad es alta en este caso. El método Δht permite establecer el grado de vulnerabilidad a la contaminación de la faja costera, la cual corresponde a baja.

La contraposición de los datos, se explica debido al grado de especificidad de los métodos utilizados. En este caso, el método GOD es un método genérico, de amplia aplicación, ya que requiere de pocos datos y a su vez son de fácil acceso en lo referido a estudios hidrogeológicos. En cambio tanto Ekv como Δht son métodos que han sido diseñados específicamente, teniendo en cuenta las condiciones hidráulicas de los sistemas acuíferos. En el caso de Δht , este es un método específico para acuíferos semiconfinados. Por lo que se puede afirmar que el resultado que se adapta mayormente a las condiciones del acuífero en estudio es el que se generó en segunda instancia, ver fig. 9.12.

11.1.5 Perímetros de Protección de Pozos PPP

Según la metodología de radio fijo calculado, el valor medio de este segmento es de 340 m, un valor máximo de 410m y mínimo de 275m. Siempre con centro en la perforación y hacia la circunferencia equidistante.

11.2. Recomendaciones

Se realizan a continuación una serie de recomendaciones a las autoridades reguladoras del recurso, para el balneario La Paloma, Rocha.

Realizar periódicamente un seguimiento, del sistema hidrogeológico en relación a la cantidad y calidad del recurso. Considerando que la población estable en la localidad ha ido creciendo en la última década y la demanda estival ha aumentado el consumo en un orden de entre 15 a 20% en los pasados 5 años (OSE, 2010). Por lo que se plantea en orden decreciente de prioridad las siguientes recomendaciones:

11.2.1 Considerando los valores de vulnerabilidad constatados en los mapas y que la principal fuente de agua potable que se utiliza en el suministro es tomada del acuífero Chuy, resulta imprescindible el tratamiento adecuado de las aguas residuales de las viviendas y otras actividades que influyen significativamente (basureros, estación de servicio, locales comerciales).

11.2.2 Haciendo referencias a lo planteado en el capítulo 7 y 8, con respecto a las características hidrogeoquímicas e hidrodinámicas planteadas anteriormente, se sugiere realizar un monitoreo de la concentración del ion

sodio y cloruro en el sistema. Proponiendo como alternativa el uso constante de las perforaciones que toman en niveles poco profundos, bajo el régimen de acuífero libre. El acuífero superior recibe una recarga constante de las aguas superficiales, descargando un volumen de agua dulce al mar que no es aprovechada y así disminuir el riesgo de intrusión salina en niveles más profundos.

11.2.3 El alto contenido en Hierro y Manganeseo es un inconveniente de conocimiento masivo, además del registro químico en los análisis, el cual supera ampliamente el valor de 0.3 mg/l según normas nacionales e internacionales, llega a valores de 2 a 7 mg/l (ver análisis P47, Anexo 13.2). Son los efectos que se generan al tomar agua con esas concentraciones e introducirlas en la red de abastecimiento que provocan un deterioro agresivo hasta destructivo de cañerías, pavimento, cerámicas, fachadas, telas. Pero mas allá de estos efectos es quizás el que menos afecta al organismo humano. Frente a esta situación se desarrolló un proyecto que consistía en la reinfiltración del agua con alto contenido en hierro en pozos en terrenos arenosos, produciéndose así la aireación, dejando que el agua se infiltre en la cuenca y extraerla desde otro pozo, con menor contenido de hierro. Es un método de bajo costo que puede seguir siendo implementado, siempre que el crecimiento urbano sea ordenado y dirigido.

12. Bibliografía

Albinet, M. & Margat, J. 1971. Cartographie de la Vulnérabilité a la pollution des nappes de eau souterraine. Actes du Symposium – Groundwater Pollution. Pollution des Eaux Souterraines. Moscow. N° 103, pág. 58-70.

Almagro, L.; Custodio, E.; Rocha, L.; Abelenda, D. 1998. Hidrogeología del acuífero superior de la Formación Chuy (Región Sudeste del Uruguay). Modelo Conceptual. 4º Congreso Latinoamericano de Hidrogeología Subterránea (ALHSUD). Memorias Vol.1, pág. 374-390, Montevideo, Uruguay.

Altamirano, A.; da Silva, H.; Durán, A.; Echevarría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo-Uruguay.

Auge M. 1995. Primer curso de posgrado de hidrogeología ambiental. UBA, pág. 1-65. Buenos Aires.

Auge M. 2001. Vulnerabilidad de acuíferos, conceptos y métodos. Curso de posgrado de Hidrogeología. UBA-CONICET. Buenos Aires, Argentina.

Basei, M. A. S.; Frimmel, H.; Nutman, A. P.; Preciozzi, F. 2006. Provenance and Age of the Sedimentation of the Dom Feliciano Belt Supracrustal units, Brazil-Uruguay: Correlations With SW Africa. V South American Symposium on Isotope Geology. Short Papers, pág. 45-48, Punta del Este, Uruguay.

Bossi, J. 1966. Geología del Uruguay. Dpto. de Publicaciones de la Universidad de la Republica. Pág. 469. Montevideo.

Bossi, J. 2009. Evolucion de la litosfera en Uruguay (Sudamérica) durante el Predevoniano: Predominio de transurrencias. (www.geoloiadeluruquay.com, consulta agosto/2011).

Bossi, J., Ferrando, L., Montaña, J., Campal, N., Morales, H., Gancio, E., Schipilov, A., Piñeyro, D., Sprechmann, F. 1998. Carta Geológica del Uruguay. Versión 1. Digital. Montevideo, Geoeditores-Facultad de Agronomía; Escala 1:500.000.

Bossi, J.; Ferrando, L. 2001. Carta Geologica del Uruguay a escala 1/500.000; versión digital 2.0 en CD-ROM. Ed. Facultad de Agronomía.

Bossi, J. & Gaucher, C. 2004. The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: an allochthonous block accreted in the Cambrian to SW-Gondwana. *Gondwana Research*, 7 (3), pág. 661-674.

Bossi, J. & Navarro, R. 1988. *Geología del Uruguay*. Montevideo, Universidad de la República. (Tomo I).

Bossi, J.; Navarro, R. 1998. "Geología del Uruguay" Universidad de la Republica. Montevideo-Uruguay.

Carbajal A. 1998. Tratamiento del Hierro en el agua subterránea en la Paloma, Uruguay. División Aguas Subterráneas del Departamento Técnico de OSE. 4º Congreso Latinoamericano de Hidrogeología Subterránea. Montevideo, pág. 1373-1384.

Custodio, E. & Llamas, M.R. 1983. Hidrogeología Subterránea. Tomo I. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

Custodio, E. & Llamas, M.R. 1996. Hidrogeología Subterránea. Tomo I y II. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

Delaney, P. 1963. Fisiografía e geología da superfície da planície costeira do RGS, Brasil. Esc. Geol. P. Alegre Public. Esp. (6), pág. 1-105.

Dirección Nacional de Meteorología. 2011. Sitio web <http://www.meteorologia.com.uy/index.php/caracteristicas-climaticas>, consulta agosto 2011.

EPA. 1991. A review of methods for assessing the sustentability of aquifer to pesticide contamination. Preliminary document, pág. 1-21. Washington D.C.

Fragoso Cesar ARS, Machado R & Gómez Rifas C. 1987. Observações sobre o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio e correlações com o Escudo do Rio Grande do Sul, pág. 791-809 de Simp. Sul-Bras. Geol., 3. Curitiba.

Forsberg A., Johansson A. 1997. Removal of Iron from drinking water in La Paloma, Uruguay. Master of Science Degree Prject. Thesis Report. Stockolm.

Foster, S.S.D. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of soil and Groundwater to pollutants. TNO/RIVN. Proceedings and information 38: pág. 69-86.

Foster S. & Hirata R. 1991. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes CEPIS, pág. 1-81. Lima.

Foster S.; Hirata R.; Gomes D.; D'Elia M.; Paris M. 2002. Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. GW. MATE, Banco Mundial. Washington D.C.

Gariboglio, M. A., Smith, S. A. 1993. Corrosión e incrustación microbiológica en sistemas de captación y conducción de agua. Aspectos teóricos y aplicados. Serie Investigaciones Aplicadas, Colección Hidrología Subterránea. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires, Argentina.

Gaucher, C. & Cabrera, J. 2007. Mapa Geológico de La Pedrera. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias. 8 pág. (inédito).

