



## **TRABAJO FINAL DE LA LICENCIATURA EN GEOLOGIA**

“Geología de la región centro – norte del Departamento de Canelones: modelo geológico conceptual y su relación con la ocurrencia de aguas subterráneas”

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Abril 2019

Estudiante: Ana Valentina Ribero Delgado

Tutor: Dr. Gerardo Veroslavsky – Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias

Co-tutor: Mag. Alberto Manganelli – Centro Regional para la Gestión de Aguas Subterráneas en América Latina y el Caribe, CeReGAS

A Genaro y Alejandra...

## Agradecimientos

A mi tutor y co-tutor de tesis, Gerardo Veroslavsky y Alberto Manganelli por el apoyo y los consejos para realizar este trabajo.

A las instituciones que brindaron información de las perforaciones; DINAGUA (Dirección Nacional de Aguas), OSE (Obras Sanitarias del Estado), DINAMIGE (Dirección Nacional de Minería y Geología) y MEVIR (Comisión Honoraria Pro Erradicación de la Vivienda Rural Insalubre)

A Margarita Serra, Andrés Pérez, Valentina Pintos, Walter Heinzen, Lucía Samaniego, Luciano Gutiérrez por el apoyo en la búsqueda e interpretación de la información, así como en trabajo de campo.

A mamá, papá, Víctor, Aramis y abuela, familia incondicional que tanto amo

A Pablo y Salvador por el amor, el aguante y por ser la mejor compañía para todo.

A mis amigas y amigos de la vida que más que amigos son una segunda familia.

A mis compañeros de generación, por la buena onda, compañerismo y cariño.

Al grupo de estudio, Natalia Cabrera, Esteban Abelenda y Hugo Bonjour, así como mi compañero de Carto Gonzalo Bango “el Pichón”

A mis compañeras de trabajo Amalia Panizza, Matilde Saravia, Viveka Sabaj y Emma Fierro.

A los productores que abrieron las puertas de sus casas y prendieron las bombas de los pozos para realizar los muestreos.

# Contenido

<b>1. RESUMEN</b> .....	7
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	8
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	9
<b>2.1 Objetivo general</b> .....	9
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	9
<b>4. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	10
<b>4.1 Características Generales</b> .....	10
<b>4.2 Geomorfología</b> .....	11
<b>4.3 Red de drenaje</b> .....	11
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	12
<b>6. ANTECEDENTES</b> .....	15
<b>6.1 Geología Regional</b> .....	15
<b>6.2 Unidades geológicas presentes en el área</b> .....	16
6.2.1 <i>Formación Mígues (Cretácico Inferior)</i> .....	16
6.2.2 <i>Formación Mercedes (Cretácico Superior)</i> .....	17
6.2.3 <i>Formación Asencio (Cretácico Superior)</i> .....	18
6.2.4 <i>Formación Fray Bentos (Oligoceno Superior)</i> .....	20
6.2.5 <i>Formación Raigón (Plioceno-Pleistoceno)</i> .....	20
6.2.6 <i>Formación Libertad (Pleistoceno)</i> .....	21
6.2.7 <i>Formación Dolores (Pleistoceno Superior)</i> .....	22
<b>6.3 Cartografía</b> .....	23
<b>6.4 Hidrogeología</b> .....	28
<b>7. RESULTADOS</b> .....	30
<b>7.1 Geológicos y Cartográficos</b> .....	30
7.1.1 <i>Formaciones Geológicas</i> .....	30
7.1.2 <i>Mapa Geológico</i> .....	34
7.1.3 <i>Perfiles Geológicos</i> .....	36
7.1.4 <i>Cortes Geológicos</i> .....	40
<b>7.2 Rasgos Hidrogeológicos</b> .....	48
7.2.1 <i>Formación Mígues</i> .....	48
7.2.2 <i>Formación Mercedes Asencio</i> .....	50
<b>7.3 Hidrogeoquímica</b> .....	53
7.3.1 <i>Acuífero Mígues</i> .....	55

7.3.2 Acuífero Mercedes .....	61
7.3.3 Elementos Traza – Arsénico.....	67
<b>8. DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>68</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>74</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>77</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio (Sistema de coordenadas UTM zone 21S elipsoide WGS84).....	10
Figura 2: Carta geológica del área relevada por Bossi et al. (1999) .....	24
Figura 3: Zoom Carta geológica del área relevada por Bossi et al. (1999) en el área de estudio de este trabajo.....	25
Figura 4: Mapa geológico del departamento de Canelones (zoom en el área de estudio), escala 1/100.000. Spoturno et al. (2004). .....	27
Figura 5: Litologías de Formación Migue A) Arenas finas y limo-arcillas pardo-rojizas con niveles carbonaticos. B) conglomerados lenticulares intercalados con arcillas. C) niveles silicificados horizontales. D) Vista general de arenas finas y limo-arcillas pardo-rojizas con niveles carbonaticos .....	31
Figura 6: Litologías de Formación Raigón A) Niveles conglomerádicos intercalados con niveles arcillosos y arenosos. B) niveles conglomerádicos, clasto-soportados con disposición subhorizontal. C) Vista general del afloramiento, por encima de Fm Raigón se observa Fm Libertad .....	32
Figura 7: Litologías de Formación Libertad A) Vista general de Fm Libertad en cárcava. B) Contacto entre Fm Libertad y Raigón. C) Afloramiento de Fm Libertad en cárcava. D) arcillitas y limo-arcillitas marrones y grises. E) arcillitas y limo-arcillitas con presencia de concesiones de carbonato .....	33
<i>Figura 8: Mapa geológico elaborado para el área de estudio.....</i>	<i>35</i>
Figura 9: San Bautista A) Limoarcillitas pardo rosadas de Fm Fray Bentos a 71 m de profundidad. B) Contacto Fm Fray Bentos y Fm Mercedes-Asencio a 83 m de profundidad. C) Conglomerados cuarzosos de Fm Mercedes 94,5 m de profundidad. D) Contacto entre Fm Mercedes-Asencio y Fm Migue 96,5 m de profundidad. E) Limoarcillitas pardo-rojizas de Fm Migue 104 m de profundidad .....	39
Figura 10: Tala: A) Niveles arcillo-limosos de Fm Libertad 3,8 m de profundidad. B) Contacto entre Fm Libertad y Fm Mercedes-Asencio 5,5 m de profundidad. C) Conglomerados de Fm Mercedes-Asencio 64m de profundidad y contacto entre Fm Mercedes Asencio y Fm Migue. D) Areniscas finas a muy finas de Fm Migue a 251 m de profundidad. E) Areniscas muy finas pardo-rojizas de Fm Migue .....	40
Figura 11: Ubicación de cortes y perforaciones que captan agua de las formaciones Mercedes- Asencio y Migue .....	41
Figura 12 Corte Geológico de San Ramón a Tala.....	42

Figura 13: Corte Geológico de San Bautista a San Ramón .....	43
Figura 14: Corte Geológico de San Bautista a Tala .....	44
Figura 15: Bloque diagrama en base a los cortes realizados .....	45
Figura 16: Frecuencia de profundidad en Fm Migués .....	49
Figura 17 Frecuencia de caudales en Fm Migués:.....	49
Figura 18: Caudal vs Profundidad en Fm Migués .....	50
Figura 19: Frecuencia de profundidad en Fm Mercedes-Asencio .....	51
Figura 20: Frecuencia de caudales en Fm Mercedes-Asencio.....	51
Figura 21: Caudal vs Profundidad en Fm Mercedes-Asencio.....	52
Figura 22: Mapa ubicación de perforaciones muestreadas .....	54
Figura 23: Diagrama Piper correspondiente al acuífero Migués.....	58
Figura 24: Diagrama Schoeller – Berkaloff correspondiente a acuífero Migués .....	59
Figura 25: Diagrama SAR, Calidad de agua para riego correspondiente a acuífero Migués.....	60
Figura 26: Diagrama Piper correspondiente a acuífero Mercedes.....	64
<i>Figura 27: Diagrama Schoeller – Berkaloff correspondiente a acuífero Mercedes .....</i>	<i>65</i>
Figura 28: Diagrama SAR, Calidad de agua para riego correspondiente a acuífero Mercedes.....	66

## Índice de Tablas

Tabla 1: Perforaciones que captan agua de Formación Migués.....	44
Tabla 2: Perforaciones que captan agua de Formación Mercedes-Asencio.....	47
Tabla 3: Resultados de análisis fisicoquímicos para los acuíferos Migués y Mercedes .....	53
Tabla 4: Resultados Elementos Mayores para Diagramas Piper, Schoeller-Berkaloff y SAR .....	55
Tabla 5: Resultados Elementos Mayores para Diagramas Piper, Schoeller-Berkaloff y SAR .....	61

## 1. RESUMEN

El trabajo consistió en el estudio geológico de superficie y subsuelo de una región del sector centro – norte del departamento de Canelones, orientando esfuerzos para la caracterización de los acuíferos presentes en el área. En este sentido, se realizaron descripciones litológicas y reconocimiento de unidades litoestratigráficas en perforaciones. Asimismo, se elaboró un mapa geológico, tres cortes geológicos representativos del área de estudio y un bloque diagrama ilustrando el modelo geológico conceptual del subsuelo. Fue posible visualizar que en el área de estudio las unidades aflorantes y que conforman el relleno de los primeros cientos de metros está integrado principalmente por las formaciones Migue (Cretácico Inferior), Mercedes-Asencio (Cretácico Superior), Fray Bentos (Oligoceno), Libertad y Dolores (Cuaternario) .La Formación Raigón (Plioceno-Pleistoceno) está subordinada en algunos sectores del Norte del área, con poco espesor, una distribución relictual y sin continuidad lateral significativa, por lo que no tiene relevancia como unidad acuífera en esta zona. Por otro se analizaron las unidades hidrogeológicas, en base a datos e información existente de caudales y profundidades. Las unidades acuíferas de relevancia corresponden a la Formación Migue y Formación Mercedes- Asencio. Finalmente se realizó una caracterización geoquímica de las aguas subterráneas, se tomaron 8 muestras en total, 4 para el acuífero Migue y 4 para el acuífero Mercedes–Asencio y se compararon con la información química disponible.

## 2. INTRODUCCIÓN

Este trabajo “Geología de la región centro – norte del Departamento de Canelones: modelo geológico conceptual y su relación con la ocurrencia de aguas subterráneas” corresponde al Trabajo Final de la Licenciatura en Geología para la obtención del título de grado. Se estudia el sector centro – norte del departamento de Canelones, situado geológicamente al norte del Alto de Santa Rosa de la Cuenca Santa Lucía. En esta región se implantan varias localidades importantes del departamento de Canelones y se desarrollan diversas actividades productivas como la ganadería y la horticultura. Siendo el suministro de agua subterránea un recurso necesario para diferentes usos.

Se abordaron varias temáticas relacionadas a las actividades que desempeña un geólogo, entre ellas: el estudio geológico de superficie y subsuelo del área, la descripción litológica y reconocimiento de unidades litoestratigráficas en perforaciones, elaboración de mapa, cortes geológicos y un bloque diagrama. Asimismo, se realizó la caracterización hidrogeológica de las dos unidades acuíferas de relevancia en la zona, a través de datos proporcionados de profundidad y caudal. Luego se procedió con la medición de parámetros fisicoquímicos y toma de muestras de agua en ocho pozos. Finalmente se elaboró un análisis y caracterización de las aguas subterráneas teniendo en cuenta alguna problemática particular, en especial, la presencia de arsénico.

### **3. OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo general**

Elaborar el modelo geológico conceptual a partir de la integración de datos de superficie y subsuelo, y caracterizar desde el punto de vista hidrogeológico y geoquímico las aguas subterráneas de la región centro - norte del departamento de Canelones para la evaluación del recurso.

#### **2.2 Objetivos específicos**

- Efectuar el reconocimiento de la geología del área, aflorante y subsuelo, con el objetivo de confeccionar un conjunto de secciones geológicas para definir la distribución espacial de cada unidad y elaborar un modelo geológico conceptual;
- Analizar algunos aspectos como composición, color y estructuras que hacen al reconocimiento litoestratigráfico de las unidades que afloran en esta región, dadas algunas inconsistencias en los diferentes antecedentes geológicos del área;
- Caracterizar la hidrogeología del área identificando acuíferos de relevancia a través de datos de caudales, profundidades y descripciones de perforaciones existentes
- Tipificación química del agua subterránea con distintos fines, así como abordar algunos aspectos que hacen a la calidad química de las aguas para determinar la viabilidad de su uso, teniendo en cuenta algunas problemáticas de presencia de arsénico.

## 4.ÁREA DE ESTUDIO

### 4.1 Características Generales

El área de estudio se sitúa en la parte centro - norte del departamento de Canelones, al norte del Alto de Santa Rosa, dentro de lo que se denomina Cuenca del Río Santa Lucía. Comprende, total o parcialmente, las hojas topográficas San Ramón, Tala, parte de Santa Rosa y Migueles del Servicio Geográfico Militar a escala 1:50.000, e incluye las localidades de San Ramón, Tala, San Antonio, San Bautista y Castellanos, quedando comprendida dentro del cuadrante de coordenadas X: 470.000 y X': 506.000; Y: 6.186.000, Y': 6.214.000, con una superficie aproximada de 800 Km<sup>2</sup>.

Las principales vías de acceso las componen de sur a norte las rutas nacionales número 6 y 7 y de este a oeste las rutas nacionales número 81, 65 y 12, asimismo el área cuenta con varios caminos vecinales.

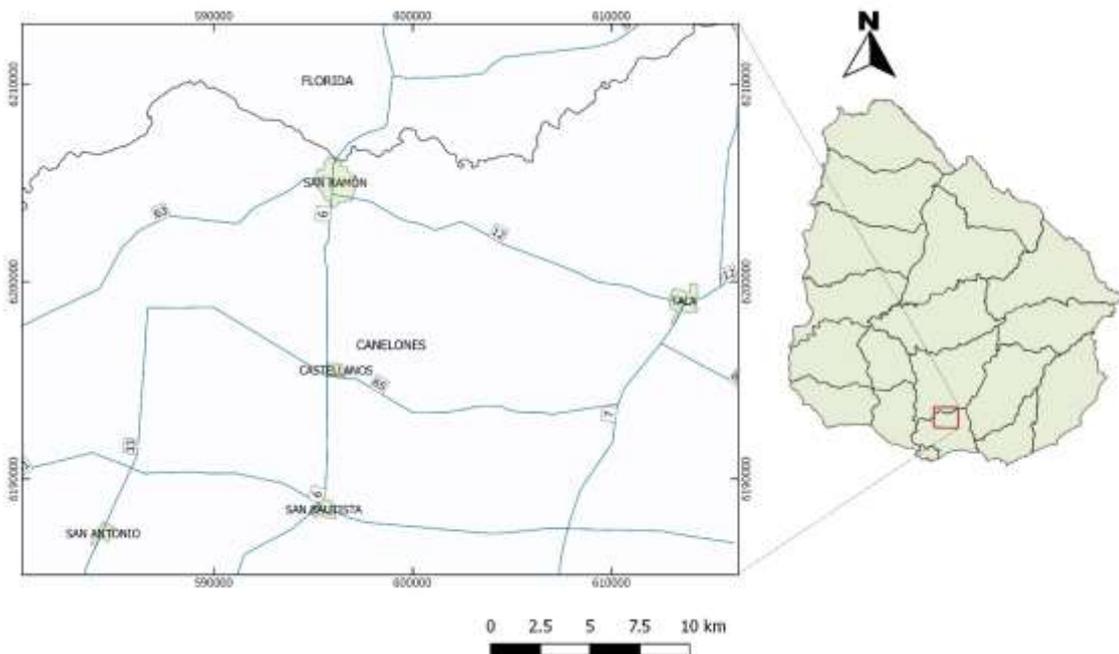


Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio (Sistema de coordenadas UTM zona 21S elipsoide WGS84)

Actualmente la zona de estudio tiene una población de 24.081 habitantes, de los cuales 16.204 residen en localidades urbanas (INE, censo 2011) y 7.877

residen en zonas rurales (Plan de Ordenamiento Rural del Departamento de Canelones: "Ruralidades Canarias", 2017).

En esta región se desarrollan diversas actividades económicas siendo las más relevantes la horticultura y la ganadería vacuna para carne. En este sentido, el acceso al agua de calidad es fundamental para poder desarrollar las distintas actividades productivas, así como el propio suministro a la población.

## **4.2 Geomorfología**

El relieve característico de la zona es de terrenos ondulados y planicies asociadas a cursos fluviales. Topográficamente, las posiciones altimétricas dentro del área de estudio se encuentran entre 40 y 90 m.

Los terrenos ondulados se caracterizan por lomadas con suaves pendientes originadas a partir de sedimentos limo-arcillosos (Achkar et al. 2014), con extensos interfluvios, planos a ligeramente convexos, laderas con pendientes planas muy suaves de tipo simétricas y asimétricas y valles muy extensos de tipo plano (Spoturno et al. 2004).

En las planicies asociadas a cursos fluviales se distinguen planicies bajas y medias a las que se asocian suaves lomadas. Según Spoturno et al. (2004), la presencia de este tipo morfológico está estrechamente relacionada con la característica del sustrato geológico que la acompaña, siendo por lo general materiales sedimentarios arcillosos y limosos que generan un gran desarrollo superficial de terrazas.

## **4.3 Red de drenaje**

La red de drenaje superficial es extensa y de gran expresión perteneciente a la cuenca del Río Santa Lucía, siendo este el principal río del área de estudio que fluye entre las cotas 40 y 50 msnm. Los principales cursos que cortan el área de estudio corresponden a los arroyos Vejigas, del Tala y del Pedernal que fluyen en dirección semi-paralela al Río Santa Lucía.

## 5. METODOLOGÍA

Se resumen a continuación las etapas cumplidas para la elaboración del presente trabajo:

1. Recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos del área de estudio, así como bibliografía relacionada a la geología regional.
2. Recopilación y tratamiento de datos de perforaciones de organismos públicos y privados, generando un inventario de pozos.
3. Análisis de antecedentes geológicos, cartográficos e hidrogeológicos
4. Fotointerpretación para la elaboración de mapa preliminar a escala 1/100.000, identificando áreas con diferencia en antecedentes cartográficos. Para esto se utilizaron fotos aéreas a escala 1:20.000 del SGM (Servicio Geográfico Militar), imágenes satelitales de “Google Earth” y estereoscopio. La representación cartográfica se realizó utilizando el programa QGIS.
5. Trabajos de campo para identificar distintas unidades litoestratigráficas, con énfasis en las áreas donde existían diferencias en antecedentes cartográficos.
6. Elaboración de dos perfiles estratigráficos en detalle de dos perforaciones. Los perfiles fueron elaborados con el programa SedLoG.
7. Elaboración de cortes geológicos en base a datos de perforaciones y de campo. Para la realización de estos cortes se utilizaron los programas QGIS y GIMP.
8. Elaboración de mapa geológico final a escala 1/100.000
9. Integración de datos hidrogeológicos y caracterización de las unidades acuíferas relevantes.
10. Determinación de puntos de muestreo, realización de muestreos, análisis y tratamiento de datos obtenidos.
11. Interpretación y redacción del trabajo final

Para el análisis y tratamiento de datos se realizaron distintos diagramas que se describen a continuación:

#### Diagrama de Piper

El diagrama de Piper corresponde a un diagrama triangular donde cada uno de los vértices de un triángulo equilátero representa el 100 % de un componente. Este diagrama exige que los iones estén reducidos a porcentajes de meq/l, con lo cual no se tiene la representación de concentraciones absolutas. Para este tipo de análisis se utiliza un triángulo para los cationes y otro para los aniones, en este sentido, el diagrama de Piper resulta formado por dos triángulos con un rombo que recoge la información de ambos triángulos. Finalmente, cada análisis químico queda representado por tres puntos (los dos triángulos y el rombo central).

#### Diagrama Schoeller – Berkaloff

Estos diagramas son útiles para representar en un mismo cuadro, aguas de baja y de alta salinidad y observar la relación entre los iones a través de la inclinación de las líneas. Estos diagramas son elaborados utilizando una escala logarítmica y uniendo puntos mediante una secuencia de líneas. El valor de los distintos iones se representa en miliequivalentes por litro (meq/l).

#### Diagramas SAR, Calidad de agua para riego

Para poder conocer la calidad de agua para riego se utiliza la clasificación de U.S. Salinity Laboratory Staff, esta clasificación se basa principalmente en la conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (SAR). El SAR es un parámetro que refleja la posibilidad de influencia del ion sodio sobre las propiedades del suelo ya que este elemento puede afectar la permeabilidad del suelo. Sus efectos no dependen únicamente de su concentración sino de la concentración de otros cationes. En este sentido se relaciona el contenido de sodio, calcio y magnesio que representa el porcentaje de sodio intercambiable en el suelo en situación de equilibrio.

