

HIDROGEOLOGÍA
en el ÁREA de INFLUENCIA
de los PADRONES 2819 y 6184
del Departamento de Rivera

Informe realizado a solicitud de
ABORGAMA - DUCELIT S.A.

Febrero de 2019

1. Introducción

El informe que se presenta, se confeccionó a pedido de la firma ABORGAMA - DUCELIT S.A., para evaluar la hidrogeología de los predios padrones N° 2819 y 6184 del departamento de Rivera, sobre los cuales se desarrollará el proyecto de Disposición Final de Residuos Domiciliarios de la ciudad de Rivera.

2. Objetivo

Este trabajo tiene como principal objetivo dar soporte a través de la geología e hidrogeología a los trabajos de ingeniería en el diseño del Sitio de Disposición Final de Residuos de la ciudad de Rivera (SDFR).

En una zona donde afloran las rocas que constituyen el acuífero de la región, se procedió a realizar un bosquejo de la geología del área, como primer etapa de trabajo.

Una vez en conocimiento de la geología de los predios se procedió de definir puntos para la construcción de pozos de monitoreo piezométrico, a los efectos de tener los niveles de agua para definir la dirección del flujo local.

Además, con los datos aportados por los pozos piezómetros, se realizó una evaluación de la conformación geológica en subsuperficie, para ello se contó con las muestras de los materiales atravesados por las perforaciones.

3. Metodología de trabajo

La realización del presente trabajo se llevó adelante en las siguientes etapas:

- Revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos realizados en el área
- Confección de un bosquejo geológico en gabinete
- Visita de campo a los efectos de verificar la geología y marcar los puntos para realizar los pozos piezómetros
- Realización de pozo piezómetros y toma de muestras de materiales atravesados
- Visita de campo para medidas de niveles estáticos, revisión de la geología y descripción de muestras de perforación
- Análisis de la información y confección de informe final

4. Geología

4.a. Estratigrafía

La estratigrafía en del área es sumamente simple, encontrándose discriminada en tres unidades litoestratigráficas diferentes (de la cima a la base).

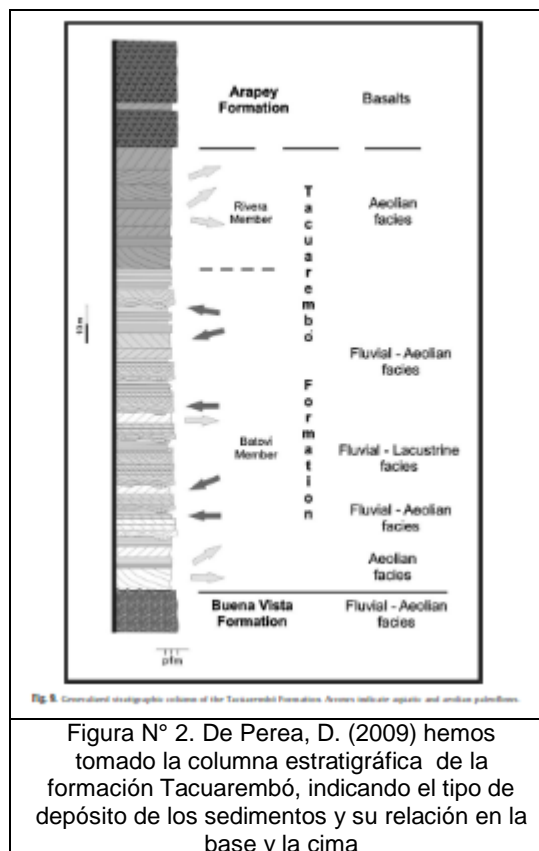
- a. Reciente - Sedimentos Cuaternarios*
- b. Formación Arapey*
- c. Formación Tacuarembó, Miembro Inferior - Miembro Batoví*
- d. Formación Tacuarembó, Miembro Superior - Miembro Rivera*

En la figura N°9 se muestra el mapa geológico confeccionado para este trabajo, en el mismo no se expresan los sedimentos del Miembro Batoví de la formación Tacuarembó, ya que el mismo no aflora en el área.

Edad	Uruguay	Brasil	Espesor aproximado*
K inf	Fm. Arapey	Fm. Serra Geral	100 m parcial.
J sup- K inf	Fm. Tacuarembó Miembro Superior	Fm. Botucatú	100 m
	Fm. Tacuarembó Miembro Inferior	Fm. Guará	80 m.parcial

Figura N° 1. Estratigrafía y espesores estimados de las principales formaciones geológicas del área

En este trabajo utilizaremos la propuesta de Perea, D. et al (2009). Estos autores proponen la siguiente columna para la región:



4.b. Descripción de las formaciones geológicas

Se expondrán solamente las características de las unidades geológicas Tacuarembó, Arapey y Reciente, realizando la descripción de la cima a la base.

4.b.a. Reciente - Sedimentos Cuaternarios

Son depósitos fluviales, localizados en las inmediaciones de los cursos de agua. Están constituidos por arenas finas, con escasa a nula matriz arcillosa, fundamentalmente cuarzosa.

Lo existen sondeos realizados sobre estos depósitos, se estima que su espesor no sobrepase los 6 a 8 metros. Los mismos se localizan en los valles de los curso de aguas superficiales y sus planicies de inundación

Su composición litológica proviene de los sedimentos erosionados de las formaciones suprayacentes.

4.b.b. *Formación Arapey*

Está constituida por basaltos toleíticos, algunos de los cuales contienen niveles vesiculares, generados durante las efusiones que se produjeron a partir del Cretácico inferior en la región, y que cubrieron los depósitos eólicos.

Generalmente no presenta afloramientos naturales de buena calidad, y las mejores secciones expuestas se presentan en las “canteras” que existen en la zona, de donde se extrae material para áridos.

Por otra parte se puede observar que esta unidad basáltica presenta intercalaciones arenosas, las cuales tienen las mismas características que las facies de dunas eólicas infrayacentes.