Gaucher, C., Gagliardi, S., Montañó M., Montañó J. 2007. Mapa geológico área La Paloma-La Pedrera. Memoria explicativa. 9 pág., Montevideo, inédito.

Gómez Rifas, C. 1995. A Zona de Cizalhamento sinistral de Sierra Ballena no Uruguai. Tese de doutorado, IG-USP, São Paulo, pág. 1-243.

Goso, H. 1972. El Cuaternario Uruguayo. Proyecto Estudio Levantamiento de Suelos. Ed. Mimeorg., 12 pág. Montevideo.

INE (1996-2004). Censo Población por sexo, según departamento. Sitio web: <http://www.ine.gub.uy>.

Martínez S. & Ubilla M. 2004. El Cuaternario de Uruguay. Cáp. IX. In. Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Geología, paleontología y recursos naturales. Cenozoico. Gerardo Veroslavsky, Martin Ubilla, Sergio Martinez. DIRAC. Facultad de Ciencias, pág. 195-222.

Masquelin, H. 2006. El escudo Uruguayo. Cap. II. In: Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Geología, paleontología y recursos naturales. Paleozoico. Gerardo Veroslavsky, Martin Ubilla, Sergio Martinez. DIRAC. Facultad de Ciencias, pág. 37- 92.

Menezes M. 2010. Geologia estrutural e estratigrafia da Formação Rocha na região de La Paloma e Rocha, Uruguai. Dissertação de Maestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pág. 16-46.

Montañó J. 1999. Caracterización y Vulnerabilidad de Sistemas Hidrogeológicos Discontinuos, Cuenca del Arroyo Carrasco, Montevideo-Uruguay. Tesis Doctoral. UBA.

Montañó, J. 2005. Curso: Monitoreo y conservación de acuíferos. Módulo IX. Métodos para la delimitación de perímetros de protección pág. 1-6.

Obras Sanitarias del Estado (OSE). 2010. Estudio de demanda en La Paloma – Rocha. Informe inédito.

OSE. 2006. Norma interna de calidad de agua potable. Documento aprobado, pág. 10-13.

Panario, D. Gutiérrez, O. 1999. The continental uruguayan Cenozoic overview. Quaternary International. Vol 62, pág. 75-84.

Preciozzi, F., Masquelin, H., Sánchez Bettucci, L., 1993. Geología de la Porción Sur del Cinturón Cuchilla de Dionisio, La Paloma, Uruguay. In: Bossi, J., Preciozzi, F., Masquelin, H., Sánchez Bettucci, L. (Eds.), Primer Simposio Internacional del Neoproterozoico-Cambriano de la Cuenca del Plata, Guía de Excursiones, Minas-La Paloma, pág. 1-38.

PROBIDES-Intendencia Municipal de Rocha, 2002. Proyecto de desarrollo de las áreas protegidas Laguna de Garzón y Rocha. Bases para un plan de

manejo. Documentos de Trabajo-Nº44. Unión Europea, PNUD, Global Environment Facility.

Sánchez Bettucci, L. & Mezzano Burgueño, A. 1993. Análisis sedimentológico y faciológico de la Formación Rocha (ex Grupo Rocha). Revista Brasileira Geociencias, 23 (3), pág. 323-329.

Severova, V. 1997. Características del Clima de Uruguay. Unidad Meteorología, Facultad de Ciencias, UdelaR. Sitio web <http://www.rau.edu.uy>, consulta en julio 2011.

Sprechmann, P. 1978. The paleoecology and Paleogeography of the uruguayan coastal area during the Neogene and Quaternary. Zitteliana, vol. 4; pág. 3-72.

SWCO VBB VIAK-OSE, 2002. Groundwater Resources in the La Paloma Area – Phase 2 – Main Study – Final Report N° 1153187. Stockolm, Sweden.

Ubilla, M. y Perea, D. 1999. Quaternary vertebrates of Uruguay: biostratigraphic, biogeographic and climatic overview. Quaternary of South America and Antartic Peninsula 12, pág. 75-90.

Vrba & Zaporokec (ed) 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH vol 16, pág. 1-131. Verlag Heinz Heise Hannover.

World Health Organization (WHO-OMS). 2006. Guidelines for drinking water quality 3° ed. Vol. 1.

13. Anexos.

13.1 Inventario de pozos.

Código	Nº de pozo	Coord. X	Coord. Y	Prof. (m)	Ne (m)
P1	373	651,400	6,164,700	64	4.6
P2	482/5	650,900	6,164,100	73	4.4
P3	508/1	650,500	6,164,800	23	4.5
P4	533	650,100	6,164,800	55	7.6
P5	733	643,900	6,164,500	61.80	14.5
P6	1060	650,224	6,166,908	66	9.0
P7	1224	651,400	6,163,500	63.50	7.4
P8	1260	650,300	6,168,200	43	15.6
P9	9601	645611	6164744	18.00	6
P10	9602	643723	6164781	19.60	14
P11	9603	643411	6164676	23.00	17.00
P12	9604	645568	6164895	14.00	7.2
P13	9605	645167	6165155	22.00	10.2
P14	9607	646355	6165103	14.00	6
P15	9608	646359	6165046	13.30	6.5
P16	9609	646326	6165087	11.00	6.2
P17	9610	645131	6164830	16.50	9.8
P18	9611	644291	6164855	23.75	10.1
P19	9612	649695	6164721	13.00	3.1
P20	9613	645223	6165025	20.53	7.6
P21	9614	645506	6165285	30.00	17.4
P22	9615	645568	6165434	35.00	
P23	9616	649711	6164691	12.50	3.60
P24	9617	649722	6164769	12.00	3.30
P25	9618	645255	6164990	24.60	
P26	9619	645267	6165441	36.00	22.4
P27	9620	647421	6165388	24.00	9
P28	9621	648159	6164964	12.70	4.9
P29	9622	649030	6164463	20.50	
P30	9623	649766	6164797	3.47	3.1
P31	9624	649750	6164719	4.10	3.70
P32	9625	646306	6165840	23.00	16.7
P33	9727	644119	6164744	41.00	13.6
P34	9730	645167	6165210	21.00	
P35	9731	645243	6165028	39.80	
P36	86.4.016	643711	6164725	25.70	12.4
P37	86.4.017	643402	6164614	27.00	14.9
P38	86.4.018	645238	6165089	20.50	7.90
P39	86.4.019	645571	6164878	18.50	6.30

P40	86.4.020	646359	6165074	11.10	4.3
P41	86.4.021	649766	6164741	8.00	2.3
P42	86.4.022	645558	6164914	33.00	9.7
P43	86.4.023	645273	6165159	45.00	14.9
P44	86.4.024	644298	6164756	24.00	9.7
P45	86.4.025	644063	6164731	40.00	13.6
P46	86.4.026	644643	6164756	25.00	8.8
P47	1268/5	649783	6164736	19.90	4.5
P48	86-4-001	644,320	6,164,790	65	10.5
P49	1469	645,660	6,164,850	140	
P50	LP.16	651,200	6,169,300	15	8
P51	LP.10	649,600	6,167,600	38	24
P52	86-4-007	649600	6166500		
P53	86-4-005	645,134	6,164,824	22	9.8
P54	86-4-012	649,515	6,164,984		
P55	86-4-013	650,161	6,166,083		
P56	482/4	650,700	6,164,100		
P57	La Aguada	650,460	61,651,600		
P58	Golf	646,410	6,165,890		