## Clases

<b>C<sub>1</sub></b>	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos y con bajas probabilidades de aumento en la salinidad. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
<b>C<sub>2</sub></b>	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar en cultivos tolerantes a la salinidad.
<b>C<sub>3</sub></b>	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, se requiere un manejo especial para el control de la salinidad empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
<b>C<sub>4</sub></b>	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
<b>C<sub>5</sub></b>	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en determinados casos, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
<b>C<sub>6</sub></b>	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
<b>S<sub>1</sub></b>	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
<b>S<sub>2</sub></b>	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
<b>S<sub>3</sub></b>	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
<b>S<sub>4</sub></b>	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

$$SAR = \frac{Na \text{ (meq/l)}}{\sqrt{\frac{Ca \text{ (meq/l)} + Mg \text{ (meq/l)}}{2}}}$$

## 6. ANTECEDENTES

### 6.1 Geología Regional

La región de estudio corresponde a la denominada fosa tectónica de Santa Lucía, descrita por primera vez por Jones (1956) para definir la estructura de la cuenca como un *rift valley* que se desarrolla en el subsuelo del departamento de Canelones. Asimismo, caracterizó las unidades sedimentarias clásticas a las que denominó facies Migueles, Tala y Montes.

Según Veroslavsky et al. (2003), esta fosa surge en el Jurásico Superior - Cretácico Inferior durante el proceso de apertura del Atlántico, vinculado a la generación de otro conjunto de cuencas marginales y asociadas a un magmatismo que se expresa con diferentes registros (formaciones Puerto Gómez y Arequita). En ese contexto, movimientos corticales generaron grandes fallamientos (principalmente verticales) que dieron como resultado la formación de nuevos espacios de acumulación que permitieron establecer áreas de subsidencia para albergar una potente sedimentación continental.

A partir del Cretácico Temprano, según Veroslavsky et al. (2003) el territorio uruguayo pasó a delinear un contexto geotectónico diferente que incidió en el desarrollo de importantes fallamientos y compartimentación estructural, asociado a las perturbaciones térmicas que afectaron la base de la litósfera gondwánica. Durante este proceso, las principales zonas de debilidad estructural del basamento precámbrico controlaron la distribución del flujo térmico, las direcciones preferenciales de fracturas y fallamientos, la intensidad y emplazamiento de la actividad magmática, así como la subsidencia en las nuevas áreas de sedimentación (Veroslavsky et al. 2003).

Rossello et al. (2001) caracterizaron la Cuenca Santa Lucía como un depocentro típico de *pull-apart*, como los definidos en los modelos clásicos de Mann et al. (1983) y Nielsen & Sylvester (1995), compartimentado en dos depresiones con sus mayores profundidades adyacentes a las mayores estructuras y separadas por el Alto de Santa Rosa, todos dispuestos en échelon

y con sus bordes más activos de tipo transcurrente dextral y otros pasivos de tipo normal de crecimiento.

Según Veroslavsky et al. (2003) el registro sedimentario de la cuenca fue controlado inicialmente por la tectónica, que condicionó el desarrollo de áreas de aporte, la geometría de los depocentros, el estilo estructural, así como las principales formas de transporte y las variaciones climáticas que fueron responsables del balance hídrico y la existencia de determinado tipo de vegetación y las características composicionales y depositacionales de los materiales de la cuenca. En este sentido para realizar un análisis del relleno de la misma Veroslavsky et al. 2003, subdividieron en tectosecuencias, las cuales reúnen a los depósitos generados contemporáneamente en cada una de las fases tectónicas reconocidas

Estas y otras contribuciones sobre la geología de la Cuenca Santa Lucía fueron realizadas por Bossi (1966), Zambrano (1974), Sprechmann *et al.* (1981), Bossi & Navarro (1991), de Santa Ana *et al.* (1994), Veroslavsky (1999) y Rossello *et al.* (2001).

## **6.2 Unidades geológicas presentes en el área**

### *6.2.1 Formación Migueles (Cretácico Inferior)*

Esta unidad litoestratigráfica fue definida por Bossi (1966), integrando las denominadas “facies Migueles”, “facies Montes” y “facies Tala” de Jones (1956).

Según Veroslavsky (1999), está integrada por areniscas finas, rojas a rosadas, con estratificación cruzada, que se intercalan con pelitas, arcillitas y areniscas pelíticas de colores castaños y verdosos, masivas o laminadas. Es común la ocurrencia de intercalaciones de cuerpos lenticulares conglomerádicos con niveles centimétricos de arcillitas y pelitas grises y marrones en la base. Las estructuras sedimentarias más comunes de esta formación corresponden a estratificación cruzada acanalada y plano paralela, asimismo es común que las areniscas finas de esta unidad presenten un aspecto macizo. El acuñamiento de

cuerpos arenosos y arcillosos es una de las características más conspicuas que se pueden observar en algunos afloramientos de buena calidad.

El espesor máximo perforado de la Formación Migueles alcanza los 2.160 m (pozo Sauce), pudiendo llegar los niveles pelíticos a 300 m (pozo Sauce 1 y Piedra Sola).

El contacto inferior es discordante con el basamento cristalino y se apoya también sobre las formaciones Puerto Gómez (Bossi 1966) y Cañada Solís (de Santa Ana y Ucha 1994), en este último caso, también con claras relaciones de interdigitación lateral. En la base la Formación Migueles muestra relaciones concordantes con la Formación Castellanos (Zambrano 1974), con pasajes de interdigitación y gradacional. El contacto superior está marcado por una discordancia erosiva con las formaciones Mercedes, Asencio, Fray Bentos, Libertad, Dolores y otros sedimentos más jóvenes de la cobertura cuaternaria.

Se infiere que la sedimentación de esta unidad se procesó en ambiente continental, controlado por efectos tectónicos que dieron lugar a intervalos de tiempo donde opero sedimentación rápida y con importantes gradientes de energía e intervalos de tiempo con bajo gradiente.

### *6.2.2 Formación Mercedes (Cretácico Superior)*

Designadas como “areniscas de Mercedes” por Serra (1945) y definidas como Formación Mercedes por Bossi (1966), esta formación está caracterizada por areniscas finas a gruesas blanquecinas, conglomerádicas, con geometría lenticular, e importantes variaciones litológicas verticales y laterales. Posteriormente Bossi (1975) la redefinió siendo caracterizada por areniscas, conglomerados, pelitas y lentes calcáreos. Goso (1999) propuso agrupar a estas litologías en dos miembros: Yapeyú y Chileno, las que originalmente formaban parte de la Formación Asencio de Bossi (1966). Asimismo, Bossi et al. (1999) sugieren que, en esta zona, esta formación responde mejor a las descripciones realizadas por Ford (1988) y Ford y Gancio (1988), donde describen litologías psefíticas dominantes en la base con algunos niveles calcáreos y areniscas

calcáreas intercaladas, habiendo sufrido en su conjunto una intensa silicificación. Las psefitas dominantes están constituidas por conglomerados matriz soportados, con abundante matriz areno-arcillosa calcárea generalmente muy silicificada (Ford y Gancio 1988). En su conjunto presenta un aspecto macizo, aunque en algunas partes se observan rastros de una estratificación cruzada en forma de artesa y en ocasiones aparecen canales erosivos rellenos, según Ford y Gancio (1988). Por encima de estos niveles psefíticos dominan psamitas representadas por areniscas medias de selección regular, dispuestas en una matriz de arena media cuarítica, cementada por arcilla “impregnada” en sílice, macizas y muy homogéneas, de color predominantemente rosado en ocasiones variando a amarillo-verdoso. La silicificación parece ser menos intensa que la que afecta a las psefitas y calcáreos, siendo la distribución más uniforme (Ford y Gancio 1988).

Según Veroslavsky (1999) en el ámbito de la Cuenca de Santa Lucía está constituida por areniscas y areniscas conglomerádicas, conglomerados, pelitas arenosas, blancas a blanquecinas a veces rojizas y espesos cuerpos lenticulares calcáreos, localmente silicificados. Frecuentemente presenta estratificación cruzada, horizontal y gradacional, con geometrías acanaladas, tabulares y lenticulares. Comúnmente se observan superficies erosivas acanaladas de mediano porte rellenas de material más grosero en las bases de los planos de estratificación.

Spoturno et al. (2004), lograron separar cartográficamente algunos niveles métricos de calizas que se relacionan lateralmente con la Formación Mercedes (región de Sauce Solo), los que incluyeron en la Formación Queguay de Goso (1965).

### *6.2.3 Formación Asencio (Cretácico Superior)*

Definida como Formación Asencio por Bossi (1966) para incluir niveles de areniscas finas cuarzosas blanquecinas que hacia el tope aparecen, en algunos sectores, fuertemente ferrificadas. Según Bossi et al. (1999), los perfiles relevados con precisión en el área relevada de Canelones responden mejor a la

evolución propuesta por Ford (1988) y Ford y Gancio (1988) donde un perfil tipo Asencio se constituye de cima a base por: arenisca fina a media, de selección regular, cuarcítica, con granos redondeados, maciza, de matriz arcillosa fuertemente impregnada en oxi-hidróxidos de hierro de color rojo, muy coherente. Las removilizaciones interna de los oxi-hidróxidos de hierro, dieron lugar al desarrollo de estructuras concrecionales (pisolítica). En muchas partes se observa la presencia de túbulos de 3-5mm de diámetro recubierto por arcillas ferruginosas, que probablemente sean huellas de raíces. Este nivel es el que desarrolla las corazas de ferrificación del llamado "Miembro del Palacio" (Bossi, 1966). A través de un pasaje bastante neto y ondulado, se pasa a una arenisca fina a media, de selección regular, redondeada, cuarcítica, con matriz arcillosa, maciza, de color blanco-amarillento, con abundantes moteados rojos. En este nivel aparecen frecuentemente túbulos huecos tapizados de arcillas ferruginosas, de disposición subvertical y subhorizontal. Los moteados rojos van progresivamente disminuyendo hacia abajo hasta desaparecer, dando lugar a una arenisca de similares características que la superior, a veces de granulometría algo más gruesa, pero sin moteados rojos (zona decolorada). El color es amarillo-grisáceo a blanquecino, pudiendo aparecer algunas formas nodulares de sílice, pero no se observa ninguna impregnación de la matriz, lo que hace que este nivel sea de menor coherencia que los superiores.

Asimismo, según estos autores (Ford y Gancio 1988) el espesor total de un perfil tipo ideal como el descrito, puede alcanzar los 6-8 m. Hacia abajo aparece casi sistemáticamente un nivel de silicificación que suele desarrollar una pequeña escarpa hacia la mitad inferior de las laderas de erosión de estos perfiles. A este nivel de silicificación ocurre casi siempre sobre areniscas medias, de selección regular, cuarcíticas, con los granos de cuarzo algo más angulosos que las areniscas superiores, de colores amarillo-verdosos a rosados pálidos. Este nivel de areniscas endurecidas por sílice, Ford y Gancio (1988) proponen como el límite entre de las formaciones Asencio y Mercedes. Según estos autores (Ford y Gancio 1988) la Formación Asencio constituye relictos de las partes basales de paleocatenas de suelos ferruginosos-ferralíticos, cuya evolución habría ocurrido en clima tropical húmedo, en el Cretácico tardío y/o base del Terciario. Las corazas ferrificadas se habrían formado a consecuencia

de la acumulación absoluta de oxi-hidróxido de hierro por migración lateral en solución desde los suelos ferralíticos desarrollados en las partes altas de las paleocatenas

#### *6.2.4 Formación Fray Bentos (Oligoceno Superior)*

Definida por Goso (1965), esta unidad posee una distribución muy extensa en el país, cubriendo principalmente la zona litoral desde Bella Unión hasta Colonia, así como en las cuencas Santa Lucía y Laguna Merín. Según Spoturno et al. (2004), en el departamento de Canelones aflora en las regiones occidental y noroccidental, donde tiene su mayor extensión superficial. Compuesta litológicamente por areniscas finas, limolitas loésicas, fangolitas, conglomerados y diamictitas, también se destacan por algunos autores, la inclusión de trazas vítreas y procesos relativamente intensos de carbonatación y silicificación, así como de forma más restringida areniscas medias a gruesas. Los colores dominantes son los rosados, marrones y rojizos (Ubilla 2004). Los espesores de la Formación Fray Bentos son variables en el país, situándose entre 10 m aproximadamente al Este y 111 m al Oeste, en el Parador Tajés. Spoturno *et al.* (2004) definen un depósito con forma de cuña de dirección E-W y ápice hacia el Este. Las relaciones de contacto según Bossi y Navarro (1988), son discordantes con todas las rocas subyacentes, así como con las unidades que la cubren. Las litologías que conforman la Formación Fray Bentos permiten inferir que la sedimentación se dio en ambientes de tipo continental semi-árido. Los depósitos son de tipo fluvial, con relleno de canal y barras, planicies de inundación, paleosuelos y loésicos.

#### *6.2.5 Formación Raigón (Plioceno-Pleistoceno)*

Definida por Goso (1965), según Spoturno et al. (2004) esta unidad se reconoce en diversos sitios del departamento de Canelones, con mayor distribución superficial en el noroeste, norte y noreste del departamento. Forma parte del sustrato de las cuencas de los Arroyos Canelón Grande, Tala, Vejigas y forma parte de las áreas que componen la margen izquierda del curso medio del Río Santa Lucía. Asimismo, en las zonas noroeste, norte y noreste se

reconoce en profundidad, mediante testigos de perforaciones apoyada discordantemente sobre la Formación Fray Bentos y por debajo de la Formación Libertad.

Litológicamente, se reconocen areniscas conglomerádicas de color blanco y blanco amarillento que se pueden clasificar como subarcósicas a arcósicas, conglomerados clasto-soportados con clastos que pueden alcanzar un tamaño de 10 cm, areniscas, arcósicas, mal clasificadas con matriz arcillosa escasa y coloración blanco amarillento y lentes de arcillas (Spoturno et al., 2004). Las areniscas son los términos que ocurren con mayor frecuencia. Se estima que esta unidad presenta espesores que oscilan entre 10 y 20 m.

Por otro lado, Bossi et al. (1999) definen el miembro San Bautista perteneciente al tope de la formación Raigón, caracterizado por loess naranjas resistentes a la meteorización que se parte en prismas paralelepípedicos con presencia de poros radicales tapizados de negro con estructura típica de paleosuelo y discordantes con la Formación Libertad. En este sentido estos loess naranjas no pertenecerían a la Formación Libertad, sino al techo de la formación Raigón, tal como propuesto por Spoturno et al. (2004) en la cartografía del área.

#### 6.2.6 Formación Libertad (Pleistoceno)

Esta formación se encuentra muy distribuida en todo el departamento de Canelones, así como en el área de estudio. Definida y caracterizada por Goso (1965). En general, los autores concuerdan en que esta unidad genera superficies onduladas y se caracteriza por contener lodolitas, loess y arenas, incorporando carbonato de calcio multiforme. Genera suelos teniendo la capacidad de desarrollarlos de potencias considerables presentando escasos afloramientos por esta razón, ocurriendo sus exposiciones en cárcavas y zanjas.

Según Spoturno et al. (2004), las litologías limosas y arcillosas ocurren en la parte media y superior de la unidad, mientras que las fangolitas se encuentran en la parte basal. Frecuentemente, aparece carbonato de calcio en forma de concreciones o disperso como cemento. Los colores son marrones y grises,

pudiendo desarrollar tonalidades ocres. Los espesores de la Formación Libertad en Canelones son del orden de los 2 a 3 m, hasta los 20 m. Estos autores sostienen que las relaciones de contacto con las unidades supra e infrayacentes son discordantes. Desde el punto de vista genético se relaciona a la Formación Libertad a una sedimentación en ambiente continental, coincidente con momentos glaciales. Las condiciones climáticas habrían variado desde un clima semiárido con períodos húmedos, pasando por periodos húmedos y fríos

#### *6.2.7 Formación Dolores (Pleistoceno Superior)*

Esta Formación fue definida por Goso (1972), para denominar los sedimentos continentales que se depositaron en condiciones climáticas frías vinculadas al último episodio glacial. Se caracteriza por presentar geomorfológicamente superficies planas, que se sitúan entre las ondulaciones de unidades anteriores como Formación Libertad y las planicies aluviales más jóvenes como cauces de arroyos.

Litológicamente presenta depósitos arcillo limosos y limo arcillosos, con arenas y gravilla, inmersos en la matriz fina. Las coloraciones son pardas, marrones y grises. En los niveles limo-arcillosos y fangolíticos es habitual la presencia de carbonato de calcio como nódulos.

Según Spoturno *et al.* (2004) desde el punto de vista altimétrico esta formación va desde 10-20 m hasta más de 50 m. La unidad se apoya discordantemente en las unidades más antiguas, estando también discordantemente cubierta por los sedimentos arenosos actuales. Litológicamente, se han reconocido sedimentos limo arcillosos, y fangos con algo de arena fina a media diseminada. Las tonalidades predominantes son los marrones oscuros y los tonos grisáceos. Se presentan nódulos de carbonato de calcio diseminados.

### 6.3 Cartografía

Los antecedentes cartográficos más relevantes refieren a la carta geológica escala 1/100.000 fotoplano J-27 Santa Rosa, Bossi et al. (1999) “Evaluación de las posibilidades de aguas subterráneas en el centro y noreste del departamento de Canelones” y Spoturno et al. (2004), “Mapa geológico y de recursos minerales del departamento de Canelones, escala 1/100.000”. En particular, en lo que hace al área de estudio de esta contribución, existen varias discrepancias entre esos trabajos.

En Bossi et al. (1999) definen el Miembro San Bautista perteneciente al tope de la Formación Raigón, caracterizado por loess naranjas resistentes a la meteorización y realizan una carta geológica del área relevada en la que como se puede observar el Miembro San Bautista ocupa ampliamente el subsuelo del área, así como la formación Fray Bentos (figura 2 y 3) del bloque occidental mientras que en el bloque oriental existe un neto predominio de afloramiento de las formaciones cretácicas. Mientras que la Formación Libertad ocupa el subsuelo en áreas muy restringidas. Asimismo, concluyeron que las fallas más importantes desde el punto de vista de su incidencia en la distribución geométrica espacial de las distintas formaciones, son de edad terciaria, post –Fray Bentos y pre –Raigón. Estas fallas han permitido el desplazamiento vertical de los bloques con desarrollo de litologías similares a distintas profundidades.