Esta formación no se presenta en los predios en estudios, observándose si, en los alrededores, en elevaciones tales como Cerro Bonito, Cerro Carancho y Cerro de los Chivos.

4.a.c. *Formación Tacuarembó Miembro Rivera*

Se trata de cuerpos arenosos de origen eólico, generalmente con coloraciones rojizas, de grano fino a muy fino, con muy buena selección, y con predominancia casi exclusiva de estratificación entrecruzada cuneiforme de gran escala, indicando una asociación de facies típicas de dunas eólicas.

En algunas partes inferiores pueden presentarse algunas areniscas con estructuras entrecruzadas de mediana escala y en menor medida aparecen facies de sandsheets con estructuras entrecruzadas de bajo ángulo.

El Miembro Rivera de la formación Tacuarembó se apoya de manera gradual sobre el Miembro Batoví y es cubierta por la Formación Arapey.

Esta última relación muestra que si bien el pasaje entre las litologías es neto, (areniscas – basaltos) los procesos eólicos y volcánicos continúan funcionando simultáneamente y por ello se preservan dentro de las coladas basálticas niveles arenosos de origen eólico, conocidos como intertraps.

La posición de los dos miembros en los que se separa la Formación Tacuarembó en el mapa geológico tiene una íntima relación con la topografía y posible paleogeografía.

4.a.d. *Formación Tacuarembó Miembro Batoví*

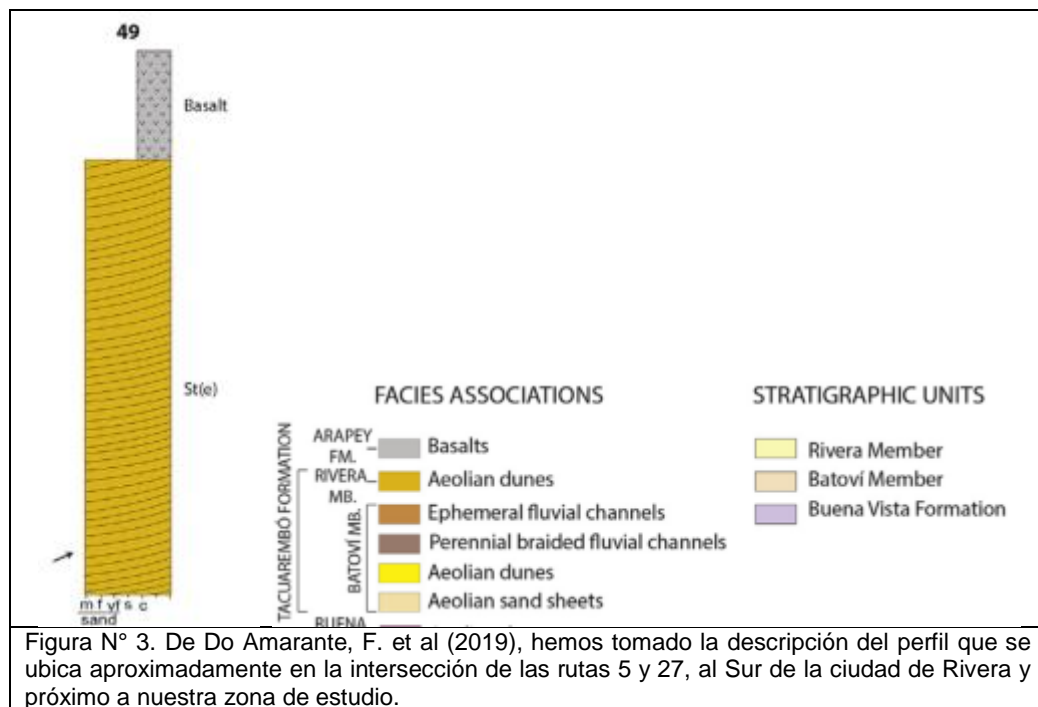
Esta unidad, datada en el límite Jurocretácico, está compuesta por areniscas finas, muy finas, vaques y limonitas en varias facies que se intercalan lateral y verticalmente, generalmente con coloraciones claras o amarillentas.

Por encima de está lo cubre transicionalmente el Miembro Superior de Fm. Tacuarembó

Presenta facies arenosas finas con estratificación entrecruzada en artesas y de bajo ángulo, de mediana a pequeña escala, correspondientes a ambientes dunas eólicas y

sandsheet, con intercalaciones de delgados bancos de vaques y limos, algunos laminados, de interdunas tipo playa lake o depresiones interfluviales.

Además intercaladas entre las facies principalmente eólicas se distinguen bancos arenosos con algunas estructuras en artesas y presencia de intraclastos pelíticos.



5. Hidrogeología

Para la del funcionamiento comprensión del sistema de flujo del agua subterránea dentro del área piloto, se desarrolló un modelo conceptual que se extiende sobre un área más extensa que el área piloto Rivera-Santana do Livramento. El modelo conceptual sub-regional desarrollado se extiende desde el *área de recarga dentro del área piloto*, hasta unos 300 km al oeste. En la figura N° 4, se muestra la sección transversal esquemática, tomada del informe de SNC-Lavalin International, para el Proyecto SAG.