Datos Hidrogeoquímicos
Datos piezométricos

13.2 Datos Fisicoquímicos

Nº muestra	P2	P3	P4	P6	P7	P37	P38	P39	P41	P47	P48	P52	P53	P54	P55	P56
Ubicación	P.An dresit o	P.An dresit o	P.An dresit o	Costa Azul	La Palo ma	La Viraz ón	Costa Azul	La Viraz ón	La Palo ma	La Palo ma	P. Andre sito					
Fecha	31/10 /1996	31/10 /1996	23/07 /1996	31/10 /1996	21/03 /1996	16/06 /1997	10/05 /1996	04/04 /1996	12/06 /1997	21/03 /1995	21/03 /1995	31/08 /1996	16/03 /1995	20/08 /1996	21/03 /1995	21/03/ 1995
Coord. X	650,900	650,500	650,100	650,224	651,400	643,402	645,200	645,500	649,700	649,700	644,300	649,600	645,100	649500	650,100	650,800
Coord. Y	6,164,100	6,164,800	6,164,800	6,166,900	6,163,500	6,164,600	6,165,000	6,164,800	6,164,700	6,164,700	6,164,500	6,166,500	6,164,800	6164900	6,166,000	6,164,300
Fm. Geologica	Fm. Chuy	Fm. Chuy	Fm.R ocha	Fm. Chuy	Fm.R ocha											
Conductivid Ms/cm	1100	1050	500	1200	520	280	534	510	509	540	510	500	552	442	339	270
pH	7	7.2	7.3	7.3	7.7	6.8	7.9	6.6	5.8	6.7	6.9	6.9	7	6.8	6.8	7.7
Temp (°C)	19	19	19	19	19	19.5	19	19	19	19	19	19	18.7	19.5	19.3	19.5
Dureza CaCO ₃ (mg/l)	1200	840	96	110	84	164	40	64	164	76	310	134	210	86	76	126
Na (mg/l)	530	340	112	164	17	94	76	55	18	37	150	100	88.2	55	70	35
K (mg/l)	4.4	5.2	2.1	3.3	1.8	3.6	7.8	2.3	2	2.1	5.4	3.8	3.6	3.4	4	2.7
Mg (mg/l)	117.1	49.2	6.8	14	3.8	10	8	5.5	3.9	2.9	24	10.6	20.4	5.6	6.8	5
Ca (mg/l)	307.2	180	17.7	30	35	72	8.9	30	5	2	40	41.6	80.9	32	22	54
Mn (mg/l)			0.04	0.5	0.1	0.03	0.01	0.01	0.06	0.17	0.53	0.04	0.05	0.72	0.05	0.04
Fe (mg/l)	0.1		0.2		0.69	0	0.2	0	0.7	2.2	0.4	0	0.3	0.6	0.2	0.1
NH ₄ (mg/l)	0	0	0	0		0	0.02	0.01	0.15	0.1	0.15	0	0	0.2	0	0
Cl ⁻ (mg/l)	1450	825	45	200	29	155	100	50	68	20	270	151	250	45	82	36
SO ₄ ⁻ (mg/l)	215	85	48	19	4.99	4	17	12		5.1	29.4	26.8	40.6	4	9.6	4
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	153.7	175	214.7	180	118	158.6	84	117	31.7	80.52	146.4	141.5	100.1	192.8	139.1	170
NO ₃ (mg/l)	0.5	0.3	0.49	28	0	4.8	1.1	4.8	0.1	2	0.7	1.1	0.5	0.5	0.4	2.2
NO ₂ (mg/l)	0.01	0.01	0.09	0.04	0	3	0.002	0	0	0	0.02	0	0.01	0	0.02	1.6
CO ₃	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Balance lónico error %	0.2	0.1	0.2	0	0.3	8	0.3	8	25.7	0.9	0.1	1.5	0.5	0.7	0.1	8

13.3 Descripción litológica de perforaciones La Paloma- Rocha.

13.3.1 Perforación P1, La Paloma.

Profundidad (m)	Litología
0-3	Ar. Qzo, media subredondeada, beige
3-6	Ar. Qzo fina subredondeada, matriz arcillosa 40%.
6-7	Ídem anterior, matriz 50%, con patinas de FeO.
7-8	Ídem anterior
8-9	Ar. Qzo 60%, Fd 30%, 10% líticos y minerales negros, fina a media. Clastos tamaño grava.
9-10	Ídem 8-9.
10-11	Ídem 8-9.
11-12	Ídem 8-9.
12-13	Ídem 8-9.
13-14	Ídem 8-9.
14-15	Ídem 8-9.
15-16	Ídem 8-9.
16-17	Ar. Qzo. Fd, media, matriz arcillosa, presencia de moluscos, líticos tamaño grava y cemento carbonatito.
17-18	Ar con 70% matriz carbonática y FeO
18-20	Limo rojizo, alto contenido en Fe.
20-64	Basamento

13.3.2 Perforación 449/11, Puerto La Paloma.

Profundidad (m)	Litología
0-0.5	Ar fina Qzo-Fd, bien seleccionada con bioclastos
0.5-2.5	Ar gruesa Qzo-Fd, mal seleccionada
2.5-3.5	Ar fina Qzo-Fd, redondeada, con bioclastos y concreciones de FeO
3.5-4.5	Ar fina a media Qzo-Fd, redondeada, mal seleccionada, con bioclastos
4.5-5.0	Ar fina a gruesa Qzo-Fd, redondeada, mal seleccionada, pocos moluscos
5.0-6.5	Ar fina a media Qzo-Fd, redondeada, mal seleccionada, mayor cantidad de moluscos
6.5-7.5	Ar fina con clastos de basamento tamaño guija, fósil de megafauna cuaternaria.
7.5-8.0	Ar fina a media Qzo-Fd, fósil megafauna y costras de FeO.
8.0-8.5	Basamento

13.3.3 Perforación P56, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litología
0-1.80	Ar Qzo redondeada, bien seleccionada
1.80-3.90	Ar fina a muy gruesa, bi modal, Qzo-Fd.
3.90-5.80	Ar fina Qzo-Fd, presencia de moluscos
5.80-7.80	Ar fina Qzo-Fd, matriz y cemento carbonatico
7.80-9.0	Ar fina Qzo-Fd, importante presencia de moluscos
9.0-10	Ar fina Qzo-Fd, matriz y cemento carbonatico
10-10.90	Ar fina Qzo-Fd, matriz carbonática, presencia de moluscos
10.90-12.90	Ídem anterior
12.90-13.90	Ac verdosa consolidada.
13.90-18	Ac gris Qzo-Fd con conchillas y cemento carbonatico
18-18.70	Ac gris rojizo, con bioclastos
17.70-22	Ídem anterior
22-24.30	Limo arcilloso rojo ladrillo
24.30-25	Ídem anterior
25-40	Ac beige
40-45	Ac beige con clastos de Qzo y líticos tamaño arena.
45-53	Ac beige arenosa
53-73	Basamento

13.3.4 Perforación P2, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-4.5	Ar fina a media Qzo-Fd, mal seleccionado, subangulosa, con restos de bivalvos, beige.
4.5-9	Ídem anterior, aumenta granulometría.
9-11.5	Ar muy fina Qzo arcillosa, selección regular, sub angulosa, gris oscuro
11.5-13.5	Ac arenosa, granos gruesos, mala selección, color gris claro con pequeños nódulos de CaCO ₃ .
13.5 - 15.5	Ar muy fina Qzo, buena selección, angulosa, color beige, con restos fósiles
15.5 - 17.5	Ar muy fina Qzo, arcillosa con algunos granos de qzo, mal seleccionado, cemento calcáreo, restos de fósiles, beige.
17.5 - 18.7	Nivel constituido por fósiles y Ar fina cementada con CaCO ₃ .
18.7 - 25	Ac arenosa media a fina Qzo-Fd, mal seleccionada, beige, con cantos Fd angulosos y fósiles.
25- 27.7	Ar media arcillosa, mal seleccionada, redondeada, naranja con FeO.
27.7 - 31	Ac gravillosa arenosa Qzo-micacea, cantos subangulosos, mal seleccionado beige claro
31- 34	Ac arenosa, micacea, granos gruesos, mal seleccionados, con pequeños cantos de Esquistos color beige.
34- 44	Ac gravillosa Qzo-micacea, clastos subangulosos, mal seleccionada con nódulos de FeO, pardo rojizo.
44-49	Ar media a gruesa Qzo, clastos angulosos de esquistos micáceos muy alterados color ocre.
49-50	Basamento Micaesquistos con filones de Cuarzo.

13.3.5 Perforación P3, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-11	Ar fina a media Qzo-Fd, redondeada, mal seleccionada, beige.
11-17	Ar fina a media Qzo-Fd, redondeada con moluscos y costras de FeO, ocre.
17-18	Ar fina a muy fina, arcillosa gris
18-20	Ar Qzo-Fd-líticos, mal seleccionados con matriz arcillosa y FeO, naranja.
20-23	Limo arcillosa rojiza, con bioclastos y FeO
23-55	Basamento Micaesquistos.