# CARTA GEOLOGICA DEL AREA RELEVADA

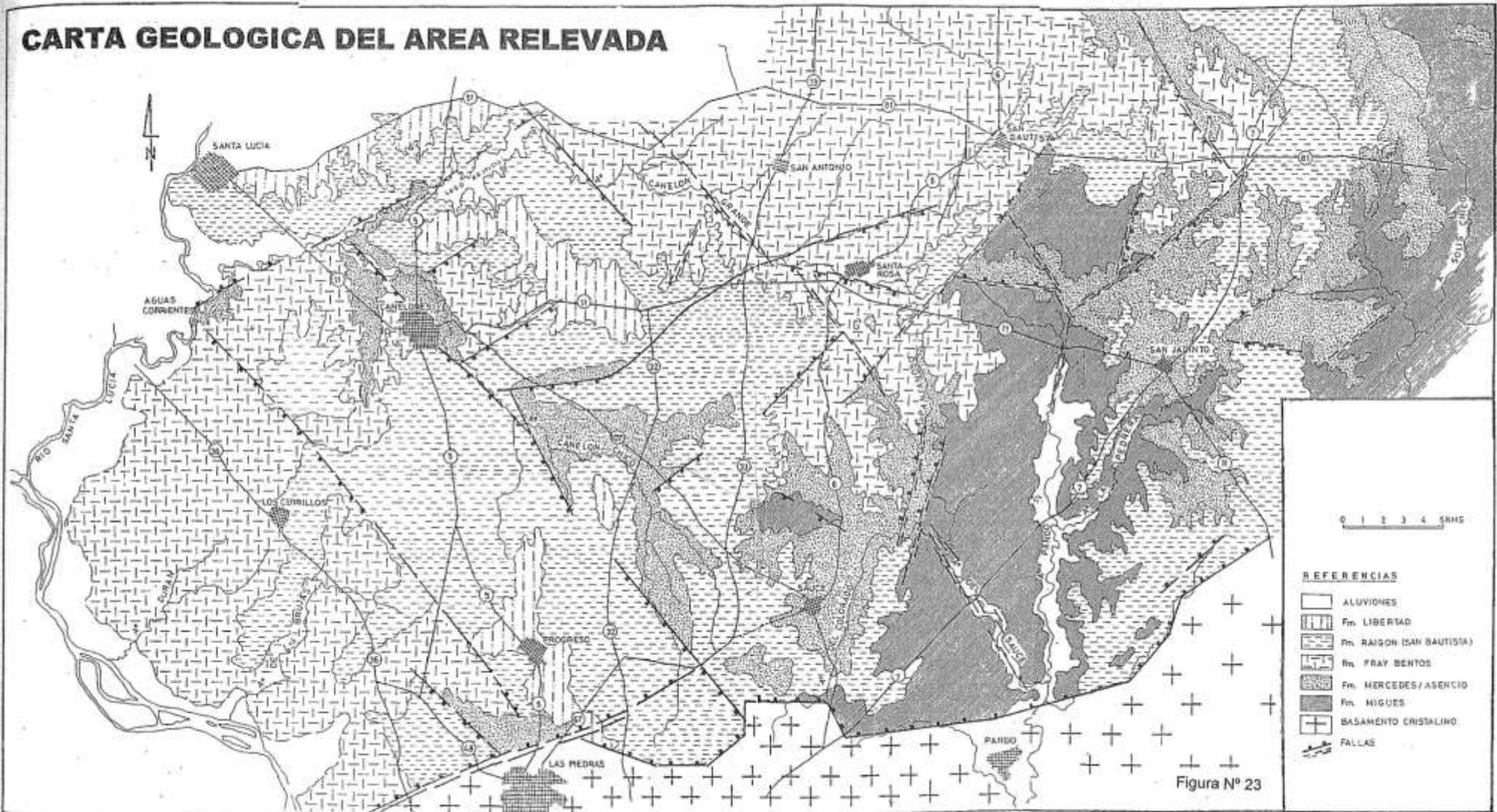


Figura 2: Carta geológica del área relevada por Bossi et al. (1999)

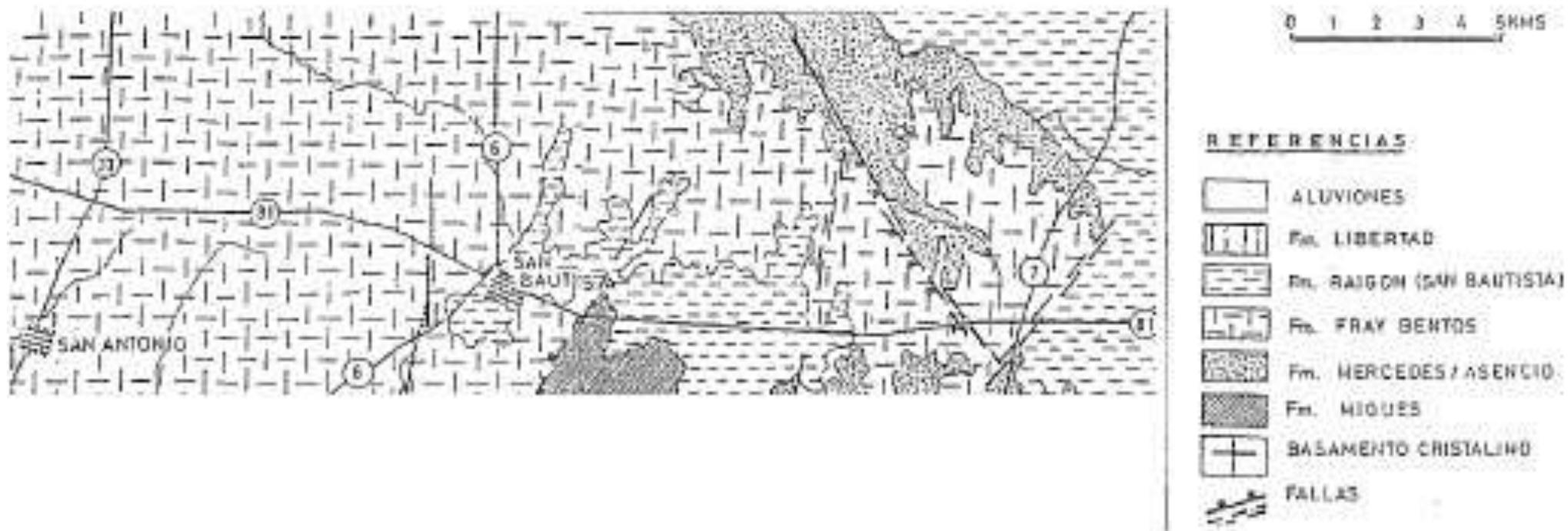


Figura 3: Zoom Carta geológica del área relevada por Bossi et al. (1999) en el área de estudio de este trabajo

Por otro lado, en el mapa geológico presentado por Spoturno et al. (2004), en lo que refiere al área de estudio (Figura 4) se puede observar la diferencia de las áreas que ocupan las diferentes formaciones. En este caso, la Formación Libertad se presenta predominantemente frente a Fray Bentos y el Miembro San Bautista no es considerado en esta carta

# Columna Estratigráfica

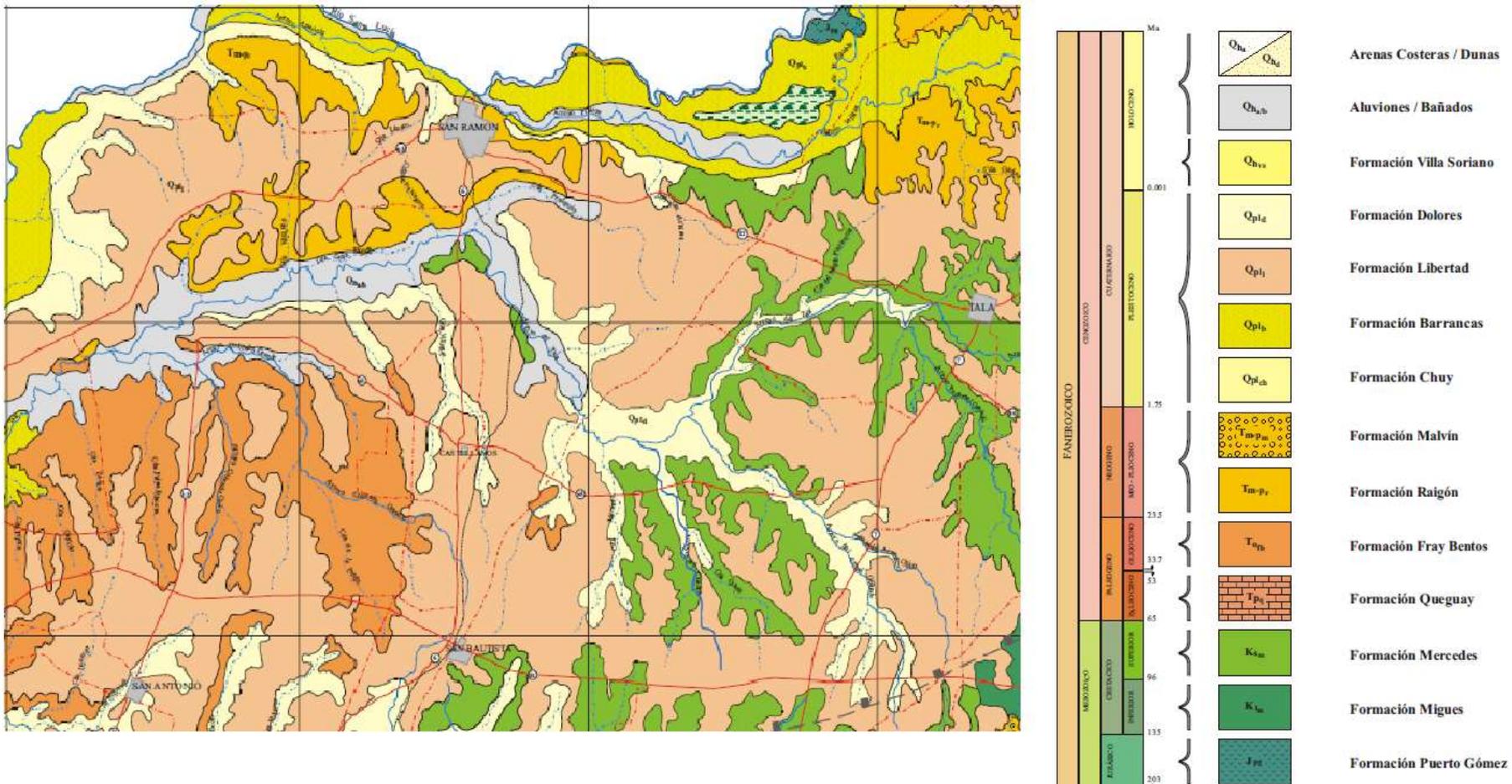


Figura 4: Mapa geológico del departamento de Canelones (zoom en el área de estudio), escala 1/100.000. Spoturno et al. (2004).

## 6.4 Hidrogeología

Bossi et al. (1999) constituye el antecedente más significativo para el área de estudio. Los autores realizan un estudio geológico y un análisis de las características hidrogeológicas de las cuales pudieron reconocer la existencia de tres zonas con comportamientos diferentes desde el punto de vista de las aguas subterráneas. Se reconocieron las siguientes zonas:

### Zona 1: Acuífero en formación Mígues en Cretácico Inferior

El comportamiento hidrogeológico de esta unidad fue sorpresivo ya que en trabajos anteriores esta unidad se consideraba prácticamente estéril. Bossi et al. (1999) pudieron comprobar la existencia de antiguos cauces de ríos donde hoy se acumulan importantes volúmenes de agua subterránea, a veces de buena calidad, cuando no presentan elevada salinidad. Estos presentan caudales erráticos que pueden ir de 0 a 30.000 l/h y napas entre 40-80 m.

### Zona 2: Acuífero en sedimentos del Cretácico Superior sin cobertura

Bossi et al. (1999) reconocen esta zona integrada por las formaciones Mercedes y Asencio, que afloran fundamentalmente en la mitad oriental del departamento. Las observaciones de terreno sugieren que se trata de un acuífero con comportamiento de fisurado ya que tanto las areniscas ferrificadas de la Formación Asencio, como las litologías de la Formación Mercedes (areniscas, conglomerados, calizas) que están fuertemente silicificadas han perdido porosidad primaria, presentando bajos caudales, excepto en fracturas. Los espesores y profundidades son variables (entre 15 y 50 m) según afirman Bossi et al. (1999).

### Zona 3: Acuífero en sedimentos del Cretácico Superior confinado

Bossi et al. (1999) reconocen una gran falla de rumbo general N30 (al E de la localidad de San Bautista), de edad pos-Fray Bentos, que permite el hundimiento del bloque occidental y determina la permanencia de importantes

espesores de la Formación Fray Bentos (hasta de 80 m), al W de dicha línea tectónica. Esta cobertura de los limos de Fray Bentos ha sido eliminada de los bloques orientales que ascendieron. En este sentido el Cretácico Superior en esta zona se encuentra confinado por la Formación Fray Bentos y lo que Bossi et al. (1999) definen en este trabajo como miembro San Bautista de la Formación Raigón. Las profundidades del acuífero en esta zona alcanzan los 80 m.

Dentro de las características generales de esta unidad, Bossi et al. (1999) pudieron observar espesores generales de poca relevancia, alcanzando 25 m como máximo y con una secuencia sistemáticamente granodecreciente con acumulación de niveles conglomerádicos en la base y de areniscas finas a veces ferrificadas en la cima. Brinda caudales de 2 a 4000 l/h a profundidades variables, entre 40 y 90 m.

En este sentido las unidades acuíferas de relevancia en el área se restringen a las formaciones Migues y Mercedes–Asencio. Cabe aclarar que existen en la zona perforaciones que captan agua subterránea de los niveles de grano más gruesos de las formaciones Fray Bentos y Raigón que se encuentra en algunas zonas al norte del área de estudio.

## 7. RESULTADOS

Para la elaboración del modelo geológico conceptual fue necesario trabajar sobre dos aspectos básicos previo a la realización de los cortes geológicos representativos del área de estudio. En primer lugar, se realizó un reconocimiento de campo para la caracterización litológica de las unidades aflorantes y, dadas algunas diferencias y contrastes verificados en distintos mapas geológicos existentes sobre el área de estudio, se hizo énfasis en relevamientos sobre áreas claves con el objetivo de presentar un nuevo mapa.

En segundo lugar, se procedió a realizar un análisis de la información de subsuelo sobre la base de las perforaciones disponibles (DINAGUA, DINAMIGE y OSE, ver descripción de perforaciones empleadas en Anexo 1). Asimismo, se tuvo la posibilidad de contar con la descripción de dos perforaciones inéditas (Anexo 2) realizadas en el área de estudio para la exploración de recursos minerales que cortaron más de 200 y 400 m de testigos continuos en las unidades cenozoicas y cretácicas.

### 7.1 Geológicos y Cartográficos

#### 7.1.1 Formaciones Geológicas

##### Formación Migués

Esta unidad fue reconocida en cárcavas en la zona SE del área de estudio. Se reconocieron las variaciones típicas de esta formación constituidas por arenas finas y limo-arcillas pardo-rojizas con niveles carbonáticos (figura 5.A) y niveles conglomerádicos lenticulares intercalados con arcillas (figura 5.B), asimismo se distinguieron niveles silicificados horizontales (figura 5.C).



Figura 5: Litologías de Formación Migueles A) Arenas finas y limo-arcillas pardo-rojizas con niveles carbonaticos. B) conglomerados lenticulares intercalados con arcillas. C) niveles silicificados horizontales. D) Vista general de arenas finas y limo-arcillas pardo-rojizas con niveles carbonaticos

## Formación Raigón

Esta unidad fue reconocida únicamente en el sector N del área de estudio, en la que se observaron niveles conglomerádicos, clasto-soportados con disposición subhorizontal, intercalados con niveles arcillosos y arenosos. Los niveles arenosos corresponden a arena gruesa a grava, cuarzo-feldespática, mal clasificada, de colores blanco, gris y amarillento.



*Figura 6: Litologías de Formación Raigón A) Niveles conglomerádicos intercalados con niveles arcillosos y arenosos. B) niveles conglomerádicos, clasto-soportados con disposición subhorizontal. C) Vista general del afloramiento, por encima de Fm Raigón se observa Fm Libertad*

## Formación Libertad

Esta unidad es posible reconocerla ampliamente en casi toda el área de estudio, en afloramientos a los costados de los caminos, en cárcavas (figura 7.A y 7.C) así como generando paisajes típicos de suelos que se producen por encima de esta formación. Las litologías observadas en esta formación corresponden a arcillitas y limo-arcillitas de tonalidades marrones y grises (figura 7.D y 7.E) con presencia de carbonato de calcio expresado en forma principalmente de concreciones (figura 7.E)



*Figura 7: Litologías de Formación Libertad A) Vista general de Fm Libertad en cárcava. B) Contacto entre Fm Libertad y Raigón. C) Afloramiento de Fm Libertad en cárcava. D) arcillitas y limo-arcillitas marrones y grises. E) arcillitas y limo-arcillitas con presencia de concreciones de carbonato*

### 7.1.2 Mapa Geológico

Se elaboró un mapa geológico escala 1/100.000 (figura 8) en base a las cartas geológicas presentadas por Bossi et al. (1999) y Spoturno et al. (2004), y los relevamientos que se realizaron durante este trabajo (ver puntos de control en Anexo 3), permitiendo ajustes en la distribución de algunas unidades en superficie. El mapa geológico (figura 8) muestra la presencia de las formaciones Migueles, Mercedes-Asencio, Fray Bentos, Raigón, Libertad, Dolores y sedimentos cuaternarios correspondientes a terrazas y aluviones. Se siguió el criterio cartográfico propuesto por Spoturno et al. (2004), reuniendo a las formaciones Mercedes y Asencio, aunque es posible distinguir y separar esas unidades en campo.

Dentro de los ajustes propuestos se consideran:

- La Formación Migueles aflorante en la zona centro sur
- La Formación Mercedes Asencio aflorante en la zona centro sur (Arroyo Pando) y centro este (Arroyo del Tala)
- Formación Raigón aflorante en la zona centro oeste
- La Formación Libertad predomina en toda la zona como aflorante

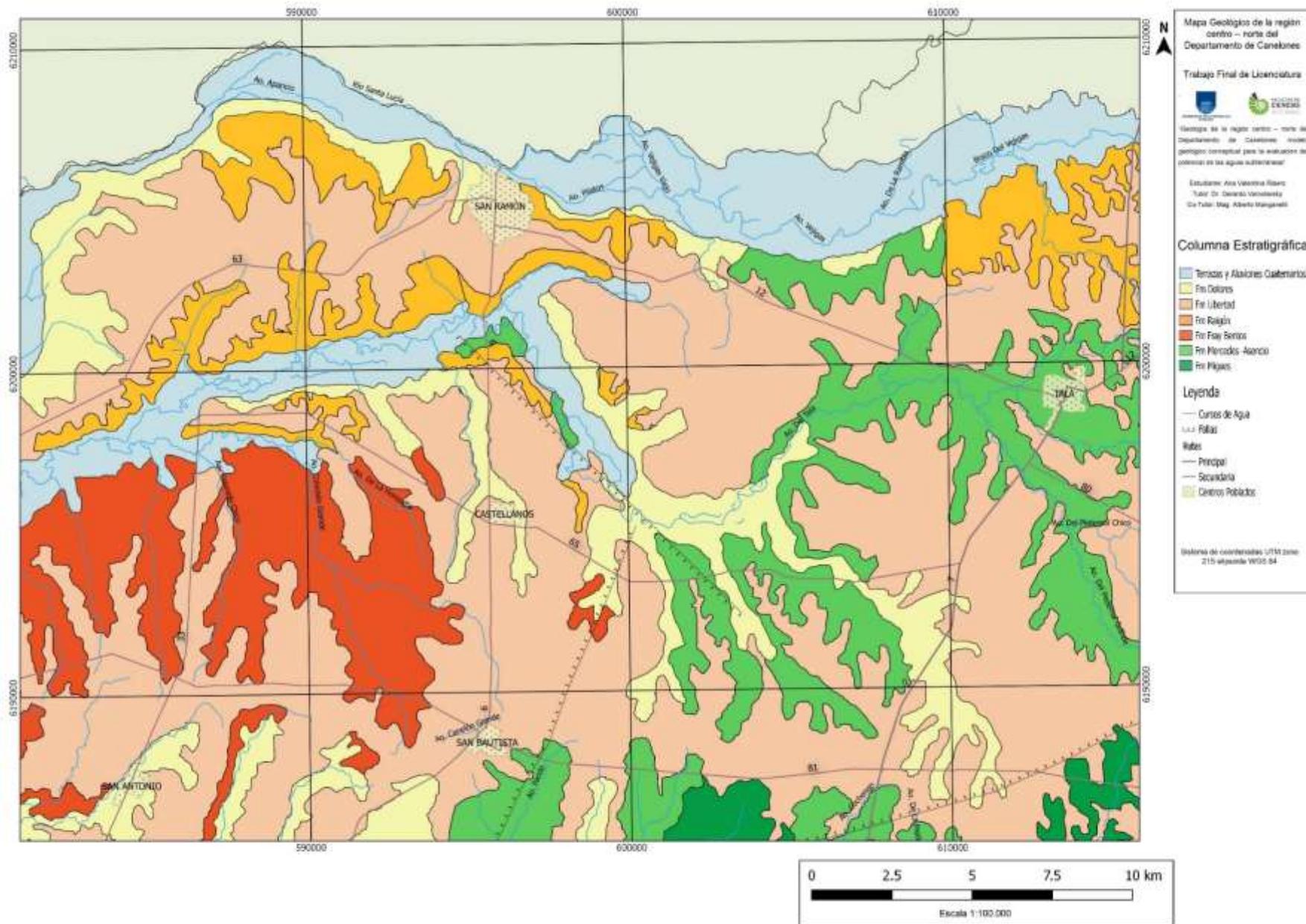


Figura 8: Mapa geológico elaborado para el área de estudio

### 7.1.3 Perfiles Geológicos

Para la elaboración de los perfiles, se contó con descripciones e imágenes de los testigos de dos perforaciones inéditas (Pozos San Bautista y Tala, exploración de sales de potasio RADUL SA, permiso de exploración 1902/10 y 1903/10. Anexo 2) ubicadas en las proximidades de Tala y San Bautista, estas fueron denominadas de esta manera por su proximidad a dichas localidades.

La descripción de estas perforaciones confirma el comportamiento esperado de las formaciones Migues, Mercedes-Asencio y Fray Bentos, según los antecedentes. La Formación Migues (figura 9.E. figura 10.D y 10.E) está caracterizada por limoarcillitas rojas con predominancia de areniscas finas y muy finas rosadas a rojizas, masivas con escasa laminación en algunos sectores. El carbonato aparece en forma de nódulos o clastos. En la perforación San Bautista (figura 9.D) se observa esta formación a partir de los 96,2 m, mientras que en la perforación Tala (figura 10.C) la transición a esta formación se observa a los 65,5 m. En ambas perforaciones, los tramos finales concluyen en la Formación Migues.

Por otro lado, es posible observar el comportamiento y distribución en subsuelo de la formación Mercedes-Asencio, la cual además está aflorante o a pocos m de profundidad en las proximidades de la localidad de Tala (figura 10). En el pozo Tala, los espesores alcanzan los 50 m, mientras que en las proximidades a San Bautista la encontramos a 80 m de profundidad con espesores de 14 m (figura 9). Esta formación está representada por calcoarenitas muy finas, blanquecinas a rosadas con matriz arcillosa (figura 9.B, figura 10.B) y conglomerados cuarzosos con clastos redondeados a subredondeados de pelitas negras y carbonatos (figura 9.C y figura 10.C).