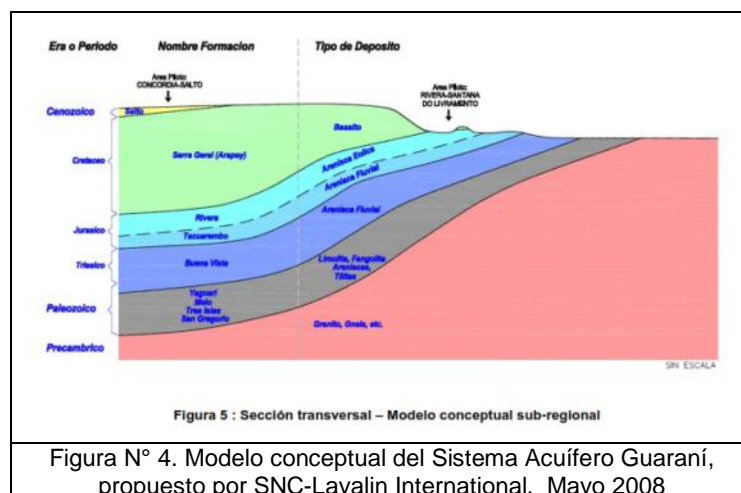


Figura N° 4. Modelo conceptual del Sistema Acuífero Guaraní, propuesto por SNC-Lavalin International, Mayo 2008

5.a. Modelo conceptual del área piloto Rivera-Santana do Livramento

La capa superior, desde el punto de vista hidrogeológico, es la formación Arapey constituida por flujos de basalto que se encuentra en la porción noroeste del área. Esta unidad se comporta como una capa de baja permeabilidad, aunque cerca de los bordes del afloramiento está fracturada y meteorizada, donde se comporta como un acuífero superficial fracturado.

La formación Tacuarembó, Miembro Rivera yace debajo del basalto o aflora. Donde ésta unidad aflora el acuífero es libre y cuando subyace al basalto es un acuífero confinado. Es la porción más permeable del SAG, debido a su naturaleza de areniscas eólicas de grano medio bien clasificadas.

La siguiente unidad en la secuencia es el Miembro Batoví de la formación Tacuarembó, que dependiendo del sitio, es un acuífero libre o confinado. Estos depósitos se tornan levemente menos permeables, ya que se incrementan los componentes de limo y arcilla, estos fueron depositadas en un ambiente fluvial y fluvial eólico.

En resumen, se puede considerar que la hidroestratigrafía del área Rivera-Santana do Livramento consiste de las siguientes unidades:

- ✓ Capa basáltica (inactiva – esencialmente un acuícludo)
- ✓ Areniscas jurásicas – Formación Tacuarembó – (acuífero principal)

5.b. Direcciones de flujo subterráneo

Teniendo en consideración lo expuesto en el punto anterior, dependiendo de la escala de trabajo el comportamiento del las direcciones de flujo se puede interpretar de diferentes maneras.

A partir del Mapa del Sistema Acuífero Guaraní en Uruguay a escala 1/1000000 de la DINAMIGE (Figura N° 5), se puede observar que las direcciones del flujo subterráneo tienen una componente Noreste-Suroeste.

Ahora bien, si consideramos lo expresado en el Mapa Piezométrico del Sistema Acuífero Guaraní en el Piloto Rivera - Santana do Livramento, realizado por SNC-Lavalin International (Figura N° 6), el comportamiento del flujo subterráneo tiene componente en el área del proyecto del SDFR, Oeste-Este.

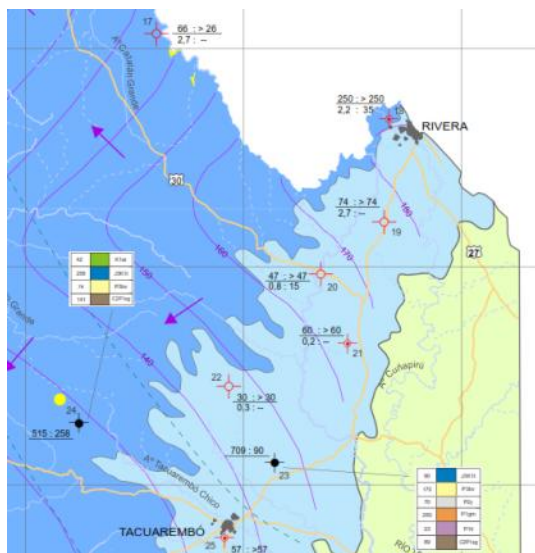


Figura N° 5. Mapa del Sistema Acuífero Guaraní en Uruguay (parte), DINAMIGE, agosto de 2017

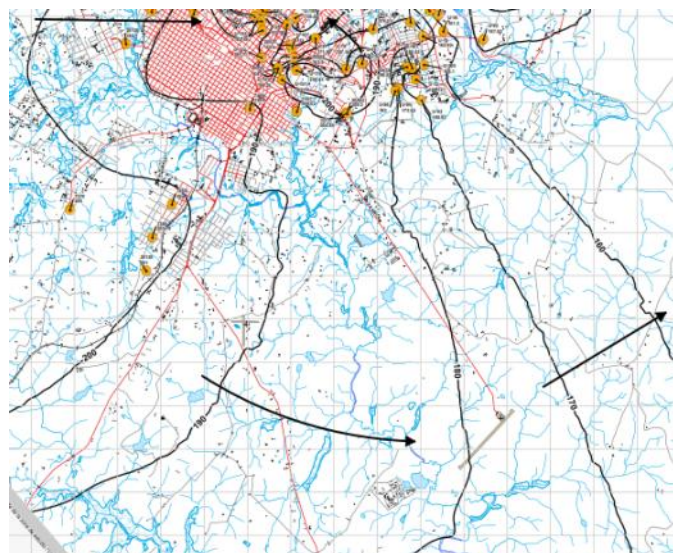


Figura N° 6. Mapa Piezométrico del Sistema Acuífero Guaraní en el Piloto Rivera-Santana do Livramento (parte), SNC-Lavalin International, mayo de 2008

A los efectos de obtener una mejor definición de la direcciones de flujo dentro del área del SDFR, se construyeron 5 pozos piezómetros que han sido utilizados para determinar la profundidad del nivel estático del agua subterránea, tener información de la geología en subsuperficie y localizar niveles de aporte de agua en los mismos.

La ubicación e información relevante para este trabajo se muestran en la figura N° 7.