13.3.6 Perforación P4, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-4.5	Ar media Qzo-Fd, redondeada y bien seleccionada
4.5-7	Ídem anterior

7-10	Ar media Qzo-Fd, con matriz arcillosa
10-12	Ídem anterior
12-15	Ar muy fina a fina, Qzo-Fd.
15-18	Ar muy fina a fina, Qzo-Fd, con abundantes bioclastos (moluscos)
18-18.70	Ar media a gruesa, mal seleccionada, matriz arcillosa verde, carbonatos
18.70-22.80	Ar fina a media Qzo-Fd
22.80-25.80	Ar media a gruesa Qzo-Fd, mal seleccionada, con matriz arcillosa, FeO.
25.80-55	Basamento

13.3.7 Perforación P5, La Virazón, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-1	Suelo
1-3	Arcilla marrón
3-6	Ar fina a media Qzo-Fd con matriz arcillosa rojiza
6-11	Ar media a gruesa bien redondeada, rojiza, Fd 60%, Qzo 35%, líticos 5%.
11-12	Ar media a sábulo, redondeada, mal seleccionada, Fd 60%, Qzo 35%, líticos 5%.
12-17	Ar fina a gruesa, bi modal, matriz limo arcillosa, amarilla-rojiza
17-19	Ar fina Qzo-Fd, matriz limo-arcillosa, amarillo-rojiza.
19-24	Ar fina Qzo 60%, Fd 40%, sin matriz
24-26	Limo arenoso cementado bioclastos y líticos
27-35	Limo gris oscuro consolidado
35-37	Limo arenoso gris
37-39	Ar fina a sábulo, arcósica, mal seleccionado y subangulosa, gris.
40.80-42	Limo arenoso gris oscuro, con bioclastos (moluscos)
42-55	Limo arenoso gris oscuro
55-61.30	Conglomerado grava, bloque, arena gruesa, arena fina, Fd, Qzo y líticos, mal seleccionado, subredondeado a subangulosos.
61.30-61.80	Ar limosa, alto contenido de mo.

13.3.8 Perforación P6, Costa Azul, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-2	Suelo arenas
2-5	Ar fina a media, Qzo-Fd, rojiza, matriz arcillosa.
5-10	Ar fina Qzo 80%, Fd 15%, Líticos 5%, redondeada, bien seleccionada.
10-12	Ar muy fina
12-15	Ar muy fina, nivel con cemento ferroso, corazas
16-19	Ar de muy gruesa a sábulo, Qzo-Fd-Líticos, redondeada, mal seleccionada
19-25	Ar fina a gruesa, bi modal, matriz arcillosa, con bioclastos(moluscos)
25-42	Ar fina arcillosa, con intraclastos biogénicos, guija y líticos
42-50	Ar media Qzo-Fd, redondeada, bien seleccionada con matriz arcillosa.
50-60	Ar fina a media Qzo-Fd- CaCO3, bien redondeada amarillo azafrán
60-66	Limo arenoso, con cemento carbonatito, niveles de FeO

13.3.9 Perforación P7, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-6	Ar fina a media, Qzo-Fd, subredondeada
6-10	Ar fina a media, Qzo 70%, Fd 25%, líticos 5%, subredondeada
10-13.50	Ar fina Qzo-Fd subredondeada
13.50-15.50	Ac gris verdosa consolidado
18.50-19	Ar Qzo-Fd con matriz arcillosa presencia de moluscos
22.50-24	Ar muy fina Qzo 60%, Fd 35% , Líticos 5%, presencia de moluscos (partes)
24-27.50	Limo arenoso marrón claro con clastos tamaño guija, presencia de moluscos (partes)
27.50-29	Ar fina a media Qzo-Fd subredondeada matriz arcillosa
29-33	Ar fina a media Qzo-Fd subredondeada matriz arcillosa beige y FeO
33-37	Ar media a gruesa Qzo-Fd redondeada, matriz arcillosa
37-41	Ar fina a media Qzo-Fd redondeada y bien seleccionada con trazas de FeO
41-50	No hay muestra
50-63.50	Basamento

13.3.10 Perforación 1224/3, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-13	Arena Qzo
13-18	Arcilla gris
18-24	Arena gruesa con conchillas
24-25	Arcilla marrón

13.3.11 Perforación 1224/4, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-13.80	Arena
13.80-22.50	Arcilla
22.50-24	Arena con conchillas
24-32	Arcilla

13.3.12 Perforación P8, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litología
0-2	Suelo
2-6	Ar muy fina Qzo-Fd con matriz arcillosa marrón rojiza
6-7	Limo arenoso gris consolidado
7-12	Ar muy fina a media Qzo-Fd, redondeada, mal seleccionada matriz arcillosa beige
12-21	Ar fina a media Qzo-Fd, matriz arcillosa, cemento carbonatito y bioclastos
21-22	Idem anterior color rojizo, mayor presencia de matriz
22-28	Idem 12-21
28-42	Idem 12-21, mayor contenido de arcilla y cemento
42-43	Ar muy fina matriz arcillosa, cemento y venas de FeO

13.3.13 Perforación P47, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-5	Arena gruesa
5-9	Arena fina
9-12.5	Arena gruesa
12.5-18	Arcilla
18-20	Arena
20-22	Arena gruesa
22-23	Arcilla Gris

13.3.14 Perforación P49, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-0.60	Suelo
0.6-3	Arcilla limosa marrón oscuro
3-3.8	Arcilla arenosa marrón claro
3.8-4.5	Idem pero con pátinas de Fe
4.5-5.3	Arena muy fina cuarzo subredondeada, subangulosa, muy bien seleccionada sin cemento color amarillo claro
5.3-5.6	Idem pero con cemento arcilloso amarillo
5.6-6	Con menos cemento y pátinas de FeO
6.35-7.5	Arcilla arenosa marrón mal seleccionada
7.5-15	Arena fina bien seleccionada subredondeada a angulosa color beige
15-17	Idem pero con abundante arcilla color claro
17-18	Idem pero con pátinas negras
18-26	Arena muy fina cuarzo, subredondeada a subangulosa, muy bien seleccionada
26-29	Arena color marrón oscuro con pátinas de Fe
29-31	Arena fina bien seleccionada, sub redondeada sub angulosa con abundante arcilla beige
31-40	Idem pero sin arcilla
40-47	Idem pero con pátinas de FeO
47-50	Arcilla gris verdosa muy fosilífera, sin arena plástica
50-52	Arena fina gris verdosa subangulosa a subredondeada color marrón \
52-54	Arcilla verde azulada
54-55	Arcilla con algo de arena fina
55-56	Arena fina regular subredondeada, con cemento arcilloso
56-58	Arcilla algo arenosa (mal seleccionada) color, marrón claro \
58-70.5	Arena fina cuarzo, subredondeada, selección regular con algo de arcilla color beige claro
70.5-83	Igual pero con un poco de arcilla
83 - 87	Idem, con mas arcilla
87 - 89.5	Arena fina, subredondeada, cuarzo bien seleccionada color beige claro
89.5- 92	Arcilla muy arenosa, color gris verdoso
104.4-104.6	104.6 Arcilla muy poco arenosa marrón
104,6-106	Arena media suba gulosa con poco cemento arcilloso color marrón claro
106-137	Arena media a fina subangulosa a sub redondeada cuarzo sin cemento color beige
137-138	Arcillo arenisca con presencia de mica
138-140	Trozos de cuarzo lechoso
140-adelante	Basamento metamórfico

13.3.15 Perforación 1469/2, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-0.5	Suelo
0.5-1.5	Suelo arcilloso
1.5-6	Ar fina Qzo, bien seleccionada, subredondeada, beige.
6-8	Ac arenosa color marrón oscuro.
8-10	Ar fina Qzo subredondeada, cemento arcillosa beige claro.