Se verificaron grandes espesores de la formación Fray Bentos en la perforación San Bautista (figura 9) que llegan a 70 m y a profundidades de 80 m. Esta unidad está constituida (figura 9.A) por limo-arcillitas pardo rosadas, con presencia de nódulos de carbonato de calcio y clastos de cuarzo con escaso cemento carbonatico.

En la perforación Tala (figura 10) la formación Fray Bentos no está presente en el subsuelo.

Por otro lado, la formación Libertad (figura 10.A) está representada en la perforación Tala por niveles arcillo-limosos pardos con nódulos de carbonatos en los primeros 6 m de profundidad.

**Referencias de estructuras sedimentarias en perfiles**

Trabajo Final de Licenciatura



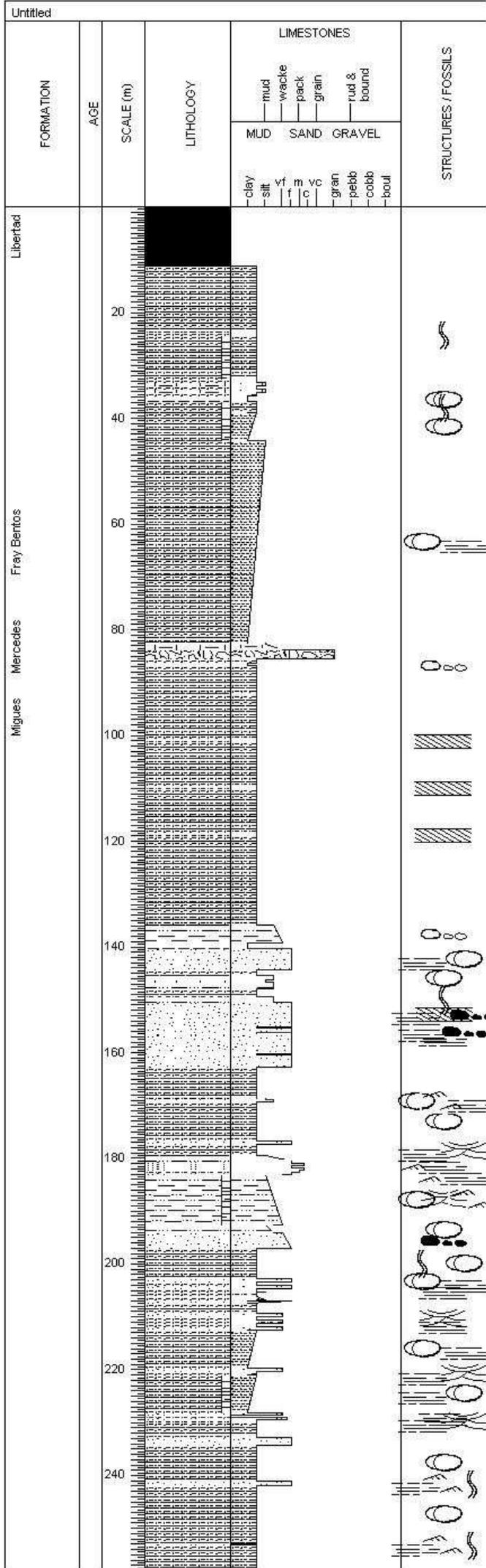
Estudiante: Ana Valentina Ribero  
Tutor: Dr. Gerardo Veroslavsky  
Co.Tutor: Mag. Alberto Manganelli

**Leyenda**

-  Bioturbación
-  Concreciones
-  Oolitas
-  Laminación Entrecruzada
-  Laminación Paralela
-  Estructuras Flasher
-  Nodulos
-  Estructuras de Deformación
-  Ripples

*Figura 9: San Bautista A) Limo-arcillitas pardo rosadas de Fm Fray Bentos a 71 m de profundidad. B) Contacto Fm Fray Bentos y Fm Mercedes-Asencio a 83 m de profundidad. C) Conglomerados cuarzosos de Fm Mercedes 94,5 m de profundidad. D) Contacto entre Fm Mercedes-Asencio y Fm Migue 96,5 m de profundidad. E) Limo-arcillitas pardo-rojizas de Fm Migue 104 m de profundidad*

*Figura 10: Tala: A) Niveles arcillo-limosos de Fm Libertad 3,8 m de profundidad. B) Contacto entre Fm Libertad y Fm Mercedes-Asencio 5,5 m de profundidad. C) Conglomerados de Fm Mercedes-Asencio 64m de profundidad y contacto entre Fm Mercedes Asencio y Fm Migue. D) Areniscas finas a muy finas de Fm Migue a 251 m de profundidad. E) Areniscas muy finas pardo-rojizas de Fm Migue*



A



B



C



D



E



#### 7.1.4 Cortes Geológicos

Para entender y visualizar la distribución de las unidades geológicas en profundidad se realizaron tres cortes geológicos en base a las descripciones de las perforaciones San Bautista (PSB en figura 14) y Tala (PT en figura 14), así como de las perforaciones que contaban con descripciones litológicas de DINAMIGE, DINAGUA y OSE, verificación de las unidades aflorantes a través de trabajos de campo y antecedentes existentes. En este sentido se puede observar en la figura 11 la distribución de las perforaciones según la unidad acuífera de la que capta agua (en Anexo 1 es posible visualizar la totalidad de perforaciones) y la ubicación de los cortes. Asimismo, se identificaron en cada perforación las unidades atravesadas (tabla 1 y 2). En los tres cortes realizados se aprecia la distribución de las formaciones geológicas (figura 12, 13 y 14). En base a estos cortes elaboró un bloque diagrama (figura 15), en esta representación se visualiza el comportamiento de las formaciones presentes. Es posible observar como la Formación Mercedes-Asencio se encuentra como aflorante en la zona Este del área de estudio, con espesores considerables y como estos van disminuyendo hacia el Oeste. Por otro lado, la Formación Fray Bentos se encuentra con espesores significativos (40 m o más) en gran parte del área de estudio y como hacia la zona Noreste y Este no está presente. Finalmente, la Formación Libertad es la que predomina como aflorante.

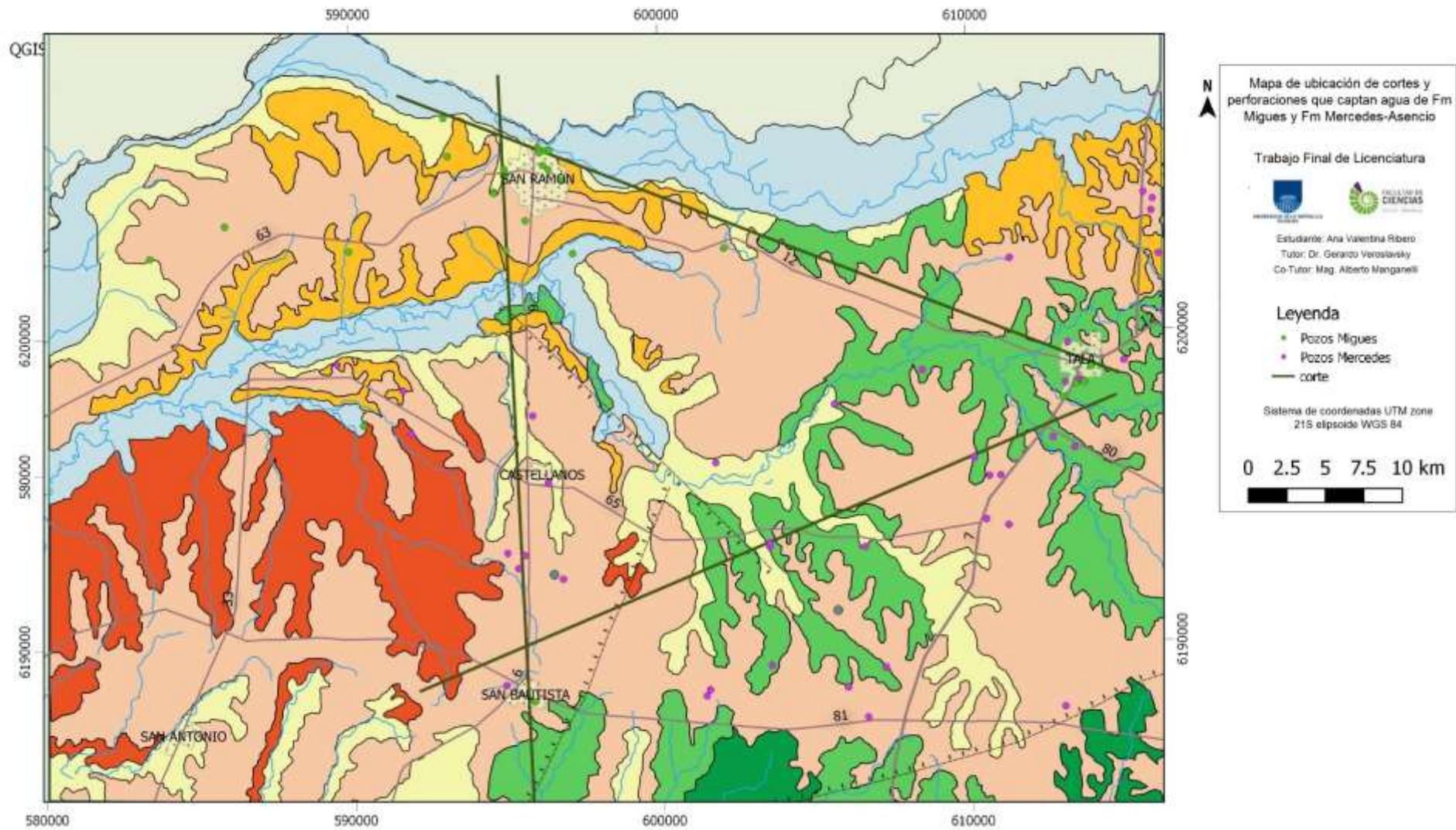


Figura 11: Ubicación de cortes y perforaciones que captan agua de las formaciones Mercedes- Asencio y Migueles

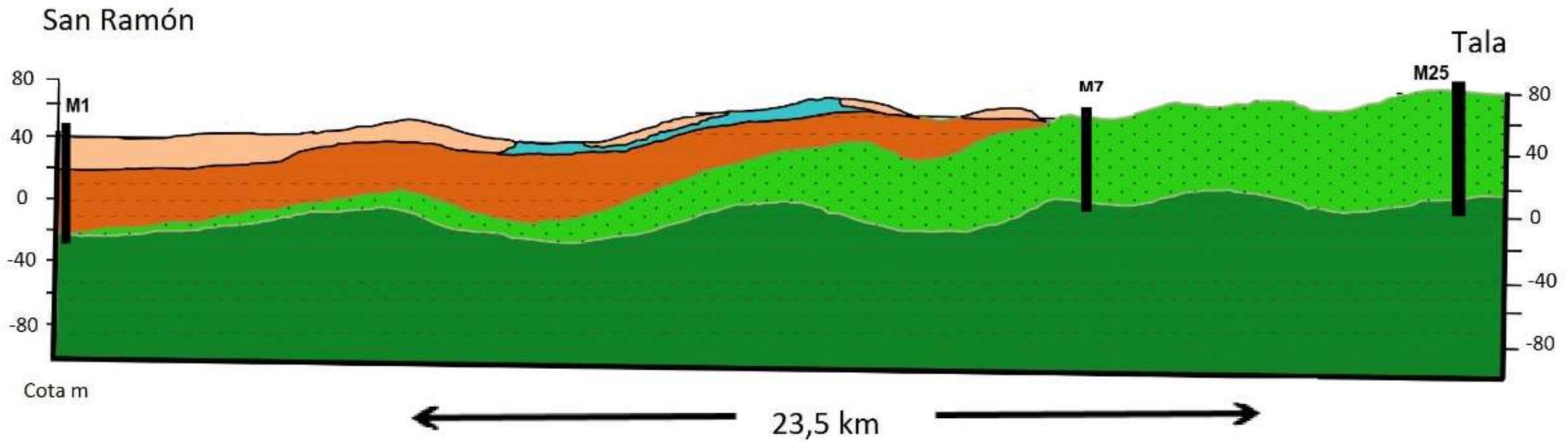


Figura 12 Corte Geológico de San Ramón a Tala

Cortes Geológicos		Leyenda	
Trabajo Final de Licenciatura		 Fm Libertad	
		 Fm Raigón	
		 Fm Fray Bentos	
		 Fm Mercedes-Asencio	
		 Fm Migués	
		 Fallas	
		 Pozos referentes	
 			
Estudiante: Ana Valentina Ríbero			
Tutor: Dr. Gerardo Veroslavsky			
Co-Tutor: Mag. Alberto Manganelli			

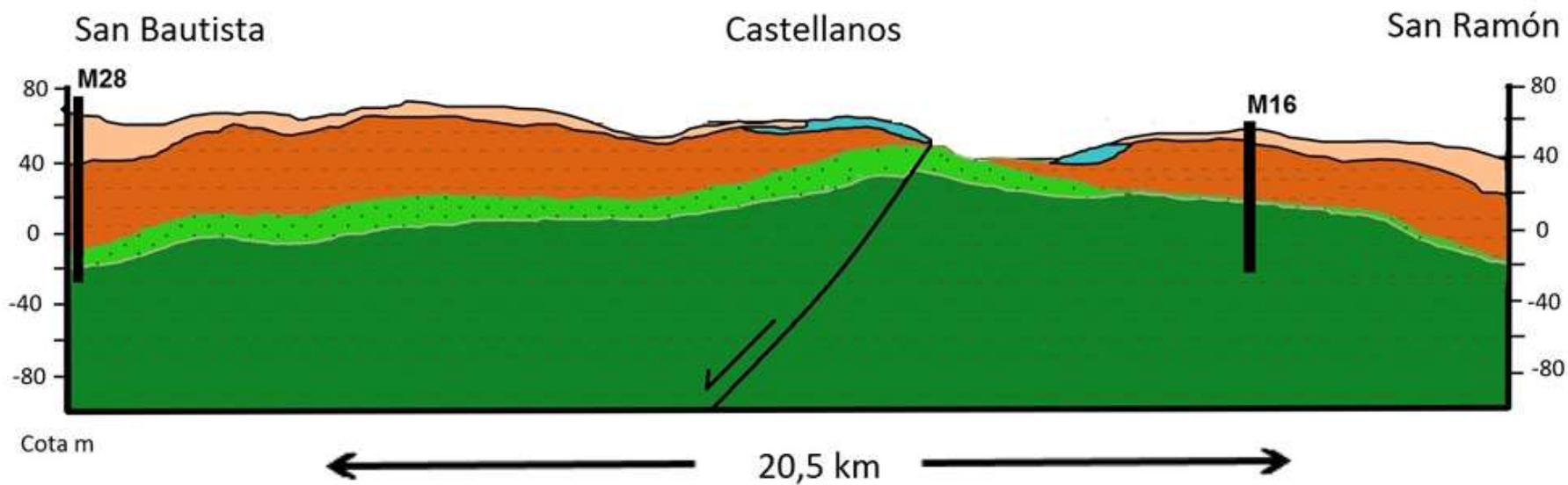


Figura 13: Corte Geológico de San Bautista a San Ramón

Cortes Geológicos	Leyenda
Trabajo Final de Licenciatura	Fm Libertad
	Fm Raigón
	Fm Fray Bentos
Estudiante: Ana Valentina Ríbero	Fm Mercedes-Asencio
Tutor: Dr. Gerardo Veroslavsky	Fm Migués
Co-Tutor: Mag. Alberto Manganelli	Fallas
	Pozos referentes

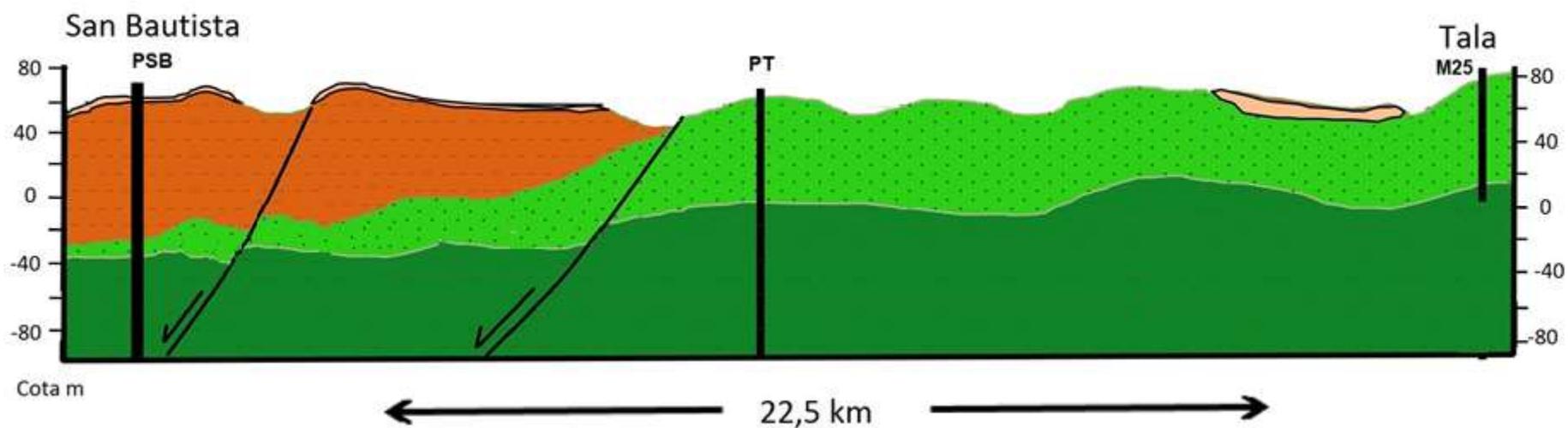


Figura 14: Corte Geológico de San Bautista a Tala

Cortes Geológicos	Leyenda
Trabajo Final de Licenciatura	Fm Libertad
	Fm Raigón
	Fm Fray Bentos
Estudiante: Ana Valentina Ribero	Fm Mercedes-Asencio
Tutor: Dr. Gerardo Veroslavsky	Fm Migués
Co-Tutor: Mag. Alberto Manganelli	Fallas
	Pozos referentes