Pozo	X	Y	Z	Prof. (m)	NE (m)	CNE (m)	Prof. de aportes (m)	Qest (l/h)
1	637290	6570893	220	10	2.75	217.25	3 y 6	500
2	637049	6570706	200	10	2.20	197.80	2, 5 y 9	2500
3	637608	6571277	223	10	6.14	216.86	2 y 10	300
4	637456	6571168	217	10	3.50	213.50	3 y 8	300
5	637387	6571273	207	10	1.93	205.07	6	1000

Nota:

Coordenasa X e Y en UTM 21 WGS 84

Coordenada Z, extrapolada de curvas del SGM

Prof. (m): profundidad del pozo

NE (m): Nivel Estático, CNE(m): Cota del Nivel Estático

Prof. de aportes (m): profundidad de los niveles de aporte de agua

Qest (l/h): Caudal estimado delos aportes de agua

Figura N° 7. Cuadro de localización e información relevante de los pozos construidos

En la figura N° 11 se puede observar la piezometría interpretada con la información recogida en la construcción de los piezómetros. En la figura N° 12 se muestra un corte WE donde se indica la ubicación del nivel estático del agua en el acuífero.

Como se puede observar se tiene una dirección del flujo subterráneo WE variando a NW-SE al Sur del predio. El gradiente (i) es mayor en la zona de la primer celda, siendo menor al Sur del predio.

5.c. Conductividad hidráulica

La firma SNC-Lavalin International, desarrollo para el Piloto Rivera - Santana do Livramento, un modelo matemático a los efectos de simular el comportamiento del mismo y predecir su comportamiento.

Para el desarrollo de este se utilizaron los siguientes parámetros de conductividad hidráulica:

Unidad Geológica	K_h (m/d)	K_v (m/d)
Tacuarembó Superior	2.7	0.27
Tacuarembó Inferior	1.99	0.199
Kh= conductividad hidráulica horizontal, Kv= conductividad hidráulica vertical		
Figura N° 8. Cuadro de conductividad hidráulica		

5.d. Recarga del acuífero

Teniendo en cuenta que las unidades geológicas se encuentra a nivel de superficie dentro de grandes sectores del área, y que estos depósitos presentan una alta permeabilidad es que permiten una recarga directa, por la precipitación.

La recarga local, a través de la superficie arenosa, proporciona una parte importante del flujo disponible. En otros sitios donde el acuífero yace debajo de los basalto, la recarga del acuífero por precipitaciones es baja. Para la corrida del modelo matemático del Piloto Rivera-Santana do Livramento se tomaron como valores de recarga 22 mm para el área cubierta por basaltos y 157 mm cuando la formación Tacuarembó está expuesta.

5.e. Evaluación del volumen del flujo subterráneo

La evaluación de la cantidad de agua que se mueve por el acuífero es un dato importante a los efectos de la implantación del SDFR. La determinación del mismo se puede obtener a partir de la Ley o ecuación de Darcy, en forma aproximada.

La misma expresa

$$Q = K \times A \times \frac{(h_1 - h_2)}{L}$$

$$i = \frac{(h_1 - h_2)}{L}$$

$$Q = K \times A \times i$$

Donde:

Q: caudal m³/día K: conductividad hidráulica A: área que atraviesa el flujo
h₁: carga hidráulica aguas arriba h₂: carga hidráulica aguas abajo
L: distancia entre líneas de potencial i: gradiente

Para la estimación en la zona de estudio hemos tomado los siguientes parámetros:

K: conductividad hidráulica	m/día	2.7
A: área que atraviesa el flujo	m ²	1
i: gradiente		0.06
Figura N° 9. Cuadro de parámetros		

En base a estos parámetros se obtiene un caudal de 0.162 m³/día para una frente de acuífero de 1 m².

Si asumimos una profundidad de excavación de 8 metros, con un espesor de saturación de 3 metros, se obtiene un caudal por metro lineal de frente de flujo de 0.468 m³/día.

Si tenemos en cuenta que la longitud del flujo dentro de la celda inicial (longitud de la línea de potencial media, CNE=208 m) es de 220 metros, se puede estimar un caudal de 103 m³/día, que estaría aportando el acuífero en ese frente.

A los efectos de tener una mejor interpretación de la piezometría en la zona de la celda 1, se presenta el corte esquemático de dirección aproximada EW (figura N° 12).

6. Conclusiones

- El principal acuífero en la región está compuesto por las areniscas del Miembro Rivera de la formación Tacuarembó, denominado Sistema Acuífero Guaraní.
- Las direcciones del flujo del agua subterránea a nivel del predio son de dirección y sentido predominante Oeste - Este.
- La conductividad hidráulica horizontal está en el entorno de 2.7 m/día, y la vertical varía entre 0.27 y 0.20.
- Una estimación del flujo de agua sobre un frente que abarca el ancho de la celda inicial, perpendicular a la dirección del mismo, está en el orden de 103 m³/día.
- En base a los pozos construidos se tiene que el nivel del agua se encuentra como máximo en 6 metros por debajo de la superficie del terreno, con un promedio de 3.30 metros.

7. Bibliografía consultada

DINAMIGE, Mapa del Sistema Acuífero Guaraní en Uruguay, escala 1/1000000, Agosto 2017

Do Amarante, Francyne, et al. Fluvial-eolian deposits of the Tacuarembó formation (Norte Basin – Uruguay): Depositional models and stratigraphic succession. Journal of South American Earth Sciences. Volumen 90 Paginas 355-376, Marzo 2019.

Feitosa, F., Hidrogeologia: conceitos e aplicações / Organização e coordenação científica Fernando Feitosa et al. CPRM, 2008.