10-17	Ídem anterior, sin cemento.
17-34	Ar fina Qzo bien seleccionada, subredondeada, beige
34-35	Ac gris verdosa
35-36	Ar fina Qzo, bien seleccionada, subangulosa, con matriz arcillosa, beige.
36-45	Ac arenosa marrón
45-52	Ar fina Qzo subredondeada, subangulosa, con cemento arcilloso
52-55	Ídem, pero menos arcilla.
55-58	Ar fina a media Qzo bien seleccionada, subredondeada, beige claro.
58-79	Ac gris clara con patinas amarillas
79-80	Ac verde oscuro.
80-83	Ar muy fina arcillosa, con patinas de FeO, marrón grisáceo.
83-83.5	Ac con clastos de hasta 4 cm, de Qzo-KFd, concreciones de CaCO3
83.5-85	Ac con arena, gris verdosa
85-89	Ar fina limosa con abundante cemento arcillosa marrón
89-99	Ac compacta marrón con fragmentos de FeO
99 en adelante	Basamento Cristalino metamórfico

13.3.16 Perforación P9, La Virazón, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-30	Suelo
0.3-4	Ar
4-9.5	Ar limosa
9.5-11	Ar gravilosa, con niveles de ar.
11-16	Ar fina a media
16-17	Ar

13.3.17 Perforación P10, La Virazón, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-0.3	Suelo
0.3-4	Arcilla
4-5	Ar fina limosa
5-6	Arcilla
6-10	Ar limosa
10-18	Ar fina limosa
18-23	Ar fina a media

13.3.18 Perforación P12, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-6	Ar fina arcillosa
6-9	Ar fina a media poca arcilla
9-12	Ar gruesa Qzo-Fd bien redondeada
12-14	Ar media ídem anterior

13.3.19 Perforación P13, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-3	Ac marrón seca
3-6	Ac húmeda
6-9	Ar arcillosa
9-12	Ar media a gruesa
12-14	Ar gruesa a muy gruesa
15-17	Ar media a fina

13.3.20 Perforación P16, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-2	Arena
2-4	Arcilla
4-8	Arcilla y arena
8-9	Ar arcillosa
9-10	Arena fina
10-12	Arena gruesa
12-13	Arena media
13-14	Arena fina
14-17	Arena
18	Arcilla

13.3.21 Perforación P14, La Serena, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-2	Ar fina a media
2-5	Ac negra
5-8	Ac limosa marrón
8-10	Ar gravilosa con niveles de ac
10-11	Ar gravilosa

11-14.5	Ar fina a media
---------	-----------------

13.3.22 Perforación P15, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-3	Arcilla negra
3-6.5	Arcilla limosa
6.5-9.5	Limo con capa de arcilla
9.5-13.3	Ar gravilosa algo limosa

13.3.23 Perforación P17, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-3	Suelo arenoso
3-6	Ar media Qzo mate, redondeada, matriz arcillosa marrón oscuro.
6-15	Ar muy fina Qzo, bien seleccionada marrón, FeO y minerales negros.
15-16.5	Ac muy arenosa gris, con fracción ar muy fina

13.3.24 Perforación P18, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litología
1-3	Arcilla marrón
3-6	Ar media Qzo, redondeada, mate, marrón oscuro, matriz arcillosa
6-12	Ar gruesa gravilosa Qzo de Txt mate, redondeada, baja selección, clastos con FeO
12-15	Ar media a fina Qzo, gravas dispersas, abundante FeO y minerales negros, buena selección color marrón claro.
15-18	Ar muy fina Qzo marrón, alta selección, abundante FeO, minerales negros

13.3.25 Perforación P19, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litología
0-3	Ar fina Qzo, redondeada, mate, marrón, buena selección, minerales negros.
3-4.5	Ar gruesa a media Qzo, vítrea, beige, redondeada, buena selección, minerales negros.
4.5-6	Ar media Qzo, subredondeada, blanca, buena selección, txt. vítrea, minerales negros.
6-12	Ar media Qzo, subredondeada, blanca, buena selección, txt. vítrea, minerales negros
12-13	Ac gris verdosa con arena fina.

13.3.26 Perforación P48, La Virazón, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-1	Suelo, arcilla negra
1-3	Arcilla marrón, algunos clastos de Qzo
3-5	Ar Qzo-Fd gruesa, mal seleccionada, subredondeada marrón
5-7	Ar Qzo-Fd media, seleccionada, subredondeada marrón clara.
7-11	Ar Qzo-Fd gruesa a grava, poca selección, subredondeada beige.
11-14	Ar Qzo-Fd gruesa, poco seleccionada, subredondeada-subangulosa marrón claro
14-16	Ar Qzo-Fd gruesa a grava, baja selección, redondeada-subredondeada beige
16-18	Ar Qzo-Fd media, bien seleccionada, subredondeada a angulosa beige
18-25	Ar Qzo-Fd media a fina con gravas, poca selección subredondeada a subangulosa beige
25-27	Arcilla, con arena fina y gravas de Qzo baja selección subredondeada gris verdosa
27-28	Arcilla verdosa
28-29	Ar Qzo fina con gravas y arcilla, poco seleccionada angulosa marrón
29-30	Arcilla, Ar fina con grava Qzo, poco selección, subangulosos gris verdosa
30-33	Arcilla, Ar fina Qzo, bien seleccionada, angulosos gris verdosa
33-37	Arcilla, Ar fina a media y gravas Qzo, poca selección angulosos gris oscuro
37-40	Ar media a gruesa Qzo-Fd con gravas, baja selección, subangulosa beige
40-41	Gravas y Ar media a gruesa Qzo-Fd, baja selección angulosos beige
41-44	Ar media a gruesa Qzo-Fd, con gravas, baja selección, angulosos a subredondeados beige
44-45	Ar gruesa Qzo-Fd con cantos, baja selección, angulosos subredondeados beige
45-50	Ar media a gruesa Qzo-Fd y Arcilla, seleccionada subredondeados gris
50-58	Arcilla gris verdoso oscuro
58-60	Ar gruesa Qzo seleccionada angulosa gris
60-61	Gravas y Arena gruesa Qzo poco seleccionada angulosa beige
61-63	Ar gruesa a media Qzo con gravas poco seleccionada angulosa beige
63-65	Arcilla con Arena gruesa gris oscuro

13.3.28 Perforación P53, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-2	Ac con Ar Qzo de hasta 1mm, subredondeada, marrón.
2-3	Ar arcillosa Qzo, mal seleccionada, mal seleccionada, subredondeadas.
3-5	Ar gruesa Qzo, mal seleccionada, subredondeada, bajo contenido de finos, marrón.
5-7	Ar Qzo gruesa, hasta 2mm, selección media, subredondeada, beige.
7-9	Ar Qzo subangulosa, beige
9-13	Ar Qzo gruesa, selección media, subangulosa, beige cementada.
13-14	Ídem anterior, aumenta el tamaño de grano a 2.5 mm.
14-17	Ar Qzo gruesa hasta 2.5mm, selección media, subredondeada, beige cementada.
17-20	Ar Qzo gruesa subredondeada, selección media, beige. Clastos teñidos con FeO, cementada.
20-22	Ar Qzo de selección media, subredondeada, aumenta el contenido de FeO.

13.3.32 Perforación P36, La Virazón, La Paloma, Rocha

Profundidad (m)	Litologías
0-0.3	Suelo
0.3-5	Ac marrón consolidada
5-7.5	Ar limosa, con niveles ac
7.5-10	Ar fina y media limosa
10-12	Ar limosa gravilosa
12-15	Ar fina y media limosa
15-19.5	Limo arenoso fino
19.5-23.5	Ar media a fina
23.5-25.5	Ar media
25.5-25.7	Arcilla consolidada

13.3.33 Perforación P37, La Virazón, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-0.3	Suelo
0.3-1.5	Ac gris
1.5-4	Ac limosa marrón
4-4.5	Ar fina marrón
4.5-5	Ac marrón
5-7	Ar fina limosa marrón
7-9.5	Ar gravilosa marrón
9.5-10.5	Ar gravilosa limosa marrón
10.5-18	Ar limosa marrón, con niveles arcillosos
18-26	Ar fina a media marrón
26-27	Ac consolidada

13.3.34 Perforación P38, La Virazón, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-3	Limo con granos de Ar gruesa de txt mate redondeadas, marrón. Hacia la base aumenta tamaño de grano a 3mm.
3-6	Ar media limosa, mala selección, subredondeada, granas de Qzo hasta 3mm, con FeO.
6-8	Ar Qzo media, txt mate, baja selección, subredondeados, marrón rojizo, FeO.
8-9	Ar gruesa Qzo, redondeada, bien seleccionada, marrón rojizo.
9-15	Ar gruesa gravilosa Qzo, granos hasta 4 mm, redondeados de txt mate, selección media, FeO.
15-18	Idem anterior, disminuye tamaño de grano.
18-20	Ar media a fina Qzo arcillosa, con minerales opacos, redondeados, beige, FeO.
20-21	Ac arenosa fina gris verdosa.