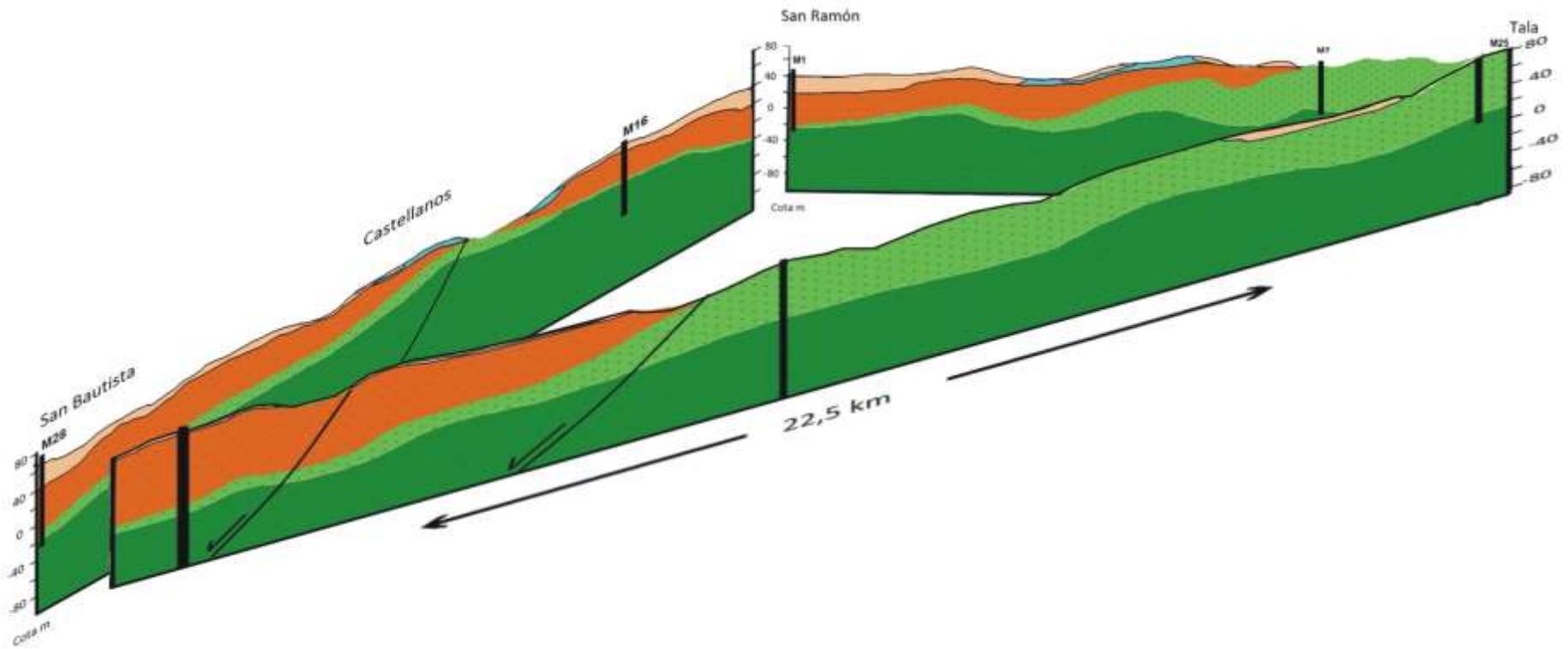


Figura 15: Bloque diagrama en base a los cortes realizados

Tabla 1: Perforaciones que captan agua de Formación Migués

Código	x (UTM)	Y (UTM)	Profundidad	Q (m <sup>3</sup> /h)	NE	Cota	Formaciones atravesadas
M 1	593179	6205764	65	9	24	50	Raigón - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 2	593062	6206995	54	20	12	40	Raigón - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 3	585943	6203578	94	12	1,5	55	Libertad - Fray Bentos - Migués
M 4	589957	6202732	73	10	7,5	50	Raigón - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 5	590378	6197129	65	7	12	45	Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 6	583512	6202561	40	4,3	4,4	40	Libertad - Fray Bentos - Migués
M 7	602104	6202718	67	20	12	60	Libertad - Mercedes Asencio - Migués
M 8	594671	6204599	60	4,8	20	50	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 9	594675	6204556	103	20,8	30	50	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 10	595009	6205118	92	6,4	16	45	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 11	595009	6205118	70	2	27	45	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 12	595012	6205318	87	8,5	22	45	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 13	595020	6205148	100	13	29	45	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 14	595040	6202731	41	6	20	40	Raigón - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 15	595070	6205167	103	7,5	27	45	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 16	595684	6203667	83,1	7,1		60	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 17	596147	6205990	52,6	0		40	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 18	596164	6205851	77,5	11,8	8,9	40	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 19	596272	6205439	71,9	8,28	6,5	45	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 20	596372	6205916	74,35	28		40	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 21	596449	6205303	77,9	12,4		45	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 22	596475	6205915	69	7		40	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 23	597210	6202599	43	1,6	6,6	45	Raigón - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 24	613057	6197830	70	1,3		75	Mercedes Asencio - Migués
M 25	613462	6198253	75	30	12	75	Mercedes Asencio - Migués
M 26	613968	6198797	213,58	8,2	18	80	Mercedes Asencio - Migués
M 27	595822	6188217	93	4	33	80	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 28	595835	6188217	96	4	86	80	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 29	596844	6204966	124	2,6	15,3	45	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio - Migués
M 30	613748	6198298	80	10	14,6	75	Mercedes Asencio - Migués

Tabla 2: Perforaciones que captan agua de Formación Mercedes-Asencio

Código	x (UTM)	Y (UTM)	Profundidad	Q (m³/h)	NE	Cota	Formaciones atravesadas
MA 1	601517	6188533	50	8	12	70	Libertad- Mercedes Asencio
MA 2	594997	6192990	49	0,7	3,35	60	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 3	596795	6192140	42	1,2	6,15	60	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 4	612711	6196545	36	12	5	60	Mercedes Asencio
MA 5	606583	6193082	48	0,5	7	60	Mercedes Asencio
MA 6	610152	6195910	44	18		65	Mercedes Asencio
MA 7	613412	6196206	33	3	8	65	Mercedes Asencio
MA 8	603489	6193105	30	3		55	Mercedes Asencio
MA 9	606631	6187609	20,4	2,4		80	Libertad- Mercedes Asencio
MA 10	589544	6199102	29	1,6	8	50	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 11	591664	6198248	40	8,5	12	50	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 12	591920	6196847	34	0,8	8,85	55	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 13	595561	6192915	29	0,7	6,63	70	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 14	595853	6197398	49	2,5	4	55	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 15	601770	6195825	17	0,8	4,8	50	Libertad- Mercedes Asencio
MA 16	603489	6193225	30	3	6	55	Mercedes Asencio
MA 17	610638	6195319	21	1,2	10	65	Libertad- Mercedes Asencio
MA 18	595349	6192497	40	1,2	1,8	65	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 19	596336	6195239	32	0,8	3,85	60	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 20	605990	6188568	31	8	1	65	Libertad- Mercedes Asencio
MA 21	603532	6189293	31	1,7	5,5	65	Mercedes Asencio
MA 22	613026	6187886	30	1,8	9	80	Libertad- Mercedes Asencio
MA 23	610529	6193927	62	2	15	80	Libertad- Mercedes Asencio
MA 24	605643	6197663	32	2		55	Mercedes Asencio
MA 25	601406	6188337	50	3	14	70	Libertad- Mercedes Asencio
MA 26	607223	6189195	36	8,2	4	70	Mercedes Asencio
MA 27	611005	6195329	44	8	5	65	Libertad- Mercedes Asencio
MA 28	611248	6193733	51	5	8	75	Libertad- Mercedes Asencio
MA 29	611355	6202312	32	3		75	Libertad - Raigón - Mercedes Asencio
MA 30	615029	6198995	29	1	18	80	Libertad- Mercedes Asencio
MA 31	615711	6204391	39	0,56	9,68	80	Libertad - Raigón - Mercedes Asencio
MA 32	615962	6203799	33	0,61	8,7	75	Libertad - Raigón - Mercedes Asencio
MA 33	616185	6202417	24	9	13	80	Raigón - Mercedes Asencio
MA 34	613131	6198305	60	1	5,97	70	Mercedes Asencio
MA 35	616352	6200567	70	14	16	80	Mercedes Asencio
MA 36	613216	6199581	96	1,3	6	80	Libertad- Mercedes Asencio
MA 37	607219	6189197	36	1,2	3,7	70	Mercedes Asencio
MA 38	608491	6198740	50	8,2	4	60	Mercedes Asencio

Código	x (UTM)	Y (UTM)	Profundidad	Q (m <sup>3</sup> /h)	NE	Cota	Formaciones atravesadas
MA 39	617245	6203660	21	2	6	80	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 40	613593	6198363	36,9	2	6,7	70	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 41	613663	6198351	32	12,8	16	70	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 42	594920	6188741	86	19	12	70	Libertad - Fray Bentos - Mercedes Asencio
MA 43	616009	6204179	53	8	1,3	70	Libertad - Raigón - Mercedes Asencio

## 7.2 Rasgos Hidrogeológicos

En base a los datos procesados y los antecedentes es posible afirmar que las dos principales unidades acuíferas las constituyen las formaciones Migues y Mercedes-Asencio. En este sentido se analizaron los datos de las distintas perforaciones que captan agua de las mismas. (Cabe aclarar que también se capta agua de la Formación Fray Bentos y eventualmente la Formación Raigón cuando su potencia así lo permite, pero su importancia en cuanto a los caudales obtenidos es menor). Por otro lado, no se incorporaron en este trabajo mapas piezométricos ya que los datos no fueron suficientes.

### 7.2.1 Formación Migues

La presencia de sedimentos suprayacentes de las formaciones Mercedes-Asencio, Fray Bentos y Libertad hacen que el acuífero se encuentre semiconfinado a confinado como sugieren Bossi et al. (1999) y estaría conformada por varios niveles arenosos de dicha formación.

Como se puede observar en la gráfica de frecuencia de profundidad la mayoría de las perforaciones superan los 60 m, las perforaciones más someras se encuentran próximas a la localidad de San Ramón, donde hay ausencia o espesores poco significativos de Cretácico Superior y la misma se encuentra subyacente a la Formación Fray Bentos. Asimismo, los pozos más profundos se encuentran en dicha localidad y en Tala, superando los 100 m de profundidad. Las profundidades más habituales son del entorno de los 60 a 100 m.

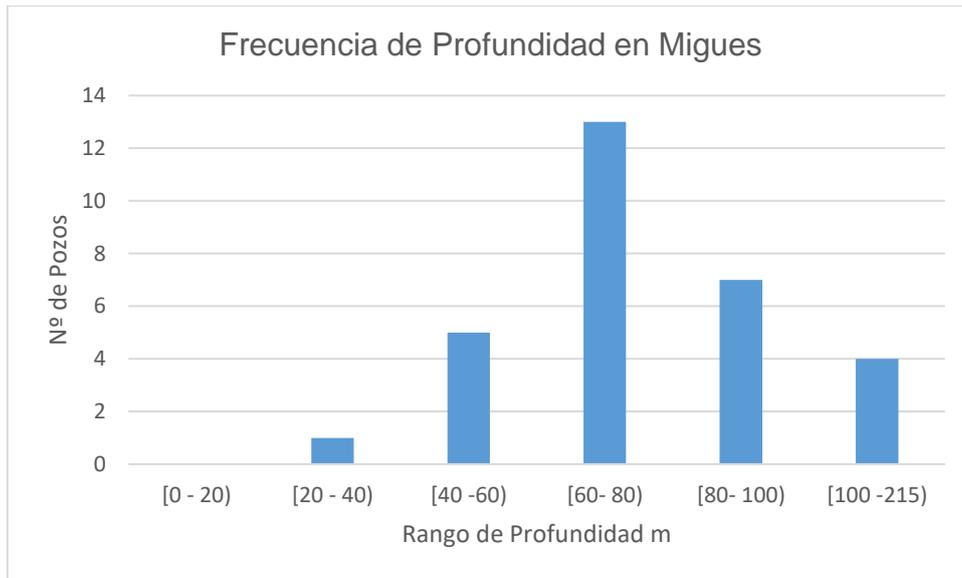


Figura 16: Frecuencia de profundidad en Fm Migués

Teniendo en cuenta los pozos que captan agua de la Formación Migués, se observa que el comportamiento habitual es la predominancia de caudales entre 0 y 10 m<sup>3</sup>/h. El caudal máximo es de 30 m<sup>3</sup>/h, siendo el valor medio de 8,1 m<sup>3</sup>/h. Asimismo se determinaron los caudales específicos (caudal que por metro de depresión se puede extraer del acuífero) para las perforaciones que contaban con datos de nivel estático y dinámico. Los caudales específicos para este acuífero pueden alcanzar valores mayores a 0,8 m<sup>3</sup>/h/m mientras que el promedio se sitúa en 0,55 m<sup>3</sup>/h/m.

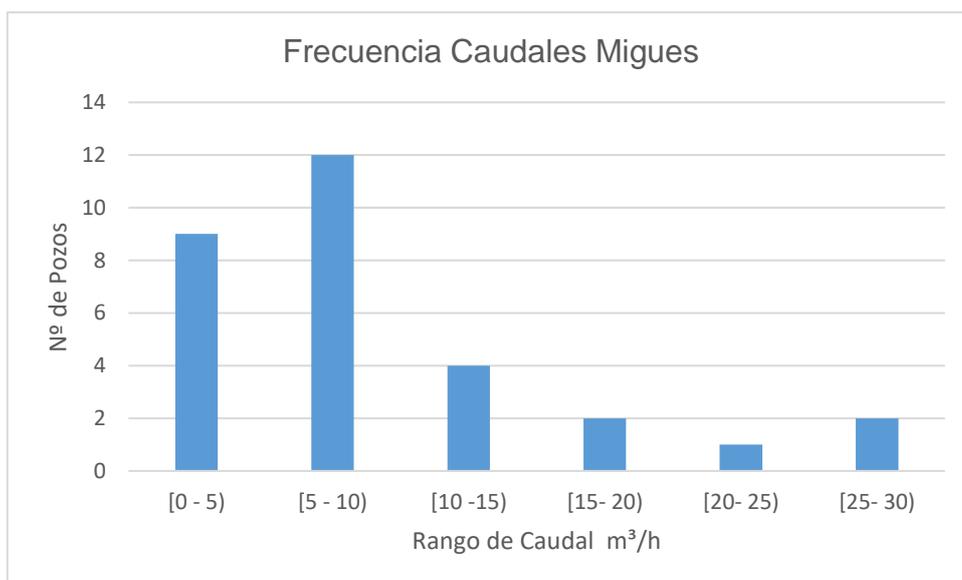


Figura 17 Frecuencia de caudales en Fm Migués:

El grafico Caudal vs Profundidad muestra que no existe una tendencia de aumento del caudal con la profundidad, se puede observar que para profundidades similares los caudales son variables.

De los datos observados se puede confirmar el comportamiento errático del acuífero

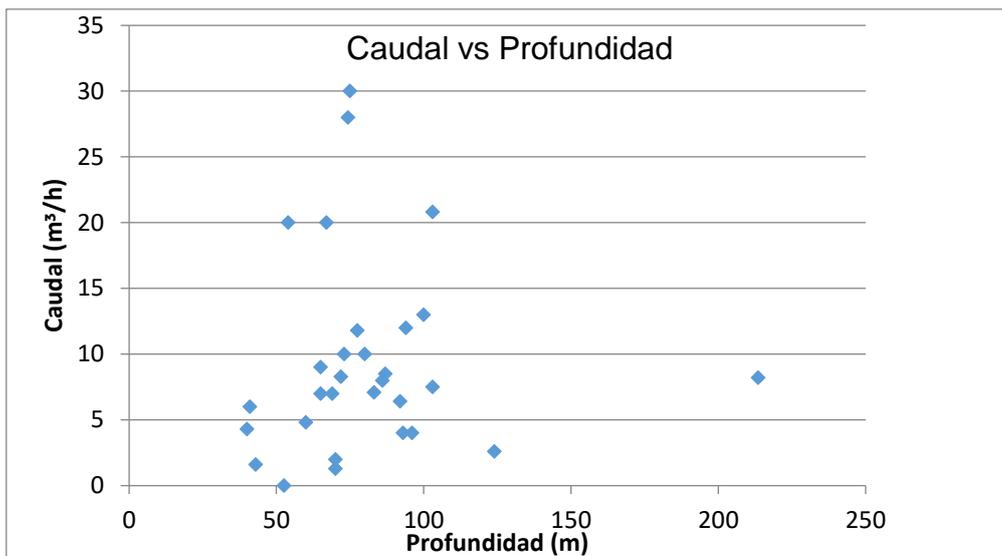


Figura 18: Caudal vs Profundidad en Fm Migués

### 7.2.2. Formación Mercedes Asencio

Las formaciones Mercedes-Asencio afloran fundamentalmente en la mitad oriental del área de estudio, comportándose en estas zonas como un acuífero libre mientras que su comportamiento en el resto del área es de un acuífero confinado a semiconfinado principalmente por las formaciones Libertad y Dolores. Según Bossi et al, (1999), se trata de un acuífero con comportamiento fisurado ya que tanto las areniscas de Asencio que están ferrificadas, como las litologías de Mercedes que están fuertemente silicificadas, han perdido porosidad primaria.

Los espesores en los alrededores de Tala pueden alcanzar 50 m, presentándose a 15 m de profundidad o de forma aflorante, pudiéndose

encontrar a más de 70 m de profundidad en los alrededores de la localidad de San Bautista. La mayoría de las napas se encuentran entre los 20 y 40 m de profundidad donde la unidad es más somera.

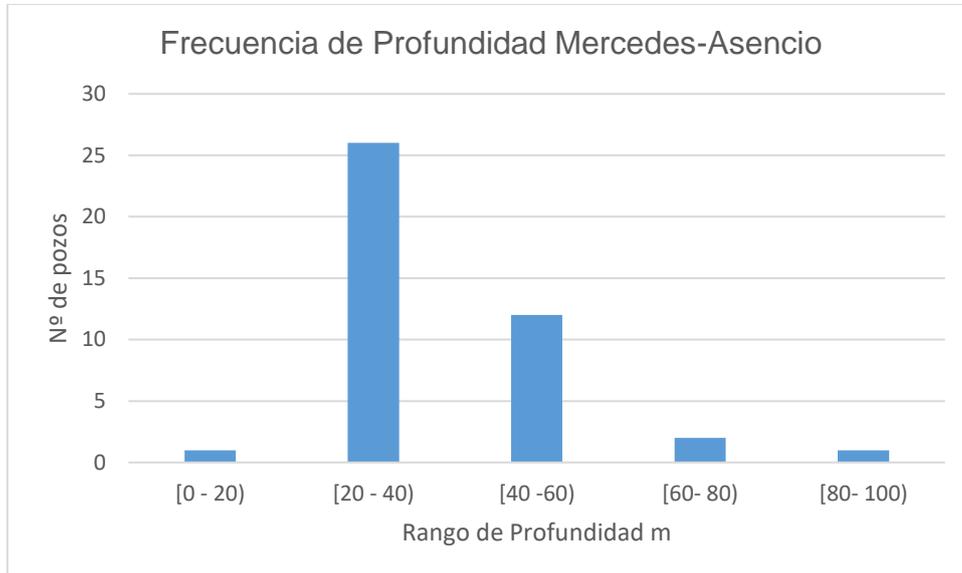


Figura 19: Frecuencia de profundidad en Fm Mercedes-Asencio

Los caudales de este acuífero son predominantemente bajos (menores a 5 m<sup>3</sup>/h), las excepciones de caudales altos pueden corresponderse a fracturas. El caudal máximo es de 19 m<sup>3</sup>/h y el mínimo de 0,5 m<sup>3</sup>/h. Si bien existen caudales específicos que llegan a 3 o 0,8 m<sup>3</sup>/h/m el promedio es de 0,39 m<sup>3</sup>/h/m.

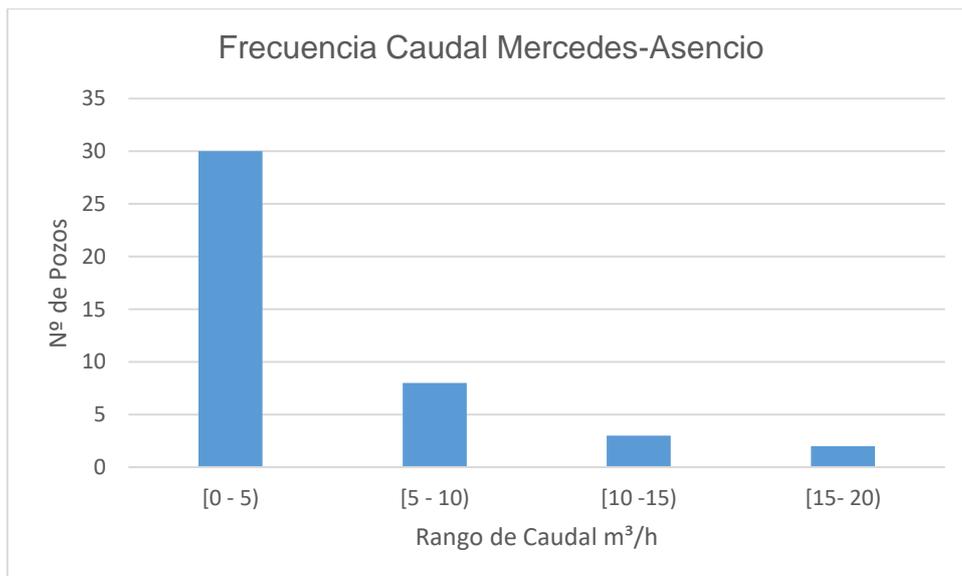


Figura 20: Frecuencia de caudales en Fm Mercedes-Asencio

El comportamiento del acuífero es variable, si bien existe una tendencia a caudales bajos y profundidades entre 20 y 50 m, existen perforaciones con caudales más elevados a similares profundidades, posiblemente por captar el agua de fracturas. Asimismo, este comportamiento variable se puede deber también a las variaciones litológicas de la formación.

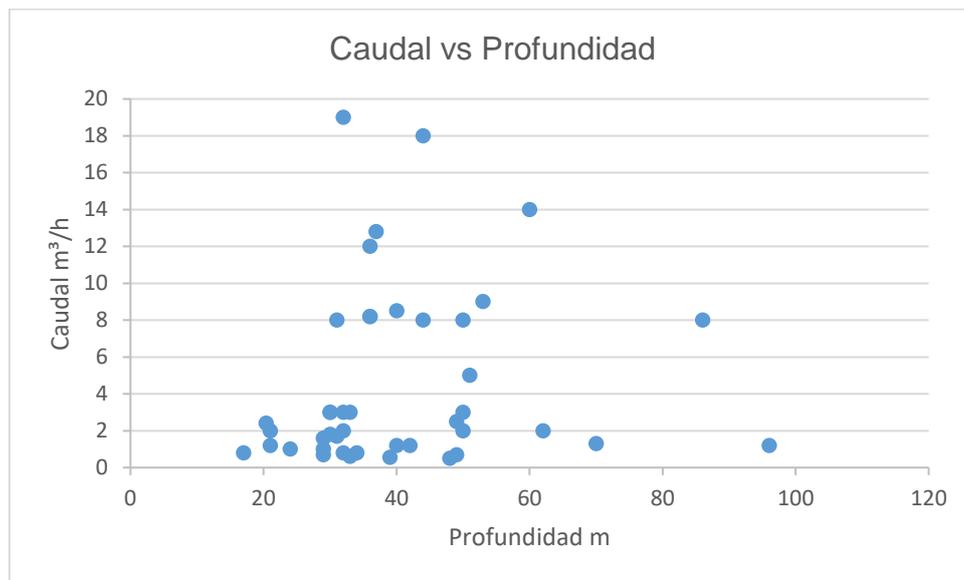


Figura 21: Caudal vs Profundidad en Fm Mercedes-Asencio

### 7.3 Hidrogeoquímica

Para realizar la caracterización química del agua subterránea de los acuíferos Miguey y Mercedes-Asencio (Mercedes en la tabla) se dispuso de 8 análisis fisicoquímicos. Se realizaron análisis químicos de elementos mayores, flúor, nitratos y arsénico por parte del Laboratorio Ecotech (Anexo 3) y se registraron los valores de pH, conductividad eléctrica y temperatura en el momento de la toma de muestras en campo.