P&T Consultores, Informe sobre Mapeo Geológico del Área Piloto Rivera – Santana do Livramento, para el proyecto "PROTECCIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE DEL SISTEMA ACUÍFERO GUARANÍ (SAG)", 2008

SNC-Lavalin International, HIDROGEOLOGÍA LOCAL DEL AREA PILOTO RIVERA-SANTANA DO LIVRAMENTO Sistema Acuífero Guaraní, Mayo de 2008

SNC-Lavalin International, MODELO NUMÉRICO HIDROGEOLOGICO DEL ÁREA PILOTO RIVERA-SANTANA, Mayo de 2008

Veroslavsky, Gerardo, Ubilla, Martín y Martínez, Sergio (editores). Cuencas Sedimentarias del Uruguay, Mesozoico. DIRAC-SUG, segunda edición, 2004



Roberto Carrión
Licenciado en Geología

ANEXOS

1. Mapa geológico

Figura N° 9. Mapa geológico del área del sitio de disposición final de residuos

2. Mapa de ubicación de pozos piezómetros

Figura N° 10. Mapa de ubicación de pozos piezómetros

3. Mapa con direcciones de flujo en el predio

Figura N° 11. Mapa de curvas piezométricas

4. Corte esquemático con indicación del nivel estático del agua

Figura N° 12. Corte esquemático WE en la zona de la celda 1, con indicación del nivel estático del agua