14.3.35 Perforación P39, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-0.30	Suelo
0.30-5	Arcilla
5-7.8	Arcilla limosa
7.8-9	Ar gravilosa con arcilla
9-14	Ar gravilosa
14-16.5	Ar con algunas gravas
16.5-18.5	Ar fina a media
18.5-adelante	Arcilla

13.3.36 Perforación P40, La Serena, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-2	Ar fina a media
2-5	Ac negra
5-8	Ac limosa marrón
8-10	Ar gravilosa con niveles de ac
10-11	Ar gravilosa

13.3.37 Perforación P42, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-1	Suelo arcilloso
1-2	Ar fina a media marrón mojada
2-4	Limo arenoso marrón mojado
4-5	Ar fina con poco limo marrón mojado
5-6	Ar fina limosa y ar gruesa marrón
6-7	Limo arenoso marrón mojado
7-8	Ar fina a media limosa marrón mojada
8-9	Ar media a gruesa con limo marrón
10-18	Ar media a gruesa
18-20	Ar media a muy gruesa
20-24	Ar media a gruesa
24-27	Conglomerado, ar fina a gruesa con limo

27-30	Ac negra y dura
30-33	Ar fina a gruesa gris

13.3.38 Perforación P43, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-1	Suelo arcillosa con arena marrón
1-3	Ar fina marrón
3-6	Ar fina más oscura, mojada
6-12	Ar fina a media, marrón oscura mojada
12-15	Ar media, con algunas ar gruesas
15-24	Ar media
26-36	Ac verde consolidada
36-37	Ar fina
37-41	Ar fina a media
41-45	Ar fina a media con arcilla y FeO

13.3.39 Perforación P44, La Virazón, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-1	Suelo duro
1-4	Limo marrón
4-6	Ar gruesa con ar fina y media
6-12	Ar gruesa a fina arcillosa con minerales negros
12-15	Idem, mayor contenido de ar gruesa marrón
15-18	Grava con menos ar media y arcilla.
18-21	Ar fina con clastos redondeados gruesos
21-24	Ar fina con mica gris, nivel duro de ar silicificada
24	Ac

13.3.40 Perforación P45, La Virazón, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-4	Suelo limoso con un poco de ar fina
4-5	Ar media con un poco de ar fina rojiza.
5-6	Ar media con ar gruesa rojizas
6-7	Ar fina a media con algunas gravas rojiza
7-9	Ar gruesa con gravas
9-10	Mas presencia de gravas rojiza
10-13	Ar gruesa con gravas gruesas
13-18	Ar gruesa con pocos finos y gravas
18-24	Ar fina con algo de ar gruesa y gravas
24-36	Ar fina con ac verde, un poco de material grueso
36	Ar gravillosa gruesa con grano gruesos de ac verde
39	Ar fina a media con ac oscura
40	Ac oscura

13.3.41 Perforación P46, La Virazón, La Paloma, Rocha.

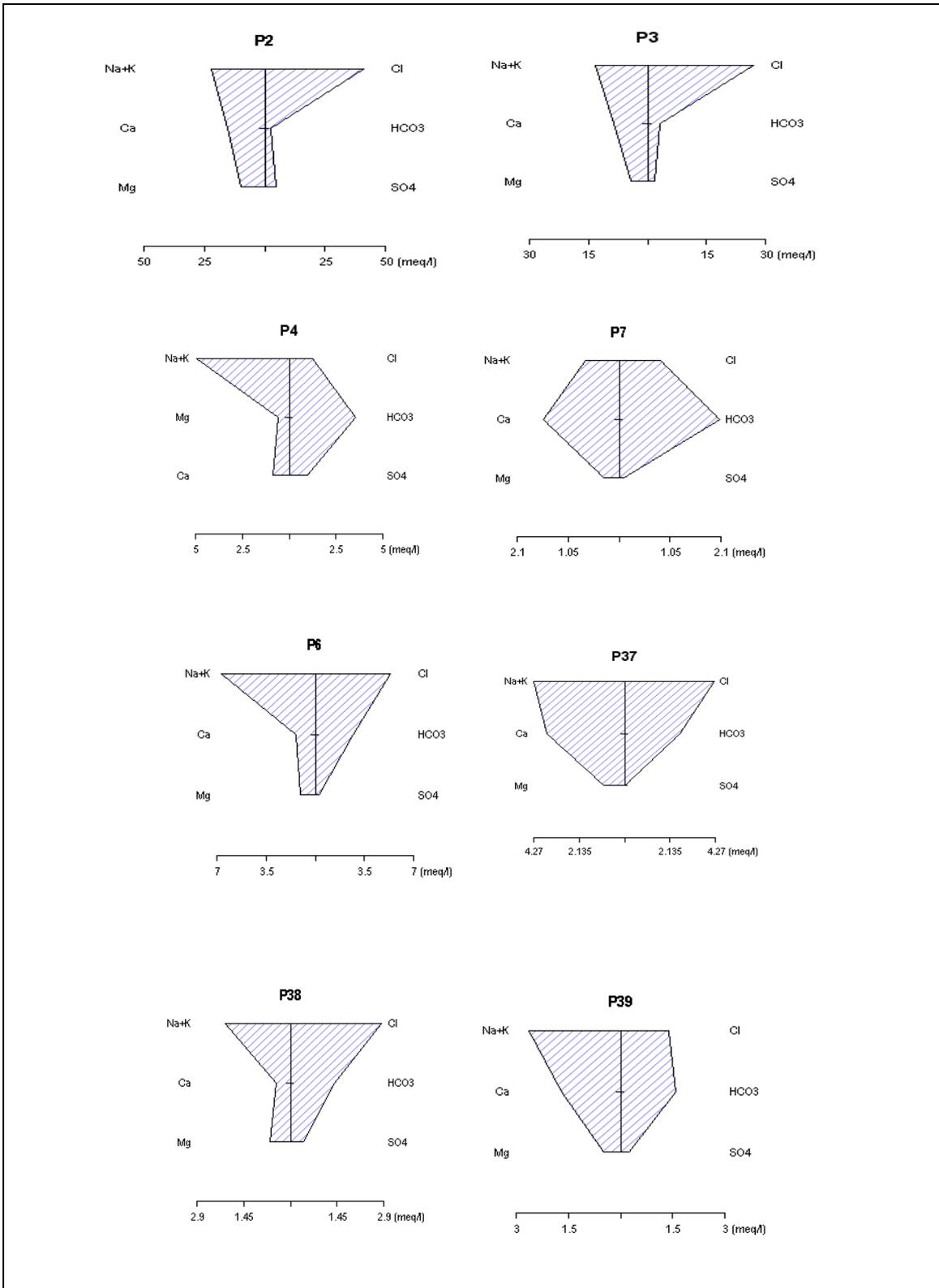
Profundidad (m)	Litologías
0-1	Suelo limoso
1-6	Limo
6-7	Ar limosa
7-8	Ar media limosa
8-10	Ar media con gravas gruesas
10-11	Idem anterior con ar fina
11-14	Ar muy fina, con ar media a gruesa.
14-15	Idem anterior menos consolidada
15-18	Idem anterior orange
18-21	Idem 14-15
21-24	Ar muy fina a media con cantos rodados
24-25	Ac gris