Tabla 3: Resultados de análisis fisicoquímicos para los acuíferos Miguey y Mercedes

Pozo	Miguey 1	Miguey 2	Miguey 6	Miguey 7	Unidades	
CE	846	919	967	3531	µs/cm	Medidas in situ
pH	7.18	7.26	7.21	7.19		
T	15.2	18.7	16.5	17.8	°C	
Parámetros	Resultados mg/l				Unidades	Técnica de Referencia
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	303	364	348	233	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 2320 B
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	50	58	82	159	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	SM 4500 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E
Cl <sup>-</sup>	79	80	108	935	mgCl/L	SM 4500 Cl <sup>-</sup> B
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9.1	16	11	21	mgNO <sub>3</sub> /L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1
F <sup>-</sup>	0.3	0.3	0.4	0.3	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1
K <sup>+</sup>	5.6	3.9	2.3	6.1	mg/L	Basado en EPA 6010 D
Na <sup>+</sup>	110	123	135	571	mg/L	Basado en EPA 6010 D
Ca <sup>2+</sup>	125	136	173	294	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 3600 Ca B
Mg <sup>2+</sup>	68	79	58	181	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 3500 Mg B
As	0.008	<0.005	0.008	0.006	mg/L	Basado en EPA 6010 D
Pozo	Mercedes 1	Mercedes 4	Mercedes 5	Mercedes 7	Unidades	
CE	1032	1253	1155	1176	µs/cm	Medidas in situ
pH	7.44	7.53	7.37	7.43		
T	20.4	19.6	19.1	21.1	°C	
Parámetros	Resultados mg/l				Unidades	Técnica de Referencia
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	505	466	461	492	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 2320 B
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	78	97	48	87	mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	SM 4500 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E
Cl <sup>-</sup>	31	128	138	98	mgCl/L	SM 4500 Cl <sup>-</sup> B
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.5	12	1.6	12	mgNO <sub>3</sub> /L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1
F <sup>-</sup>	0.9	0.6	0.8	0.7	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1
K <sup>+</sup>	1.7	3.0	2.5	2.6	mg/L	Basado en EPA 6010 D
Na <sup>+</sup>	204	209	224	206	mg/L	Basado en EPA 6010 D
Ca <sup>2+</sup>	75	139	104	119	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 3600 Ca B
Mg <sup>2+</sup>	41	79	28	82	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 3500 Mg B
As	0.04	0.03	0.03	0.02	mg/L	Basado en EPA 6010 D

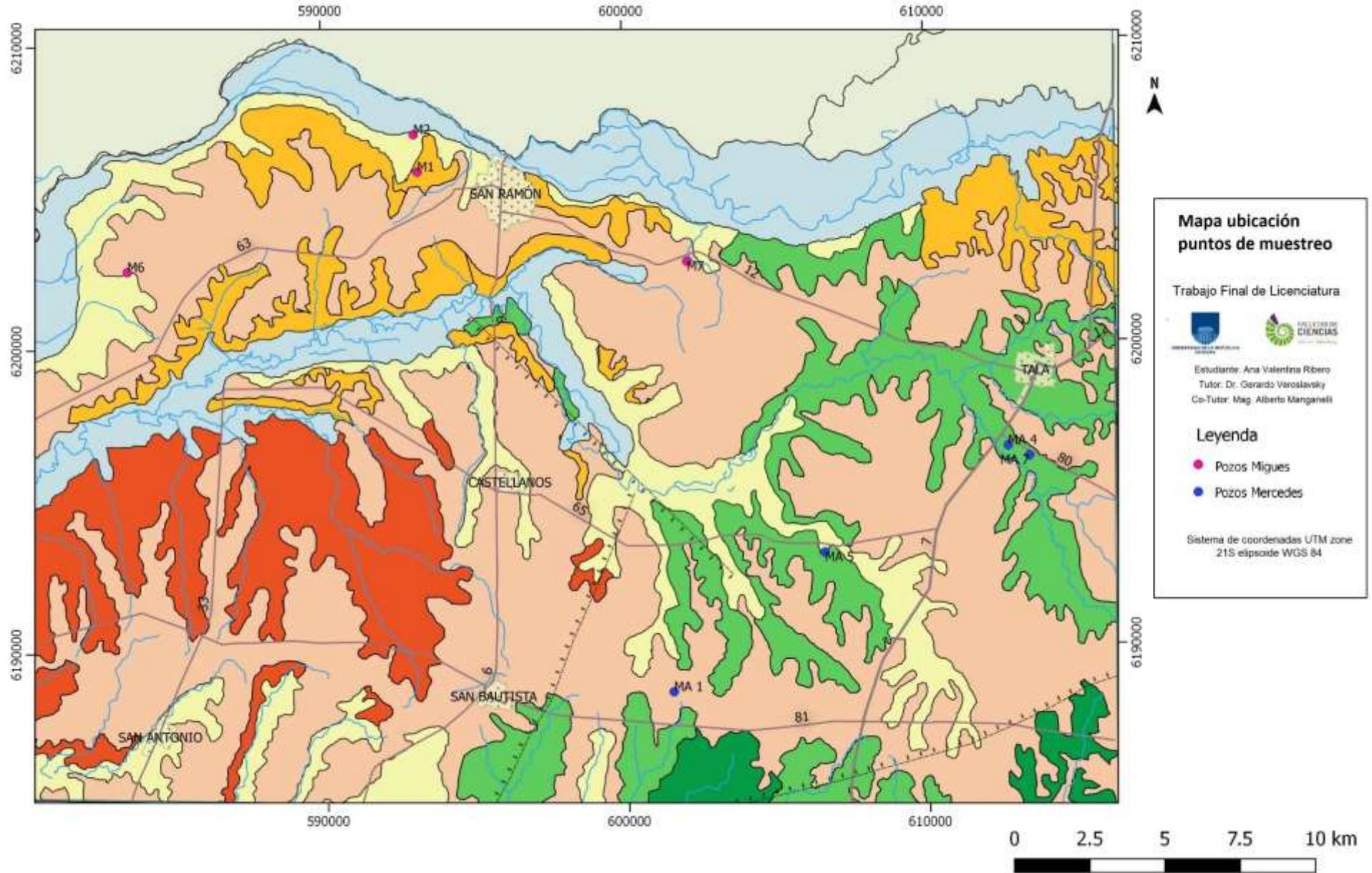


Figura 22: Mapa ubicación de perforaciones muestreadas

### 7.3.1 Acuífero Migués

Se extrajeron cuatro muestras de agua correspondientes al acuífero Migués. El tratamiento de datos puede observarse en la tabla 4. El agua subterránea de este acuífero presenta pH, temperatura y conductividad eléctrica apta para consumo humano según norma UNIT 883:2008, salvo en un caso (Migués 7) en el que la conductividad eléctrica supera el valor máximo permitido para consumo humano, en esta misma perforación se detectaron valores que se apartan notoriamente del resto de los resultados (concentración de Cl, Mg y Na). Estos resultados (en Migués 7) pueden deberse a factores externos (por contaminación) o por presencia puntual de sales como sugieren Bossi et al. (1999).

Tabla 4: Resultados Elementos Mayores para Diagramas Piper, Schoeller-Berkaloff y SAR (Migués)

	Migués 1	Migués 2	Migués 6	Migués 7
	meq/l			
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	4,97	5,97	5,7	3,82
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	0,26	0,3	0,43	0,83
<b>Cl<sup>-</sup></b>	2,23	2,26	3,05	26,37
<b>Suma Aniones</b>	7,46	8,53	9,18	31,02
<b>Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup></b>	4,92	5,45	5,93	25
<b>K<sup>+</sup></b>	0,14	0,1	0,06	0,16
<b>Na<sup>+</sup></b>	4,78	5,35	5,87	24,84
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	1,56	1,7	2,16	3,67
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	1,4	1,63	1,19	3,72
<b>Suma Cationes</b>	7,88	8,78	9,28	32,39
<b>Balance Iónico (%)</b>	2,74	1,44	0,54	0,02
	(%)			
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	66,62	69,99	62,1	12,31
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	3,49	3,52	4,68	2,68
<b>Cl<sup>-</sup></b>	29,89	26,49	33,22	85,01
<b>Suma Aniones</b>	100	100	100	100
<b>Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup></b>	62,44	62,07	63,9	77,18
<b>K<sup>+</sup></b>	1,78	1,14	0,65	0,49
<b>Na<sup>+</sup></b>	60,66	60,93	63,25	76,69
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	19,79	19,36	23,28	11,33
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	17,77	18,57	12,82	11,49
<b>Suma Cationes</b>	100	100	100	100
<b>Índice SAR</b>	5,56	5,86	6,41	18,28

## Características Fisicoquímicas

**Temperatura:** de las muestras analizadas en campo, surge una temperatura media del agua subterránea para el acuífero Migues de 17,05 °C, mientras que las temperaturas máxima y mínima son de 18,7°C y 15,2°C respectivamente. Estas temperaturas son consistentes con temperaturas normales de aguas subterráneas.

**Potencial de Hidrogeniones:** en cuanto a los valores de pH en campo, el valor máximo es de 7,26 y el mínimo de 7,18, siendo estos valores normales para aguas subterráneas.

**Conductividad Eléctrica:** la CE para este acuífero presenta un valor medio de 910,66 µs/cm, para el cálculo de este valor no se tomó en cuenta el valor máximo tomado en campo correspondiente a 3.531 µs/cm en la perforación Migues 7, por representar un valor muy anómalo. Se observa que el valor mínimo tomado en la perforación Migues 1 tiene un valor de 846 µs/cm.

### Iones Principales

El margen de error representado a través del balance iónico para las muestras tratadas es aceptable, verificando así la consistencia de los análisis realizados.

**Potasio:** la concentración media de este elemento es de 4,47 mg/l. El valor máximo corresponde a la perforación Migues 7, siendo éste de 6,1 mg/l, mientras que el valor mínimo corresponde a 2,3 mg/l en la perforación Migues 1. Para este elemento tanto la norma UNIT 883.2008 como la OMS no establecen niveles permitidos.

**Sodio:** de los análisis de este elemento surge en la perforación Migues 7 un valor de 571 mg/l que supera ampliamente el resto de los valores analizados. Asimismo, este valor supera los valores máximos (200 mg/l) permitidos de calidad de agua potable según la norma UNIT 883.2008. Sin tomar en cuenta este valor, la concentración media de sodio para este acuífero es de 135 mg/l, siendo el valor mínimo registrado en la perforación Migues 1 de 110 mg/l. Estos valores están dentro de los valores de calidad para agua potable según la norma UNIT 883:2008.

**Calcio:** la concentración media de este elemento es de 182 mg/l, registrándose el valor máximo correspondiente a 294 mg/ en la perforación Migués 7, el mínimo valor de concentración corresponde a 125 mg/l en la perforación Migués 1. No superando en ninguno de los casos los valores máximos permitidos (500 mg/l)

**Magnesio:** La concentración media de Mg para este acuífero es de 96,5 mg/l. Registrando el máximo valor en la perforación Migués 7 con una concentración de 181 mg/l y su mínimo valor de 58 mg/l en la perforación Migués 6. No superando en ninguno de los casos los valores máximos permitidos (500 mg/l)

**Bicarbonato:** Se determinó una concentración media para este anión de 312 mg/l, siendo su máximo valor 346 mg/l en la perforación Migués 2 y el mínimo de 233 mg/l en la perforación Migués 7. No superando en ninguno de los casos los valores máximos permitidos (500 mg/l)

**Sulfato:** El valor máximo de concentración para este anión es de 159 mg/l en la perforación Migués 7, siendo su valor mínimo de 50 mg/l en la perforación Migués 1. El valor medio de concentración es de 87,25 mg/l. Estos valores no superan los valores máximos permitidos (400 mg/l) por la norma UNIT 883.2008.

**Cloruros:** La concentración media determinada para cloruros es de 89 mg/l, para el cálculo de este valor no se tomó en cuenta el valor máximo correspondiente a la perforación Migués 7 de 935 mg/l, este valor supera ampliamente el valor máximo permitido, que según la norma UNIT 883.2008 es de 250mg/l. El mínimo valor de concentración para este anión es de 79 mg/l y corresponde a la perforación Migués 4.

**Nitrato:** La concentración máxima de nitratos se obtuvo en la perforación Migués 7 con un valor de 21 mg/l y la mínima correspondiente a 9,1 mg/l en la perforación Migués 1. El valor medio calculado es de 14,27 mg/l. Estos valores no superan los valores máximos permitidos (50 mg/l) según la norma UNIT 883.2008.

**Fluoruro:** Para este anión la concentración máxima tiene un valor de 0,4 mg/l mientras que la mínima es de 0,3 mg/l, siendo el valor medio de 0,32 mg/l. Estos valores se encuentran dentro de los valores permitidos (1,5 mg/l) por la norma UNIT 883.2008.

A partir de estos datos se realizaron los siguientes diagramas de Piper, Schoeller – Berkloff y SAR.

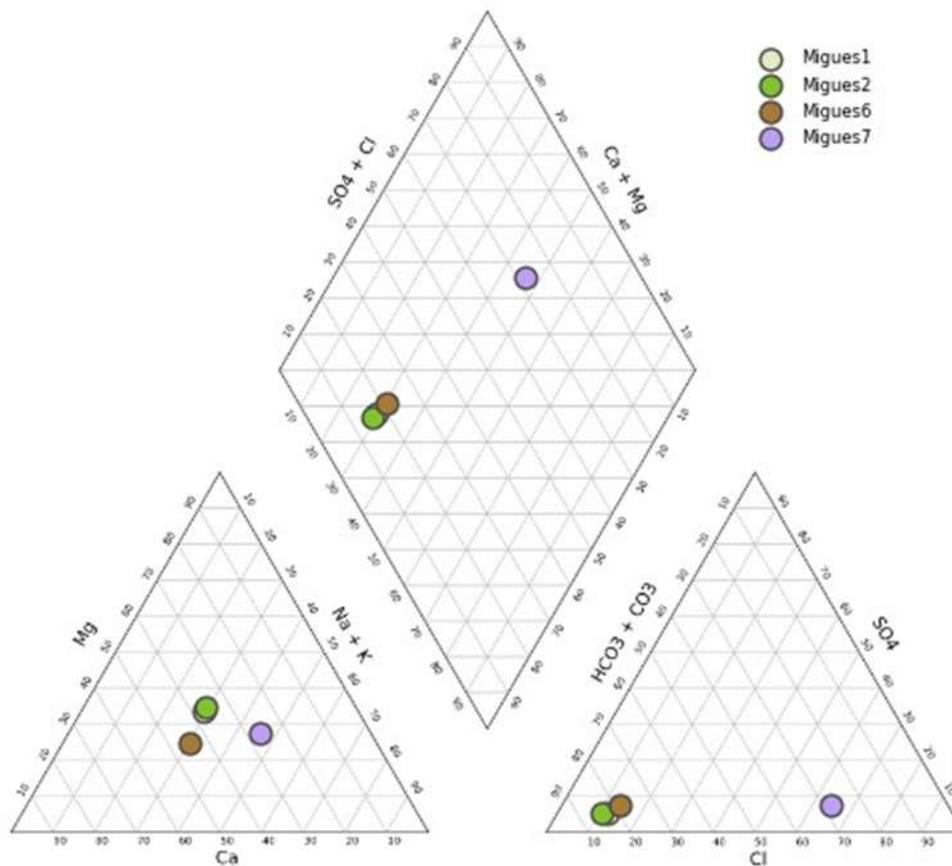


Figura 23: Diagrama Piper correspondiente al acuífero Migues

En el diagrama Piper elaborado se puede observar claramente como el agua captada de Migues 7 contiene elevadas concentraciones de cloro, magnesio y sodio, clasificándose como clorurada cálcica magnésica. Para el resto de las muestras el agua captada se clasifica como bicarbonatadas cálcicas magnésicas.

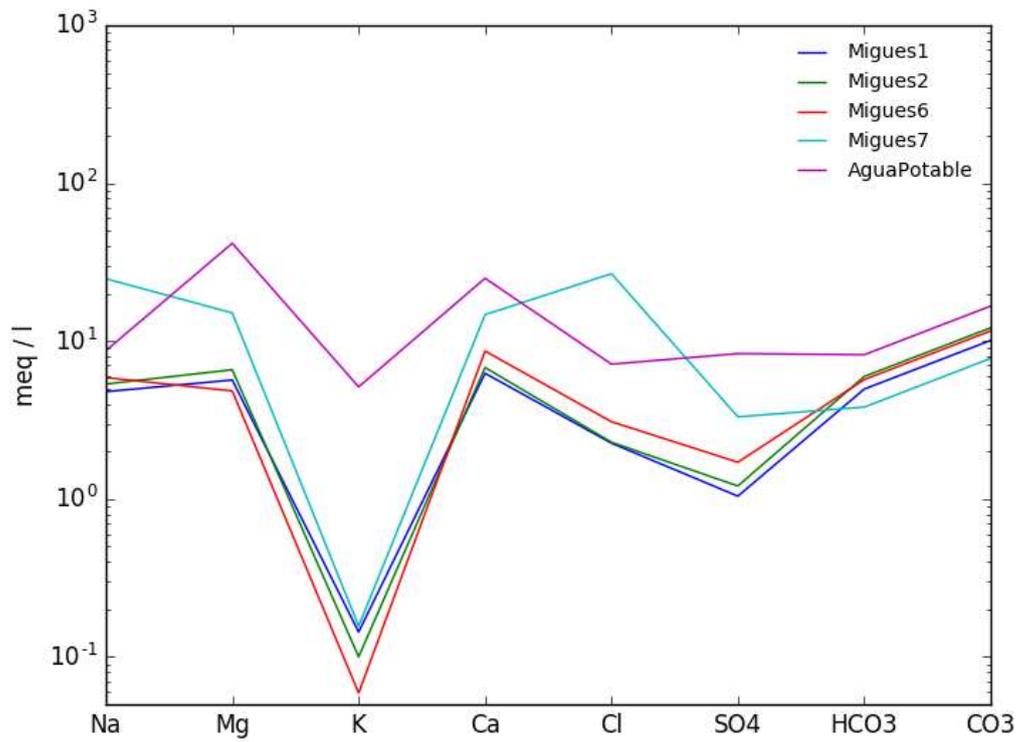


Figura 24: Diagrama Schoeller – Berkloff correspondiente a acuífero Migues

En base al diagrama Schoeller – Berkloff es posible observar que en general las aguas del acuífero Migues no superan los máximos permitidos para agua potable, salvo para la perforación Migues 7 donde el Na y el Cl superan los valores máximos permitidos

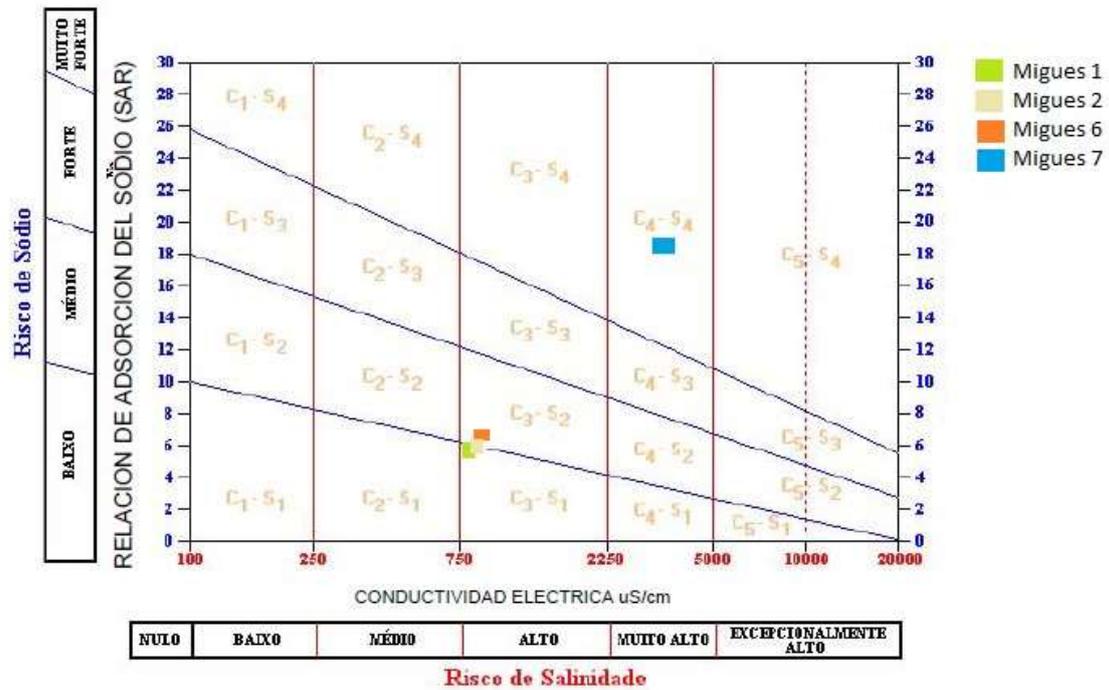


Figura 25: Diagrama SAR, Calidad de agua para riego correspondiente a acuífero Migues

Se puede clasificar a las aguas del acuífero Migues como C3-S2 y C3-S1, En este sentido y en general, si bien la salinidad es elevada, el riesgo de sodificación es bajo. En cuanto al agua de la perforación Migues 7, no es recomendada para riego ya que tanto los valores de salinidad como de sodio son elevados.