5. Informe de la empresa perforadora

1. Mapa geológico

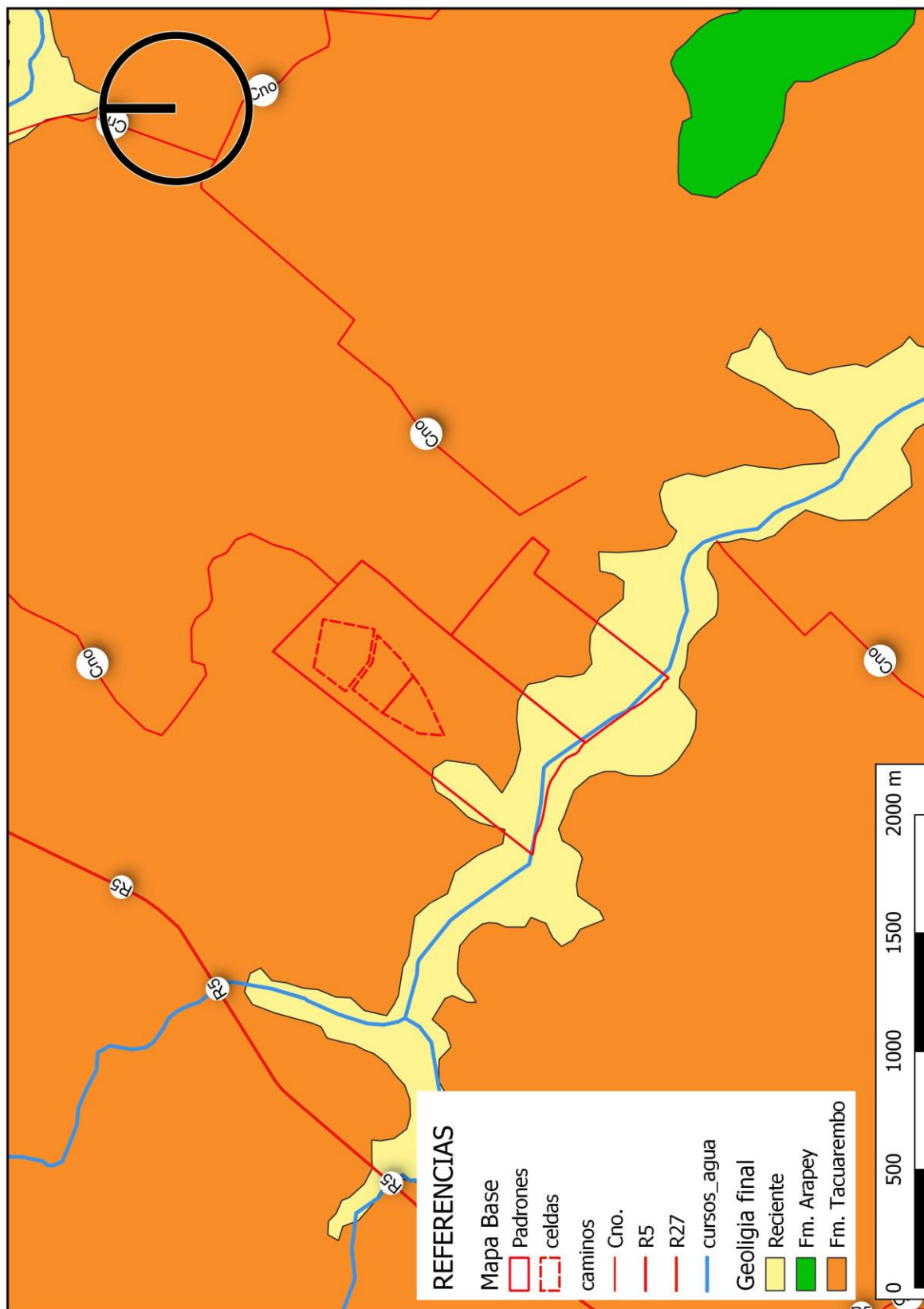


Figura N° 9. Mapa geológico del área del sitio de disposición final de residuos

2. Mapa de ubicación de pozos piezómetros

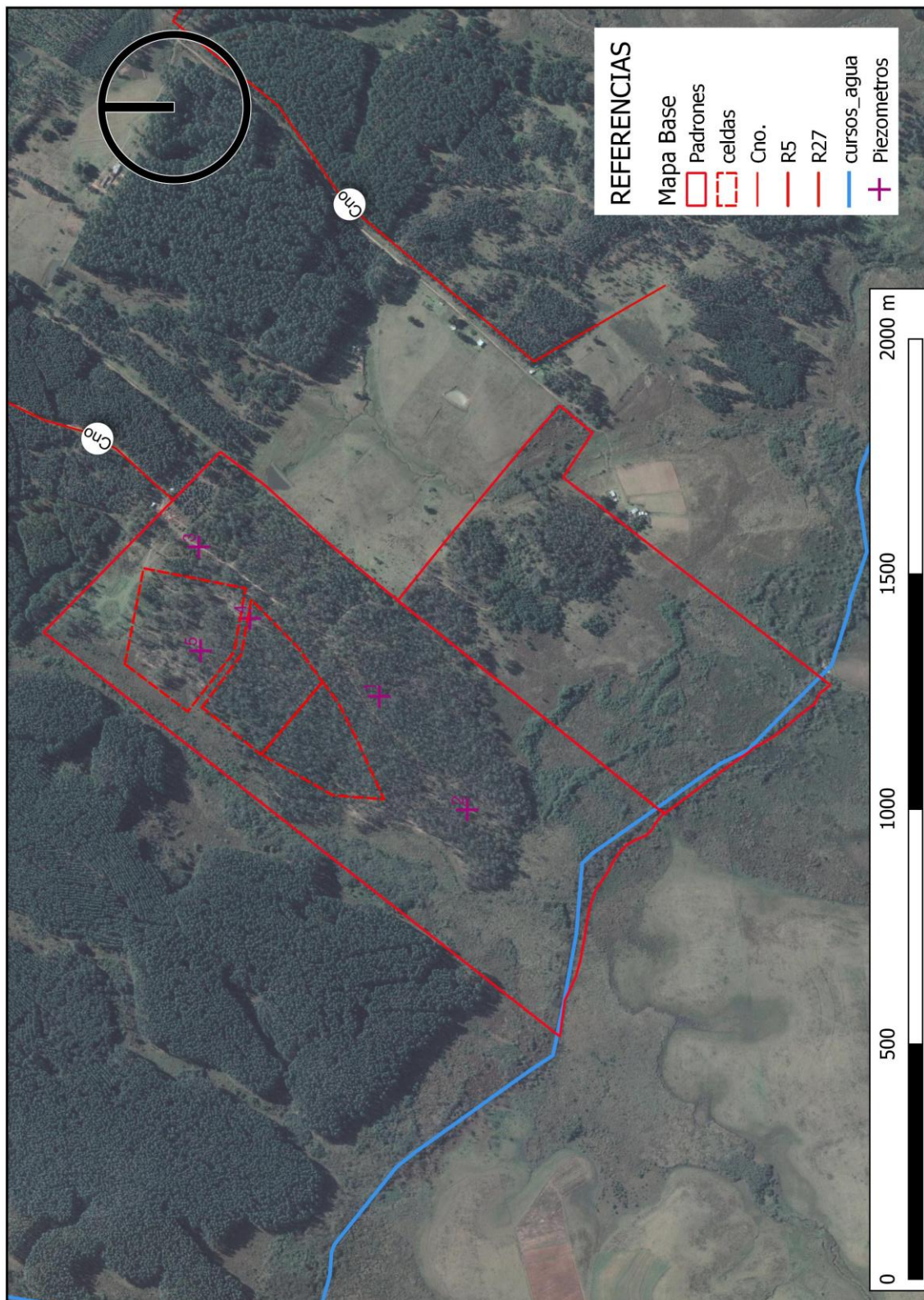


Figura N° 10. Mapa de ubicación de pozos piezómetros

3. Mapa con direcciones de flujo en el predio

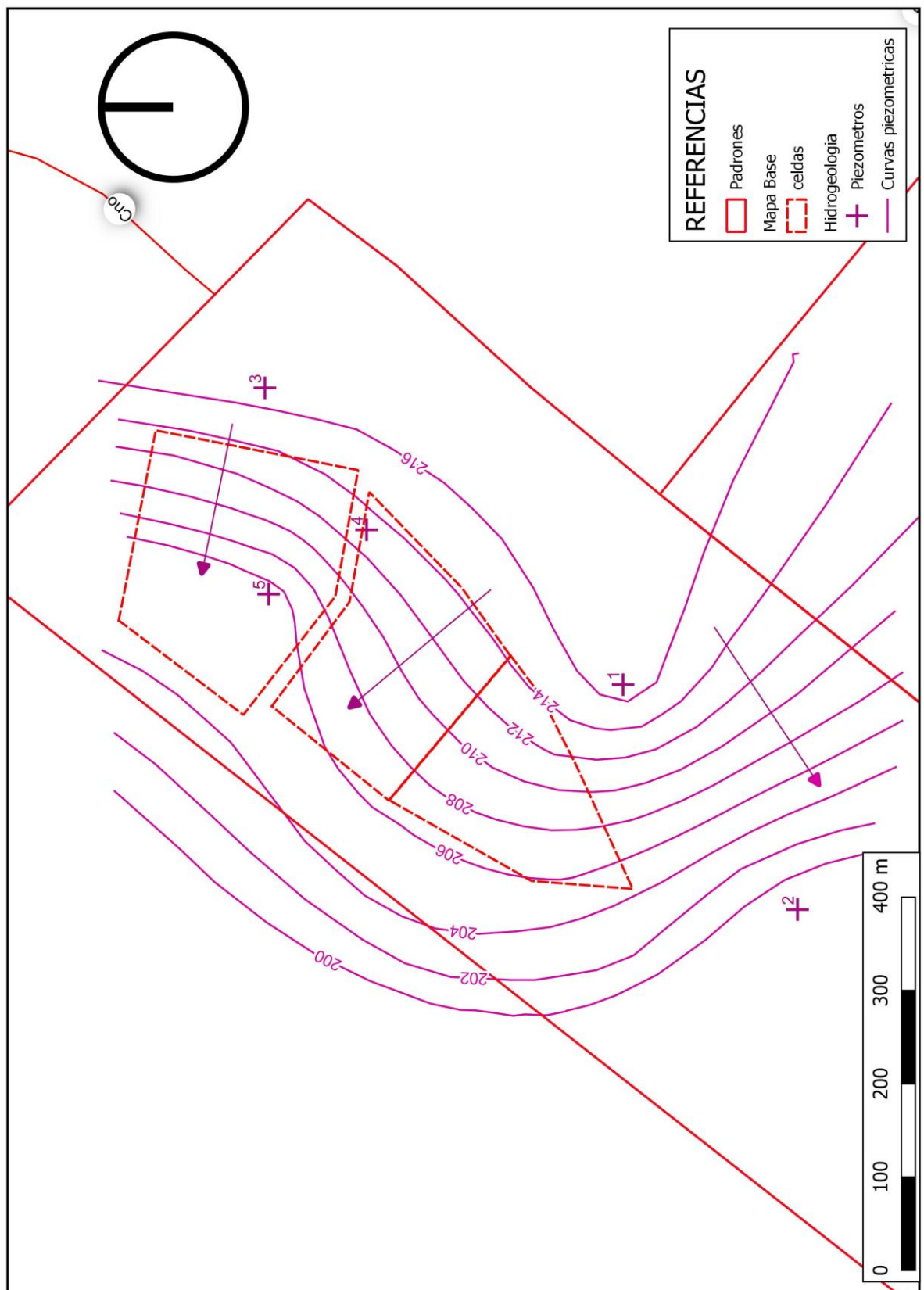


Figura N° 11. Mapa de curvas piezométricas

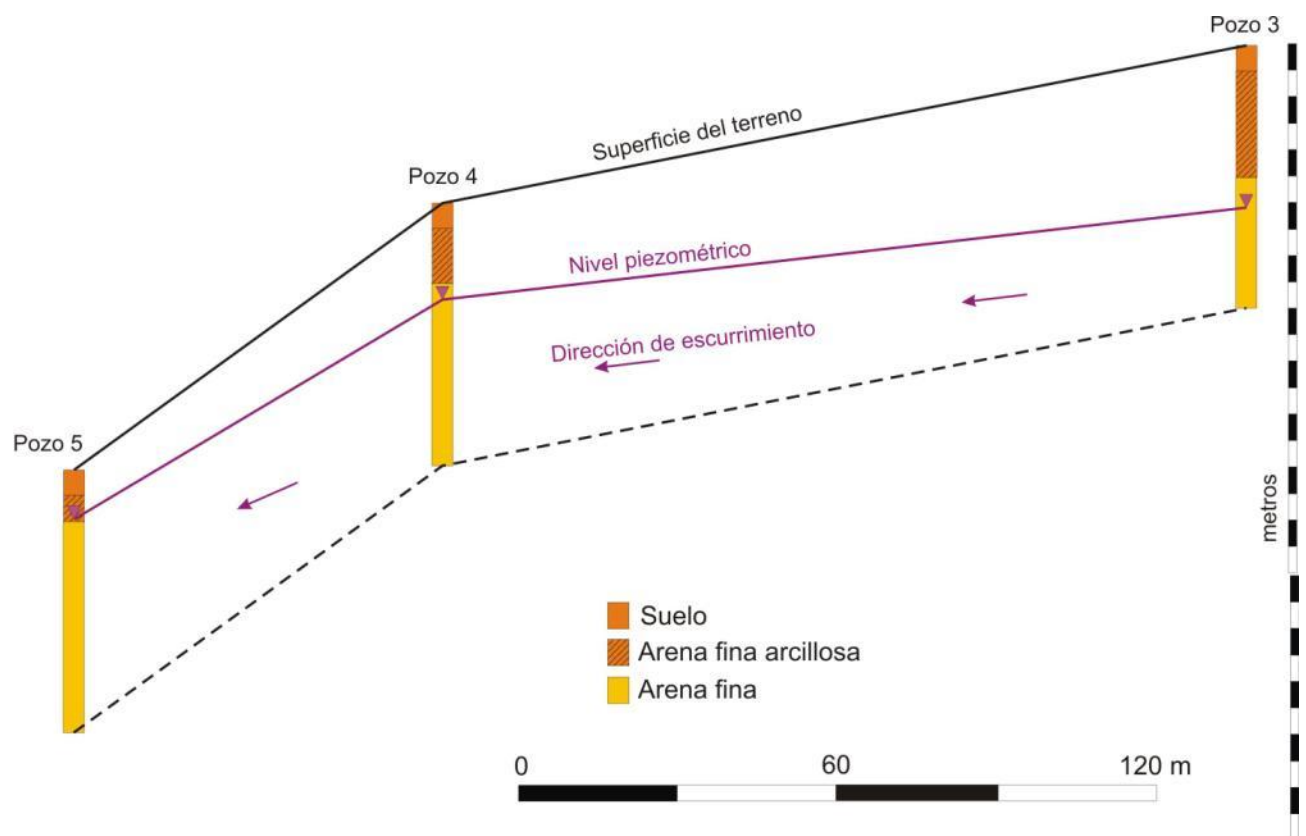


Figura N° 12. Corte esquemático WE en la zona de la celda 1, con indicación del nivel estático del agua

4. Informe de la empresa perforadora



Geo HIDROLOGÍA - PERFORACIONES

Aguas Subterráneas Ltda.



PROYECTO: **PERFORACION DE PIEZOMETROS**
 PARAJE: **A° CURTICEIRAS**
 DEPARTAMENTO: **RIVERA**
 SOLICITADO POR: **ABORGAMA**

PIEZOMETRO 1

Denominación	Position	X	Y
PIEZOMETRO 1	21 J 637289 6570897	637289	6570897

-Profundidad.....	10.00 m.
-Diámetros de perforación.....	De 0.00 a 3.00 m: 9".
	De 3.00 a 10.00 m: 5 7/8".
-Tuberías.....	PVC PN6 (110 x 3.2) de 0.40 a 10.00 m.
-Filtros.....	FILTRO 1: De 2.0 a 4.00 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.)
	FILTRO 2: De 7.0 a 10.00 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.)
-Prefiltro.....	Grava de 3 a 5 mm., entre 1.0 y 10.0 m.
-Sello sanitario.....	Pasta de arena – cemento, entre 0.0 y 1.0 m.
-Losa sanitaria.....	Hormigón 0.40 x 0.40 x 0.15 m.
-NIVELES DE APORTE DE AGUA: 1- 3.0 m (200 l/h)	
2- 6.0 m (500 l/h)	