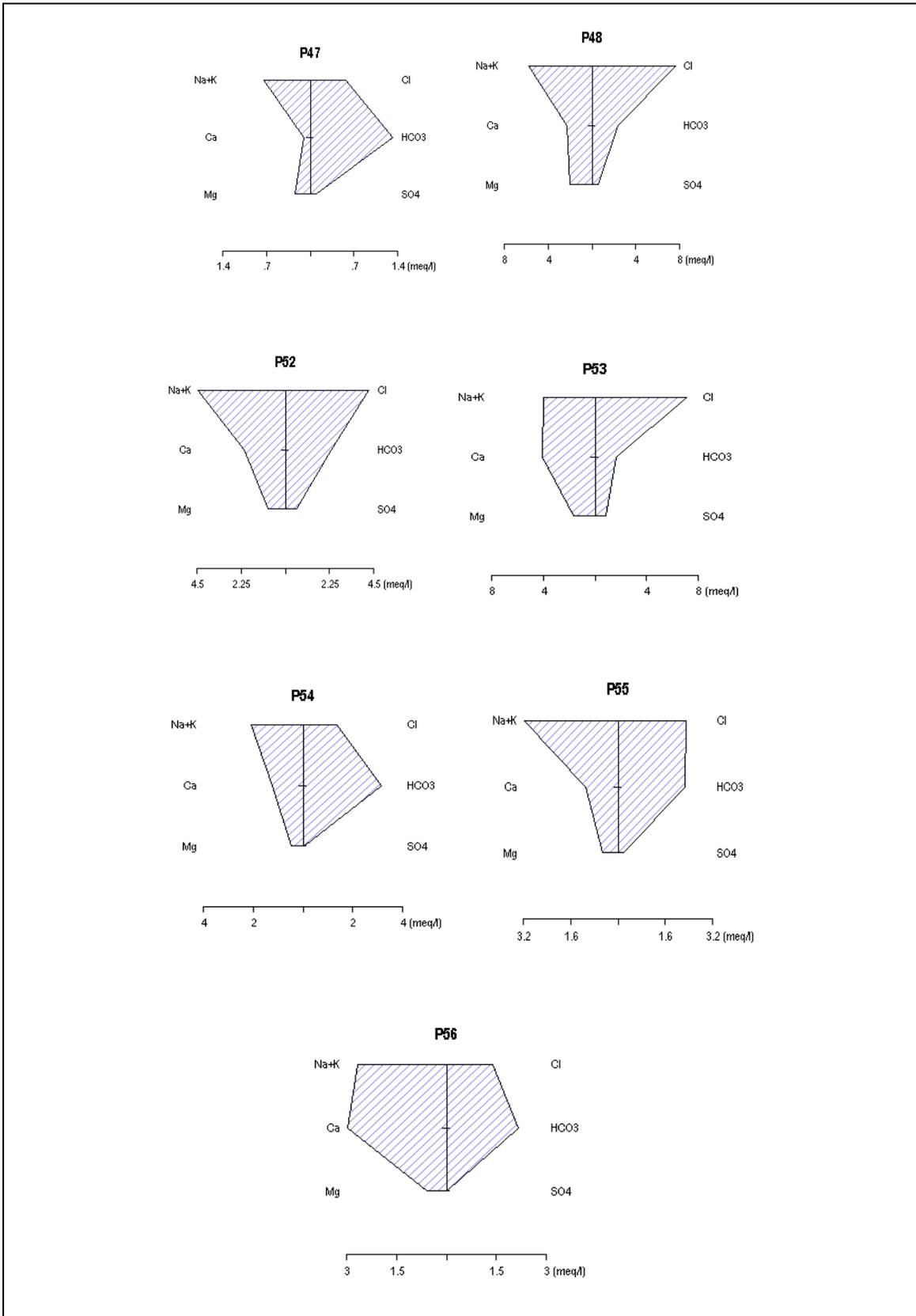
13.3.42 Perforación P28, La Paloma, Rocha.

Profundidad (m)	Litologías
0-3	Ar fina a media Qzo – Fd con ac rojiza
3-4	Ar media Qzo – Fd redondeada
5-9	Ar fina Qzo – Fd arcillosa gris
9-12	Ar fina Qzo con arcilla escasa
12-12.70	Ar fina Qzo-Fd arcillosa gris
12.70	Ar muy fina arcillosa

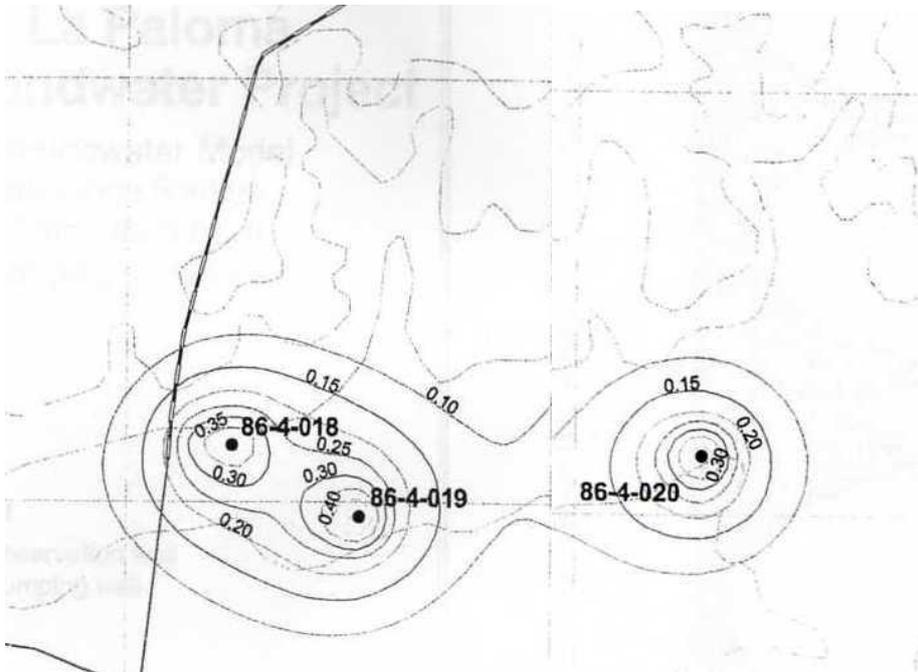
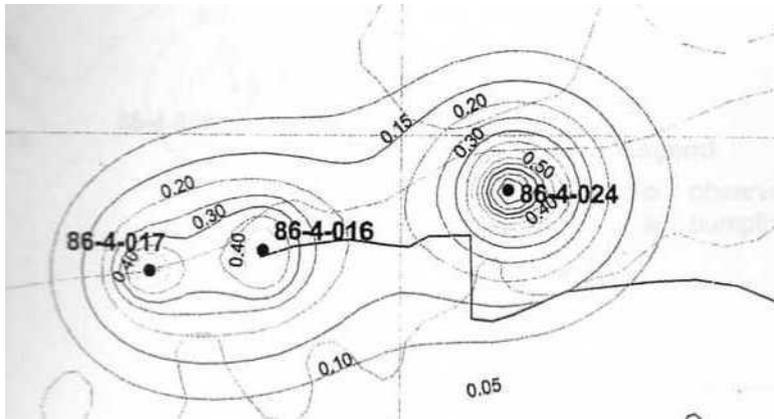
Ac/ac: Grano tamaño arcilla
 Ar/ar: Grano tamaño arena
 G/g: Conglomerado
 Qzo: Cuarzo o cuarzoso
 Txt: Textura
 Fd: Feldespato
 FeO: Oxido de Hierro