### 7.3.2 Acuífero Mercedes

Se extrajeron cuatro muestras de agua correspondientes al acuífero Mercedes. El tratamiento de datos puede observarse en la tabla 5. El agua subterránea de este acuífero presenta pH, temperatura y conductividad eléctrica apta para consumo según norma UNIT 883:2008.

Tabla 5: Resultados Elementos Mayores para Diagramas Piper, Schoeller-Berkaloff y SAR (Mercedes)

	Mercedes 1	Mercedes 4	Mercedes 5	Mercedes 7
	meq/l			
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	8,28	7,64	7,56	8,07
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	0,41	0,5	0,25	0,45
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0,87	3,6	3,89	2,76
<b>Suma Aniones</b>	9,56	11,74	11,7	11,28
<b>Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup></b>	8,89	9,17	9,8	9,03
<b>K<sup>+</sup></b>	0,02	0,08	0,06	0,07
<b>Na<sup>+</sup></b>	8,87	9,09	9,74	8,96
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0,94	1,73	1,3	1,48
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,84	1,63	0,58	1,69
<b>Suma Cationes</b>	10,67	12,53	11,68	12,2
<b>Balance Iónico (%)</b>	5,49	3,26	-0,09	3,92
	(%)			
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	86,61	65,08	64,62	71,54
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	4,29	4,26	2,13	3,99
<b>Cl<sup>-</sup></b>	9,1	30,66	33,25	24,47
<b>Suma Aniones</b>	100	100	100	100
<b>Na<sup>+</sup>+ K<sup>+</sup></b>	83,32	73,19	83,9	74,02
<b>K<sup>+</sup></b>	0,19	0,64	0,51	0,58
<b>Na<sup>+</sup></b>	83,13	72,55	83,39	73,44
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	8,81	13,81	11,13	12,13
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	7,87	13	4,97	13,85
<b>Suma Cationes</b>	100	100	100	100
<b>Indice SAR</b>	13,29	9,92	14,21	10,06

## Características Fisicoquímicas

**Temperatura:** de las muestras analizadas en campo, surge una temperatura media del agua subterránea para el acuífero Mercedes de 18,55 °C, mientras que las temperaturas máxima y mínima son de 21,1°C y 19,1°C respectivamente. Estas temperaturas son consistentes con temperaturas normales de aguas subterráneas.

**Potencial de Hidrogeniones:** en cuanto a los valores de pH en campo, el valor máximo es de 7,53 y el mínimo de 7,37, siendo estos valores normales para aguas subterráneas y aptos para consumo.

**Conductividad Eléctrica:** la CE para este acuífero presenta un valor medio de 1.154  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Se observa que el valor mínimo tomado en la perforación Mercedes 1 de 1.032  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , mientras que el máximo valor corresponde a la perforación Mercedes 4, siendo este de 1.253  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

### Iones Principales

El balance iónico estos análisis químicos es consistente, siendo el margen de error para las conductividades eléctricas aceptables.

**Potasio:** la concentración media de este elemento es de 2,45 mg/l. El valor máximo corresponde a la perforación Mercedes 4, siendo éste de 3 mg/l, mientras que el valor mínimo corresponde a 1,7 mg/l en la perforación Mercedes 1.

**Sodio:** de los análisis de este elemento surge que el valor medio es de 210,75 mg/l superando el valor máximo permitido (200 mg/l) según la norma UNIT 883:2008. El valor máximo de concentración es de 224 mg/l corresponde a la perforación Mercedes 5 y el valor mínimo es de 204 mg/l correspondiente a la perforación Mercedes 1.

**Calcio:** la concentración media de este elemento es de 109,25 mg/l, registrándose el valor máximo correspondiente a 139 mg/l en la perforación Mercedes 4, el mínimo valor de concentración corresponde a 75 mg/l en la perforación Mercedes 1. No superando en ninguno de los casos los valores máximos permitidos (500 mg/l)

**Magnesio:** La concentración media de Mg para este acuífero es de 57,5 mg/l. Registrando el máximo valor en la perforación Mercedes 7 con una concentración de 82 mg/l y su mínimo valor de 28 mg/l en la perforación Mercedes 5. No superando en ninguno de los casos los valores máximos permitidos (500 mg/l)

**Bicarbonato:** Se determinó una concentración media para este anión de 481 mg/l, siendo su máximo valor 505 mg/l en la perforación Mercedes 1 y el mínimo de 461 mg/l en la perforación Mercedes 5. Superando los valores máximos permitidos (500 mg/l) en la perforación Mercedes 1.

**Sulfato:** El valor máximo de concentración para este anión es de 97 mg/l en la perforación Mercedes 4, siendo su valor mínimo de 48 mg/l en la perforación Mercedes 5. El valor medio de concentración es de 77,5 mg/l. Estos valores no superan los valores máximos permitidos (400 mg/l) por la norma UNIT 883.2008.

**Cloruros:** La concentración media determinada para cloruros es de 98,75 mg/l. El mínimo valor de concentración para este anión es de 31 mg/l y corresponde a la perforación Mercedes 1, siendo el valor máximo de 138 mg/l en la perforación Mercedes 5. Estos valores no superan los valores máximos permitidos (250 mg/l) por la norma UNIT 883.2008.

**Nitrato:** La concentración máxima de nitratos se obtuvo en las perforaciones Mercedes 4 y 7 con un valor de 12 mg/l, el valor mínimo es de 1,6 mg/l en la perforación Mercedes 5. El valor medio calculado es de 8 mg/l. Estos valores no superan los valores máximos permitidos (50 mg/l) según la norma UNIT 883.2008.

**Fluoruro:** Para este anión la concentración máxima tiene un valor de 0,9 mg/l mientras que la mínima es de 0,6 mg/l, siendo el valor medio de 0,75 mg/l. Estos valores se encuentran dentro de los valores permitidos (1,5 mg/l) por la norma UNIT 883.2008.

A partir de estos datos se realizaron los siguientes diagramas de Piper, Schoeller – Berkaloff y SAR.

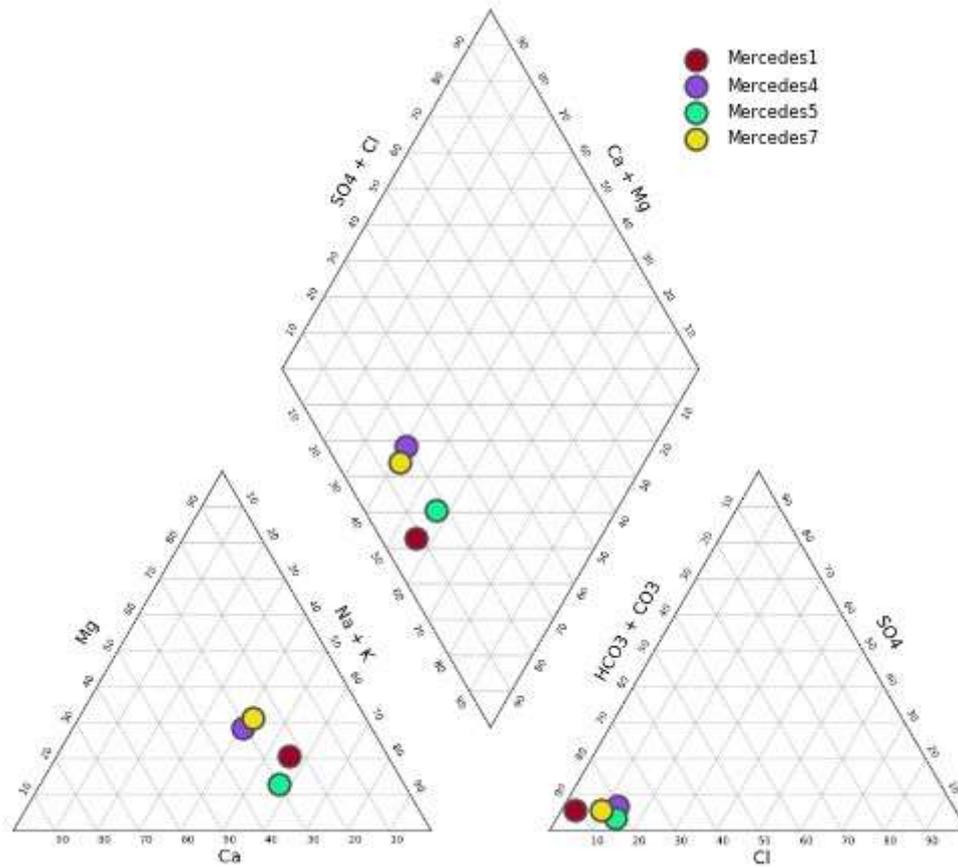


Figura 26: Diagrama Piper correspondiente a acuífero Mercedes

Si bien se puede observar alguna variabilidad en las concentraciones del Cl, Mg y Ca en las distintas perforaciones, el agua del acuífero Mercedes-Asencio se clasifica según el diagrama de Piper como bicarbonatadas sódicas, cálcicas y magnésicas

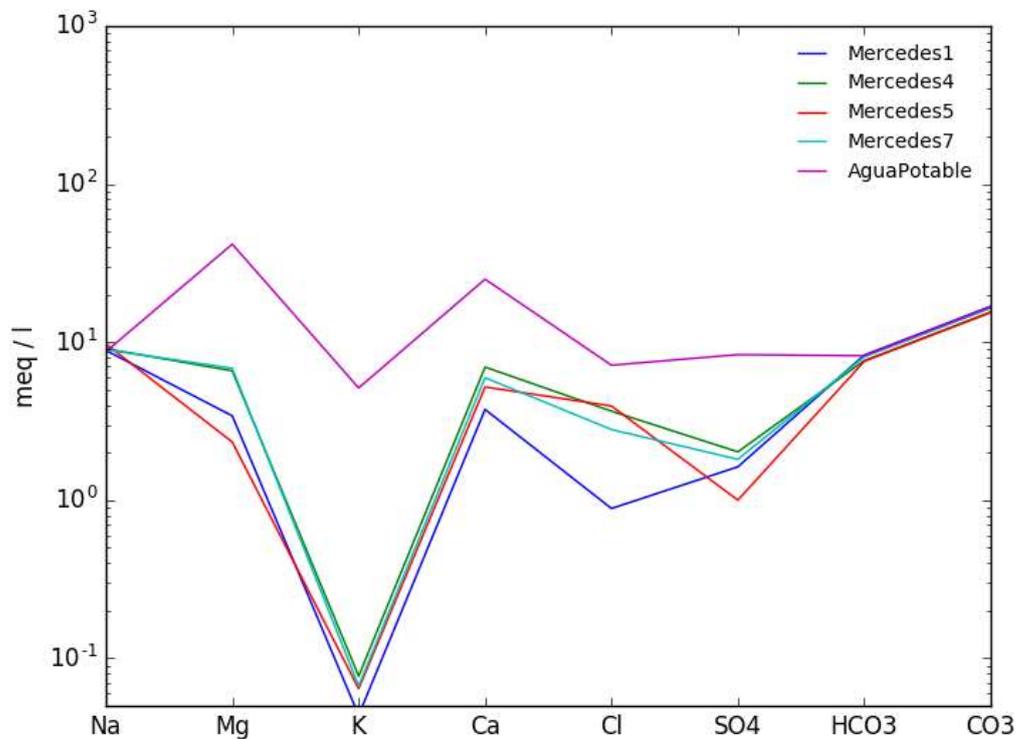


Figura 27: Diagrama Schoeller – Berkaloff correspondiente a acuífero Mercedes

A través del diagrama de Schoeller-Berkaloff se puede observar que concentración de los elementos analizados no superan los límites permitidos para agua potable. Salvo la perforación Mercedes 5 donde los valores de Na (224 mg/l) superan los valores máximos permitidos.

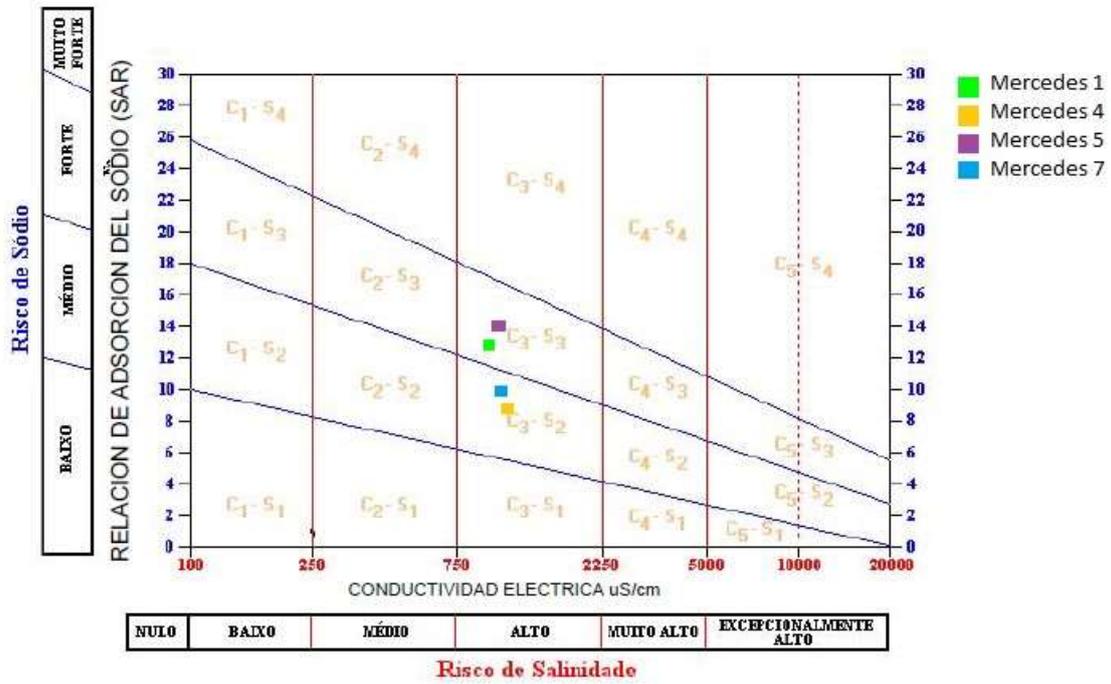


Figura 28: Diagrama SAR, Calidad de agua para riego correspondiente a acuífero Mercedes

Del diagrama SAR es posible clasificar a las aguas para riego como C3-S2 y C3-S3, en este sentido las aguas presentan elevada salinidad y valores medios y altos de sodio que pueden generar concentración de este elemento en el suelo.

### 7.3.3 Elementos Traza – Arsénico

En la zona de estudio existen perforaciones con contenido de arsénico en niveles no permitidos para el consumo. En este sentido se analizó la concentración de dicho elemento. El Arsénico se considera tóxico para el organismo y en exceso puede ocasionar lesiones superficiales de la piel, irritación del estómago y pulmones, disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos y cáncer (OMS, (2006)). El máximo valor permitido según la OMS para consumo es de 0,01 mg/l. En Uruguay, la norma de potabilidad UNIT 833-2008 y el Decreto 375-11 indican que el límite para el As es de 0.02 mg/l

Se detectaron los siguientes valores para los distintos acuíferos

Pozo	Migues 1	Migues 2	Migues 6	Migues 7
As mg/L	0.008	<0.005	0.008	0.006

Pozo	Mercedes 1	Mercedes 4	Mercedes 5	Mercedes 7
As mg/L	0.04	0.03	0.03	0.02

Se observa que en la Formación Migues el agua no presenta problemas respecto a la norma de potabilidad, en cambio la Formación Mercedes presenta niveles no aceptables. Esto en principio, si bien requiere de un estudio más profundo, marca una tendencia que resulta de importancia para la prospección de agua para consumo humano.

## 8. DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

### *Unidades geológicas relevantes*

A partir del mapa geológico, la revisión y descripción de datos de perforaciones, se realizaron 3 cortes geológicos del área de estudio y un bloque diagrama en base a estos. Esto permitió avanzar en la elaboración de un modelo geológico conceptual en donde es posible visualizar la distribución, geometría, y arquitecturas de las principales unidades geológicas del área, en particular, aquellas que poseen un potencial para la exploración y explotación de sus aguas subterráneas. La posibilidad de contar con dos perforaciones a testigo continuo en los alrededores de Tala y San Bautista, con profundidades que permitieron alcanzar y visualizar las formaciones cretácicas fueron de gran utilidad, ya que permitieron amarrar otras perforaciones cuya información no era precisa.

En cuanto a las formaciones reconocidas, Migueles constituye el segundo acuífero de importancia en la zona por la cantidad de perforaciones existentes y que captan agua del mismo. Esta formación fue posible observarla como aflorante al Sureste de la zona de estudio, como se puede observar en el mapa elaborado (figura 8), coincidiendo con las zonas aflorantes descritas en Bossi et al. (1999). Según las descripciones litológicas de las perforaciones existentes, en el resto del área, esta unidad se encuentra a profundidades variables, identificándose a mayor profundidad al SW de la zona de estudio y a 50 m aproximadamente de profundidad hacia el N del área. En este sentido fue posible observar una diferencia considerable en las profundidades de esta formación a pocos kilómetros de distancia, lo que puede tener un control estructural asociado a fallas. Asimismo, se identificaron areniscas finas, limo-arcillitas rojas a rosadas y pardas, con niveles carbonáticos y niveles conglomerádicos lenticulares intercalados con arcillas, distinguiendo niveles silicificados horizontales típicos de esta formación.

La Formación Mercedes–Asencio caracterizada principalmente por areniscas finas y limolitas rosadas claras y pardo amarillentas, conglomerados y

areniscas conglomerádicas, constituye el principal acuífero por la cantidad de perforaciones que captan agua de esta unidad. Si bien no fueron separadas cartográficamente estas unidades, es claro que los términos comúnmente asignados a la Formación Mercedes (en el sentido de Bossi, 1966) son lo que poseen el carácter acuífero más marcado. Esta unidad presenta espesores y profundidades variables, llegando a potencias de casi 60 m en las proximidades de la localidad de Tala, donde se encuentra de forma aflorante o a escasos metros de profundidad. En las proximidades de la localidad de San Bautista la misma se encuentra a profundidades cercanas a los 80 m y con espesores que no superan los 15 m, corroborando lo sugerido por Bossi et al. (1999). Por otro lado, próximo a San Ramón esta formación presenta espesores de muy pocos metros o se encuentra ausente como en toda la zona W del área de estudio.

La Formación Fray Bentos se encuentra presente en profundidad en la mayor parte del área, esto fue posible observarlo a través de descripciones de perforaciones. En la zona suroeste, esta unidad encuentra espesores considerables de 20 a 70 m, mientras que en la zona Este los espesores no superan los 20 m o directamente está ausente. La misma se encuentra aflorando parcialmente en la zona W tal como las observadas por Spoturno et al. (2004), representada por limo-arcillitas pardo rosadas, con presencia de nódulos de carbonato de calcio y clastos de cuarzo con escaso cemento carbonático.

Los espesores observados para la Formación Raigón, en descripciones de perforaciones no superan los 15 m y algunas perforaciones captan agua de la misma, pero su connotación como acuífero en esta zona no es relevante ya que su extensión, espesor y caudales no son significativos

A través de trabajo de campo fue posible observar que en la mayor parte del área de estudio la formación que se presenta como aflorante es Libertad, mientras que no fue posible observar el denominado miembro San Bautista de la Formación Raigón. Las arcillas y limo-arcillitas de tonalidades marrones y grises con presencia de carbonato de calcio en forma de concreciones corresponden a litologías de la Formación Libertad descritas por Spoturno et al.

(2004). Esta formación no supera los 20 m de espesor siendo en general menores a este valor (entre 2 y 11 m).