PIEZOMETRO 2

Denominación	Position	X	Y
PIEZOMETRO 2	21 J 637051 6570736	637051	6570736

-Profundidad.....	10.00 m.
-Diámetros de perforación.....	De 0.00 a 3.00 m: 9".
	De 3.00 a 10.00 m: 5 7/8".
-Tuberías.....	PVC PN6 (110 x 3.2) de 0.40 a 10.00 m.
-Filtros.....	FILTRO 1: De 2.0 a 3.00 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.)
	FILTRO 2: De 5.0 a 9.50 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.)
-Prefiltro.....	Grava de 3 a 5 mm., entre 1.0 y 10.0 m.
-Sello sanitario.....	Pasta de arena – cemento, entre 0.0 y 1.0 m.
-Losa sanitaria.....	Hormigón 0.40 x 0.40 x 0.15 m.
-NIVELES DE APORTE DE AGUA: 1- 2.0 m (100 l/h)	
2- 5.0 m (1.500 l/h)	
3- 9.0 m (2.500 l/h)	

Desde	Hasta	PERFIL LITOLOGICO
0.00	1.00	Suelo y sedimentos arenosos finos a medios, arcillosos, no consolidados, pardo oscuro
1.00	3.00	Sedimentos arenosos finos a medios, arcillosos, no consolidados, pardo claro
3.00	6.00	Arenisca fina a media, arcillosa, litificada, friable, de tonalidad ocre.
6.00	10.00	Arenisca fina arcillosa, litificada, friable, de tonalidad beige.



Geo HIDROLOGIA - PERFORACIONES

Aguas Subterráneas Ltda.



PROYECTO: **PERFORACION DE PIEZOMETROS**
PARAJE: **A° CURTICEIRAS**
DEPARTAMENTO: **RIVERA**
SOLICITADO POR: **ABORGAMA**

PIEZOMETRO 3

Denominación	Position	X	Y
PIEZOMETRO 3	21 J 637454 6571169	637454	6571169

-Profundidad.....	10.00 m.
-Diámetros de perforación.....	De 0.00 a 3.00 m: 9". De 3.00 a 10.00 m: 5 7/8".
-Tuberías.....	PVC PN6 (110 x 3.2) de 0.40 a 10.00 m.
-Filtros.....	FILTRO 1: De 2.0 a 3.00 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.) FILTRO 2: De 7.0 a 10.00 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.)
-Prefiltro.....	Grava de 3 a 5 mm., entre 1.0 y 10.0 m.
-Sello sanitario.....	Pasta de arena – cemento, entre 0.0 y 1.0 m.
-Losa sanitaria.....	Hormigón 0.40 x 0.40 x 0.15 m.
-NIVELES DE APOORTE DE AGUA: 1- 2.0 m (100 l/h) 2- 10.0 m (200 l/h)	

PIEZOMETRO 4

Denominación	Position	X	Y
PIEZOMETRO 4	21 J 637307 6571277	637307	6571277

-Profundidad.....	10.00 m.
-Diámetros de perforación.....	De 0.00 a 3.00 m: 9". De 3.00 a 10.00 m: 5 7/8".
-Tuberías.....	PVC PN6 (110 x 3.2) de 0.40 a 10.00 m.
-Filtros.....	FILTRO 1: De 2.0 a 4.00 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.) FILTRO 2: De 7.0 a 10.00 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.)
-Prefiltro.....	Grava de 3 a 5 mm., entre 1.0 y 10.0 m.
-Sello sanitario.....	Pasta de arena – cemento, entre 0.0 y 1.0 m.
-Losa sanitaria.....	Hormigón 0.40 x 0.40 x 0.15 m.
-NIVELES DE APOORTE DE AGUA: 1- 3.0 m (100 l/h) 2- 8.0 m (200 l/h)	



Geo HIDROLOGIA - PERFORACIONES

Aguas Subterráneas Ltda.



PROYECTO: **PERFORACION DE PIEZOMETROS**
PARAJE: **A° CURTICEIRAS**
DEPARTAMENTO: **RIVERA**
SOLICITADO POR: **ABORGAMA**

PIEZOMETRO 5

Denominación	Position	X	Y
PIEZOMETRO 5	21 J 637390 6571277	637390	6571277

-Profundidad..... 10.00 m.
-Diámetros de perforación..... De 0.00 a 3.00 m: 9".
De 3.00 a 10.00 m: 5 7/8".
-Tuberías..... PVC PN6 (110 x 3.2) de 0.40 a 10.00 m.
-Filtros..... FILTRO 1: De 7.0 a 10.00 m. (Abertura de ranura 1.0 mm.)
- Prefiltro..... Grava de 3 a 5 mm., entre 1.0 y 10.0 m.
-Sello sanitario..... Pasta de arena - cemento, entre 0.0 y 1.0 m.
-Losa sanitaria..... Hormigón 0.40 x 0.40 x 0.15 m.
-NIVELES DE APORTE DE AGUA: 1- 6.0 m (1.000 l/h)

Ubicación de los piezómetros



-Equipo perforador: **GEOREX**
-Sistema de Perforacion: **ROTACION CON CIRCULACION DE AIRE**
-Herramienta de Perforacion: **Broca de tres alas (TRIPALA)**
-Fecha final de Obras: **8-02-19**

Por Geo Agua Subterránea Ltda. **Ricardo Royol**
Av. Manuel Oribe 797. Rivera. ROU.

Tel: 4620-2515 / Telefax: 4622-2782 / 27099362

Cel: 099-825157

e-mail: geoagua.ltda@gmail.com / ricardaroyol@ndinet.com.uy

CROQUIS CONSTRUCTIVO GENERAL DE LOS 5 PIEZOMETROS

PROYECTO: PERFORACION DE PIEZOMETROS
PARAJE: A° CURTICEIRAS
DEPARTAMENTO: RIVERA
SOLICITADO POR: ABORGAMA

Croquis sin escala