13.4. Diagramas de Stiff, La Paloma, Rocha.

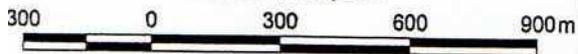




13.5 Modelos de Radio de Influencia calculado del Ensayo de Bombeo, La Virazón y La Serena. SWECO VBB VIAK 2001.



Scale 1:15,000



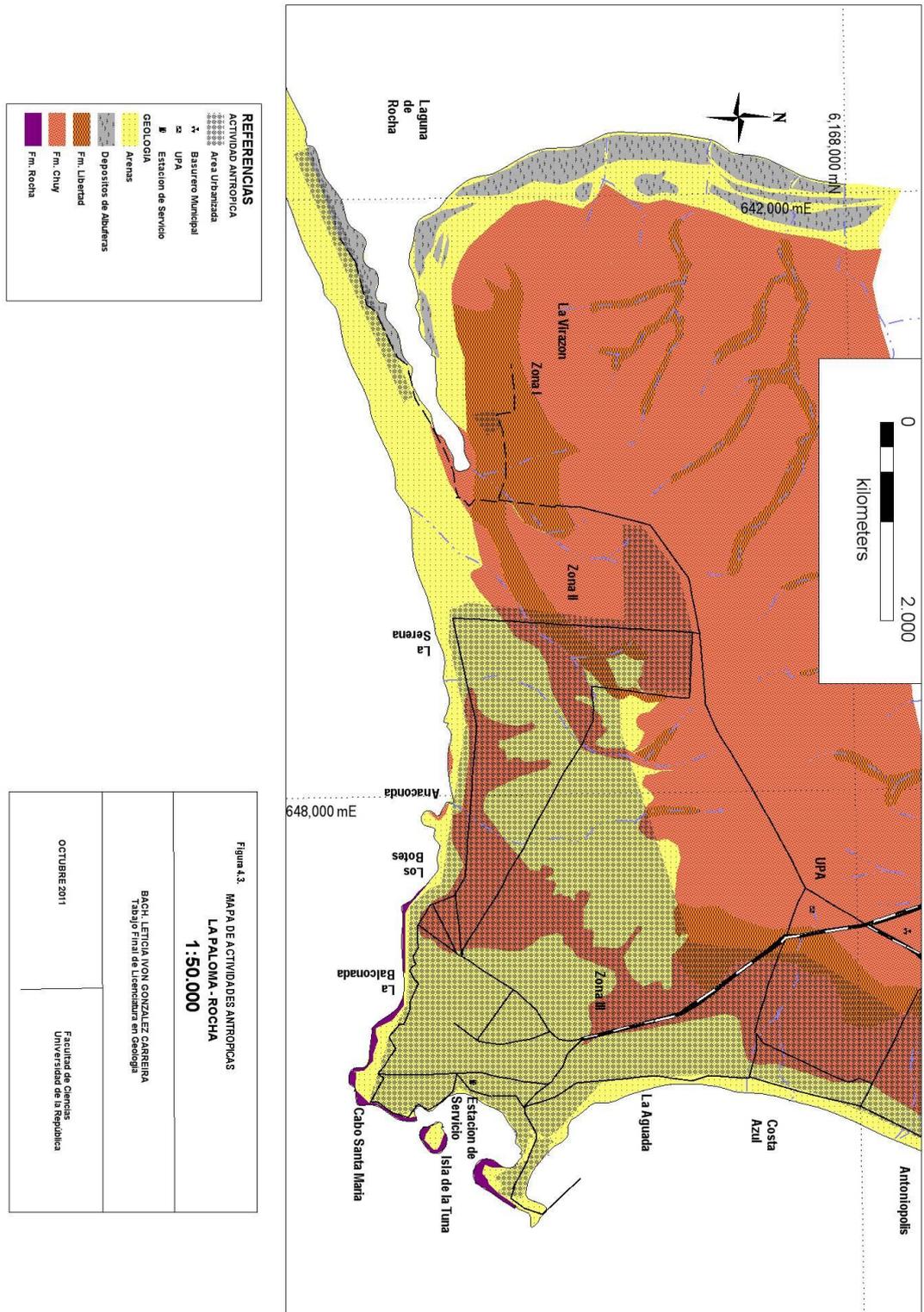
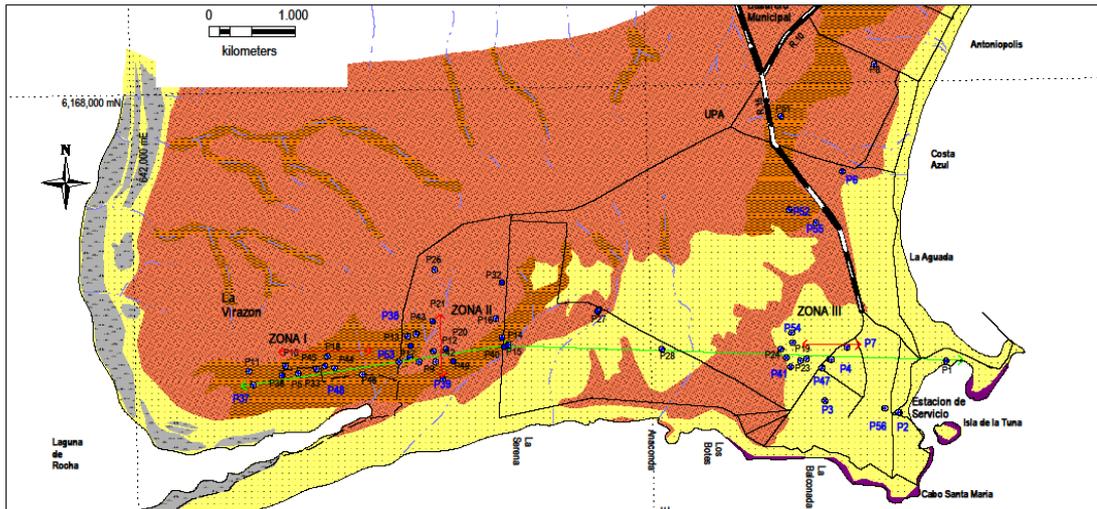


Figura 4.3
**MAPA DE ACTIVIDADES ANTROPICAS
 LA PALOMA - ROCHA
 1:50.000**

BACH. LETICIA IVON GONZALEZ CARREIRA
 Trabajo Final de Licenciatura en Geología

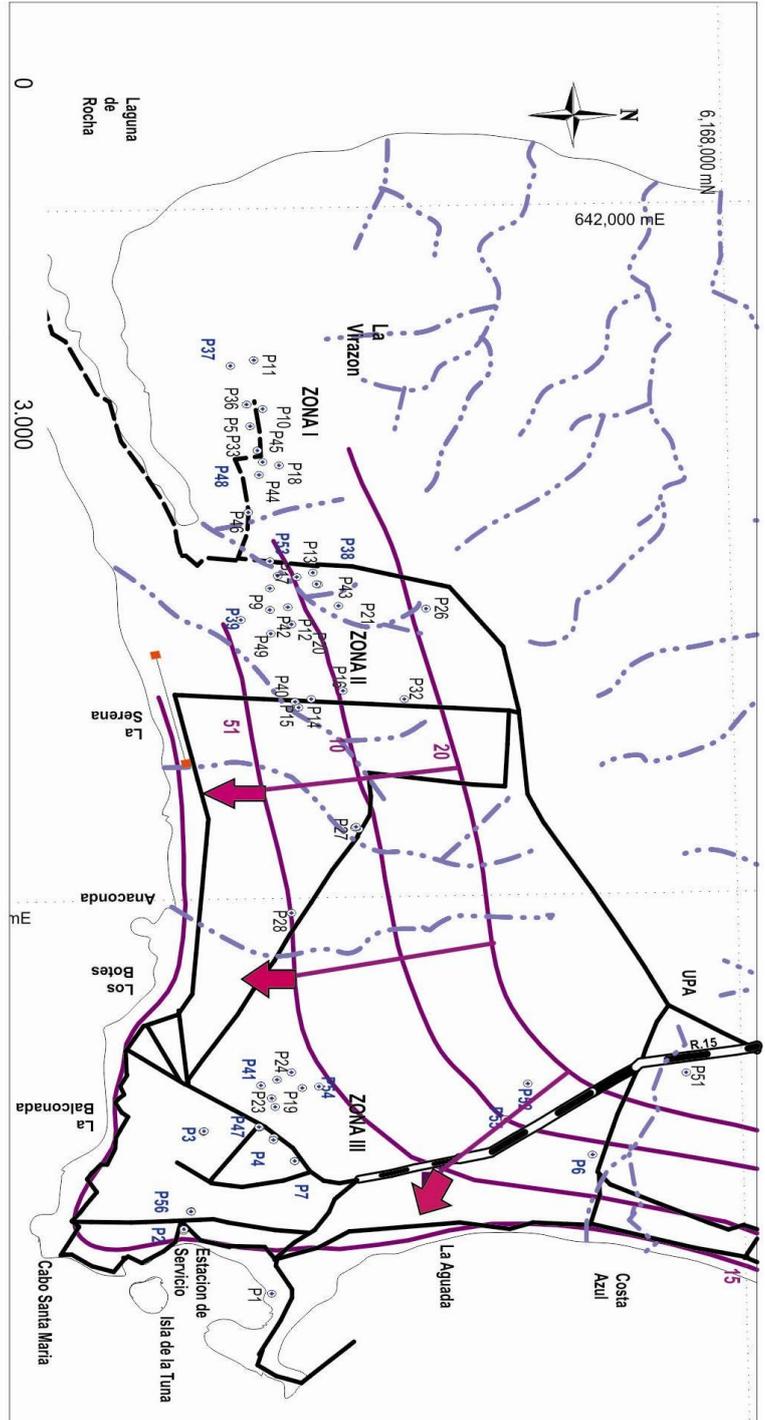
OCTUBRE 2011

Facultad de Ciencias
 Universidad de la República



REFERENCIAS	
LITOLOGIAS	
	Depositos de Arenas (Holoceno)
	Depositos de Albufaras (Holoceno)
	Fm. Libertad (Pleistoceno)
	Fm. Chuy (Pleistoceno)
	Fm. Rocha (Precambrico)
	Perforaciones
	Corte W-E
	Corte Zona I, Zona II y Zona III

FOURERA S.A.	MAPA GEOLOGICO LA PALOMA - ROCHA 1:50.000
BACH. LETICIA IVON GONZALEZ CARRERA Trabajo Final de Licenciatura en Geología	
OCTUBRE 2011	Facultad de Ciencias Universidad de la Republica



BACH. LETICIA IVON GONZALEZ CARRERA Trabajo Final de Licenciatura en Geología	
OCTUBRE 2011	Facultad de Ciencias Universidad de la Republica