.

### *Rasgos Hidrogeológicos*

En base a los antecedentes y la caracterización geológica a través de descripciones de perforaciones es posible afirmar que las principales unidades acuíferas corresponden a las formaciones Migues y Mercedes-Asencio. En este sentido se analizaron datos de profundidad y caudales ya que esta información es relevante a la hora de realizar una perforación para captación de agua subterránea. Por otro lado, es importante aclarar el sesgo de los datos y el error que puede representar el modelo estadístico en estos casos ya que las posibilidades de la existencia de más perforaciones es una realidad, así como la posibilidad de la variación de los caudales a través del tiempo. Asimismo, algunas de estas perforaciones pueden estar en desuso. De todas maneras, estos datos nos brindan una idea del comportamiento general de los distintos acuíferos.

En cuanto al acuífero Migues las perforaciones que captan agua de esta formación se encuentran generalmente en el sector N del área de estudio, a profundidades predominantemente entre 60 y 100 m, existiendo pozos que captan a menor profundidad (40 m aproximadamente). Comportándose como un acuífero semiconfinado a confinado debido a las formaciones ya mencionadas que se encuentran por encima de esta formación. Los caudales se encuentran mayoritariamente entre 0 y 10 m<sup>3</sup>/h, siendo el caudal máximo 30 m<sup>3</sup>/h. En base a estos datos también se elaboró un gráfico de caudal vs profundidad a través del cual se puede observar la variabilidad de caudales a profundidades similares y viceversa, confirmando el comportamiento errático de este acuífero observado por Bossi et al. (1999).

El acuífero Mercedes-Asencio se presenta como libre, confinado y semiconfinado según la zona. Asimismo, la mayoría de las perforaciones se encuentran donde el acuífero es libre o semiconfinado, a profundidades que van de 20 a 60 m mayoritariamente. Su comportamiento es variable, si bien existe

una tendencia a caudales bajos (menores a 5 m<sup>3</sup>/h), a profundidades entre 20 y 60 m, existen perforaciones con caudales más elevados (mayores a 10 m<sup>3</sup>/h) a similares profundidades, posiblemente por captar el agua de fracturas. Asimismo, este comportamiento variable se puede deber también a las variaciones litológicas de la formación.

### *Hidrogeoquímica*

En los últimos años se ha tomado conciencia de la importancia de la calidad del agua para sus distintos usos y como el desconocimiento de la misma puede traer problemas de salud en la población, animales o inclusive a los cultivos. En este sentido y debido a la relevancia del tema se realizó para este trabajo una caracterización de las aguas para los dos acuíferos principales. Teniendo en cuenta la posibilidad de niveles significativos de As en la Formación Mercedes-Asencio y la posibilidad de niveles elevados de salinidad en la Formación Migueles según antecedentes de la zona. Dado el modelo geológico de subsuelo, son dos las unidades que podrían estar aportando el As a las aguas subterráneas: la Formación Fray Bentos, con loess y vitroclastos en su composición podrían infiltrar a los niveles acuíferos inferiores, y/o la propia Formación Asencio- Mercedes, asociada a los procesos de intensa lixiviación a la que fueron sometidos durante el final del Cretácico Tardío – Terciario Temprano. Esas dos unidades deberían ser objetivos de análisis geoquímicos sistemáticos para conocer los tenores de As y otros metales, a efectos de conocer su potencial para contaminar las aguas.

De estos análisis es posible considerar que las aguas de Migueles en general se clasifican como bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, salvo el agua de la perforación Migueles 7 que se clasifica como clorurada cálcica magnésica. Asimismo, los valores de pH y temperatura son normales para aguas subterráneas, siendo la temperatura media 17,05 °C y los valores de pH entre 7,26 y 7,18. La conductividad eléctrica tiene valores en torno a los 910 µs/cm, salvo en Migueles 7 donde la conductividad tiene un valor de 3.531 µs/cm. Como es posible observar la perforación Migueles 7 tiene elevados niveles de salinidad. Estos resultados son esperables en dicha formación, ya que si bien en general

las aguas presentan valores aptos para el consumo y riego en algunos niveles presenta estas dificultades tal como lo expresado por Bossi et al, (1999) y otras perforaciones existentes en Canelones que captan agua de esta formación. A través del diagrama Schoeller – Berkloff se puede observar claramente el agua de la perforación Migués 7 se encuentra enriquecida en los iones de Ca, Mg, Na y Cl. Superando la concentración del Cl los valores máximos permitidos para agua potable.

Analizando los datos del diagrama SAR para riego las aguas se clasifican como C3-S1 y C3-S2, salvo la perforación Migués 7 que se clasifica como C4-S4. En este sentido y en general, si bien la salinidad es elevada, el riesgo de sodificación es bajo y en suelos con buen drenaje y control de salinidad, no siendo el caso de estos suelos. En este sentido, no es recomendable para estos suelos ya que son suelos con drenaje imperfecto, inundables, de alta fertilidad. En cuanto al agua de la perforación Migués 7, no es recomendada para riego ya que tanto los valores de salinidad como de sodio son elevados.

Los niveles máximos de As detectados son de 0,008 mg/l, estos niveles no representan valores alarmantes para consumo.

De los datos obtenidos para las aguas de la Formación Mercedes-Asencio es posible clasificarlas como bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas cálcicas y magnésicas. La temperatura media es de 20,05 °C, el pH se encuentra entre los valores de 7,53 y 7,37 y la conductividad eléctrica 1.154  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , siendo estos valores normales para aguas subterráneas y aptos para consumo. Del análisis de elementos mayores se detectó en la perforación Mercedes 5 valores de sodio (224 mg/l) que superan los valores mínimos permitidos.

Del diagrama SAR es posible clasificar a las aguas para riego como C3-S2 y C3-S3, en este sentido las aguas presentan elevada salinidad y valores medios y altos de sodio que pueden generar concentración de este elemento en el suelo. Los suelos de esta zona son moderadamente bien drenados, franco-arcillosos, por lo que no es recomendable el uso de estas aguas para riego. Por

otro lado, los niveles de As (0,02-0,04 mg/l) sobrepasan los valores permitidos y pueden significar un riesgo si se utiliza para consumo, pero este elemento, en principio, no representaría.

De la información obtenida y procesada correspondiente a las dos unidades acuíferas es posible considerar que el agua de mejor calidad corresponde al acuífero Migueles, salvo en los casos donde presenta elevada salinidad. Por otro lado, el acceso al mismo representa una dificultad mayor por las profundidades a las que se encuentra. En base a los tipos de suelo y la concentración de sodio en las distintas muestras, no se sugiere el uso de las aguas tanto de la Formación Migueles y Mercedes-Asencio para riego de cultivos

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Achkar M, Domínguez A, Pesce F. (2014). Cuencas hidrográficas del Uruguay. Situación y perspectivas ambientales y territoriales. Programa Uruguay Sustentable. Redes. Amigos de la Tierra. 165p
- Bossi J. (1966). Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones. Universidad de la República. Montevideo. 411p.
- Bossi, J. y Navarro, R. (1988). Geología del Uruguay. Departamento de publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo. 2: 463-969pp.
- Bossi J & Navarro R. (1991). Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones, Universidad de la República. Montevideo. 970pp
- Bossi J, Ferrando LA, Montaña J, Campal N, Morales H, Gancio F, Schipilov A, Piñeyro D & Sprechmann P. (1998). Carta geológica del Uruguay, escala 1/500.000. Geoeditores SRL (CD-Rom). Montevideo.
- Bossi J., Morales H., Brunetto I, Martínez M y Arlo L. (1999). Evaluación de las posibilidades de aguas subterráneas en el centro y noreste del Departamento de Canelones. Informe Final, Proyecto CSIC – UDELAR. 72 p.
- Custodio, E. & Llamas, M.R. (1976). Hidrología subterránea. Editorial Omega. Barcelona, vol 1 y 2, 1750 pp.
- de Santa Ana H, Goso C, Muzio R, Oyhantçabal P & Veroslavsky G. (1994). Bacia do Santa Lucia (Uruguai): evolução tectónica e sedimentar. Geociências
- Ford, I. (1988). Paleoclima y paleogeografía del Cretácico superior –Terciario inferior del Uruguay: un nuevo modelo interpretativo. Actas 6º Panel de Geología del Litoral y 1º Reunión de Geología del Uruguay. Salto. 50-53pp.
- Ford, I. Gancio, F. (1988). Asociación caolinita-montmorillonita en el paleosuelo del Terciario inferior del Uruguay (Fm. Asencio). Boletín de Investigación Nº 12 Facultad de Agronomía, Montevideo.
- Gagliardi S., Montañó J. X., Montañó M.; Lacués X.P. (2010) Características Generales del Sistema Acuífero Joanico. Canelones.
- Goso, H. (1965). El Cenozoico en el Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay, Ed.Mimeogr. 36pp
- Goso, H. (1975). El Cuaternario Uruguayo. Programa de Estudio y Levantamiento de Suelos. Min. Agricultura y Pesca. Ed. Mimeogr. Montevideo.
- Goso, C. (1999). *Análise estratigráfica do Grupo Paysandú (Cretáceo) na Bacia do Litoral Uruguai*. Tese de Doutorado IGCE-UNESP. Rio Claro. 184pp.
- Instituto Nacional de Estadística (INE): Censo (2011) <http://www.ine.gub.uy/censos-2011> (fecha de ingreso: noviembre 2017)

Intendencia Departamental de Canelones. (2017) Plan de Ordenamiento Rural del Departamento de Canelones "Ruralidades Canarias"  
[https://www.imcanelones.gub.uy/sites/default/files/pagina\\_sitio/archivos\\_adjuntos/documento\\_resumen\\_ruralidades.pdf](https://www.imcanelones.gub.uy/sites/default/files/pagina_sitio/archivos_adjuntos/documento_resumen_ruralidades.pdf) (fecha de ingreso: noviembre 2017)

Jones G. (1956). Memoria explicativa y mapa geológico de la región oriental del departamento de Canelones, Boletín del Instituto Geológico y Perforaciones 34: 1-193pp.

Mann P, Hempton MR, Bradley DC & Burke K. (1983). Development of pull-apart basins. *Journal of Geology* 91: 529-554pp.

Montaño J, Gagliardi S; Montaño M. (2006): Recursos Hídricos del Uruguay. Boletín Geológico y Minero. Número Monográfico: Hidrogeología en Iberoamérica. Instituto Geológico y Minero de España. 201-222pp.

MVOTMA-DINAGUA (2012). Hacia la incorporación de la gestión de riesgo de sequía en las políticas públicas.

Nielsen TH & Sylvester AG. (1995). Strike-slip basins, en: Busby CJ & Ingersoll RV: *Tectonics of sedimentary basins*. Blackwell Science, Cambridge. 549pp.

Organización Mundial de la Salud (2006). Guías para la calidad del agua potable, 3ra edición: volumen 1. Recomendaciones.

Preciozzi F, Spurno J, Heinzen W & Rossi P. (1985): Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a la escala 1:500.000. 1-90. DINAMIGE, Montevideo.

PRENADER. Banco de datos de las perforaciones del Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego. Inédito.

Rossello EA, de Santa Ana H & Veroslavsky G (2001): La Cuenca Santa Lucía (Uruguay): un pull-apart Juro-Cretácico transtensivo dextral. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 38-50pp

Serra, N. (1945). Memoria explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Soriano. *Inst. Geolog. del Uruguay*. vol. N° 32.

Spurno J, de Santa Ana H, Goso C & de Souza S. (1993): Análise faciológica e paleogeográfica da seqüência mio-pleistocênica do setor ocidental da bacia de Santa Lucía (Uruguai). *Boletim de Resumos e Programa do V Simpósio sul-brasileiro de Geología*. Curitiba. 33-34pp.

Spurno J; Oyhantçabal P; Goso C; Aubet N; Cazaux S.; Huelmo S; Morales E. (2004). Mapa Geológico y de Recursos Minerales del Departamento de Canelones a Escala 1/100.000. Proyecto CONICYT 6019.

Sprechmann P, Bossi J & Da Silva J (1981): *Cuencas del Jurásico y Cretácico del Uruguay*, pp.239-270 de

Ubilla, M. (2004). La Formación Fray Bentos (Oligoceno tardío) y los mamíferos más antiguos del Uruguay. En Veroslavsky, G., Ubilla, M., y Martínez, S. (Eds.), *Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Geología, paleontología y recursos minerales. Cenozoico*. DIRAC-FCIEN. Montevideo. 83-104pp.

Veroslavsky G; de Santa Ana H; Rossello E (2003): Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico. DIRAC. Montevideo. 115-140pp.

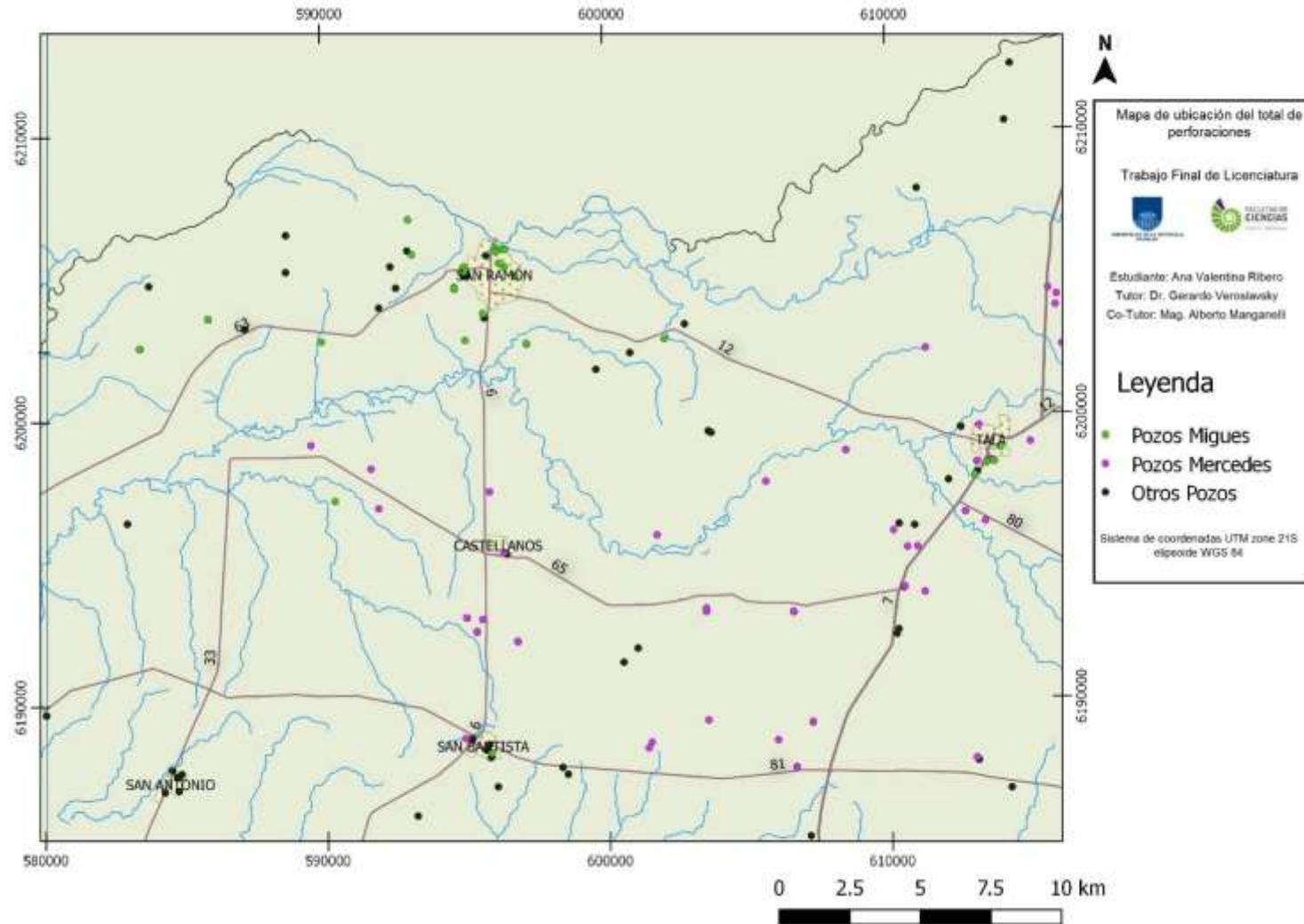
Veroslavsky G (1999): Geología da Bacia de Santa Lucia - Uruguai. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Tese de Doutorado, 152pp.

Zambrano JJ (1974): *Cuencas sedimentarias en el subsuelo de la Provincia de Buenos Aires y zonas adyacentes*. Revista de la Asociación Geológica Argentina.

# **Anexos**

# Anexo 1

## Mapa del total de perforaciones en el área de estudio



## Anexo 2

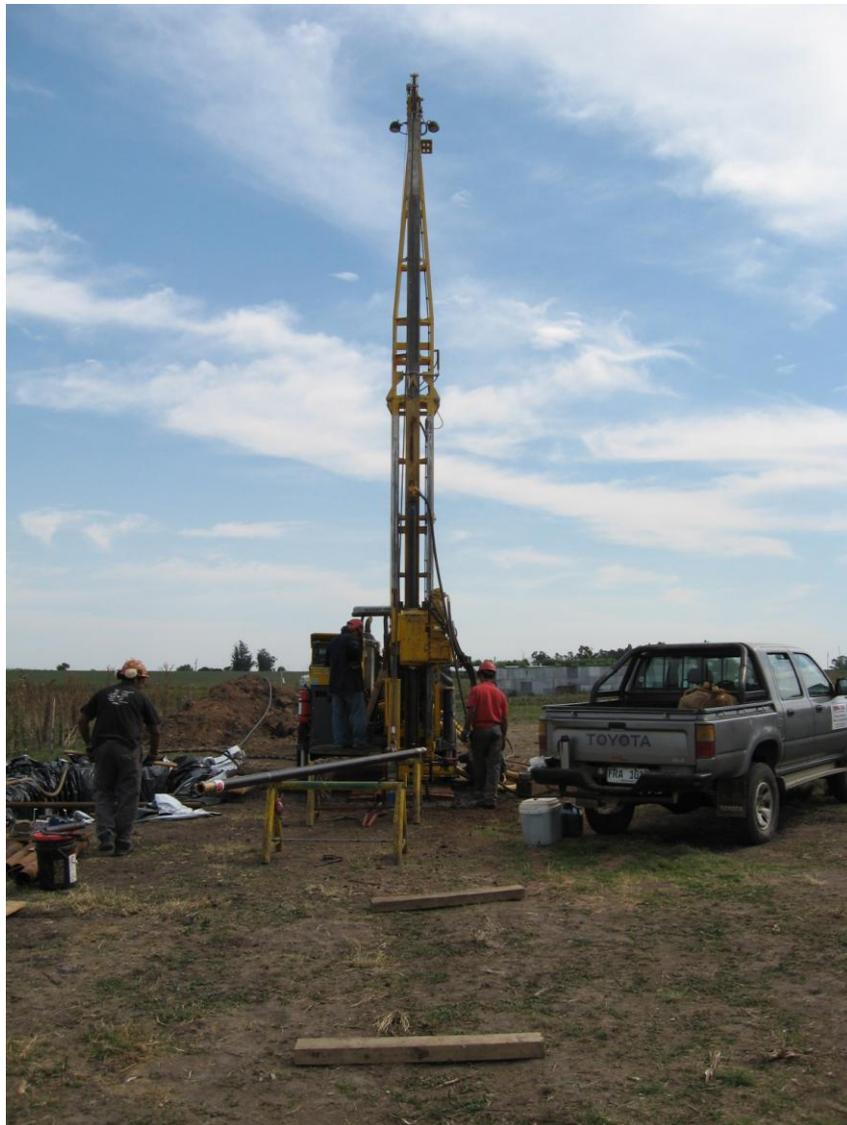
### Descripción litológica de perforaciones Tala y San Bautista

# **POZO TALA**

**EXPLORACIÓN DE SALES DE POTASIO**

**RADUL SA**

**PERMISO DE EXPLORACIÓN 1903/10 - DINAMIGE**





**UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DE CANELONES**

**COORDENADAS UY: 34° 25' 08.34" S 55° 51' 10.39" O**

**INDICIOS: LOGS DE POZO TALA DE ANCAP (DENSIDAD, CALIPER, RAYO GAMA)**

**OBJETIVOS EXPLORATORIOS POR SAL DE POTASIO: 340 – 350m; 700 A 800m**

**INICIO DE POZO: 16 DE FEBRERO**

## RESUMEN DE LOG DE POZO TALA-2012

0-3,80 mts	Suelo / pelitas marrones con cemento de carbonato de calcio. Sin Recuperación
3,80-6 mts	Pelitas arenosas marrones, y areniscas finas, rosadas
6-64 mts	Areniscas finas, rosadas-claras y pardo-amarillentas. Con matriz variable, disminuyendo hacia la base, donde es muy escasa. En sectores muy friables y desagregadas. Entre los 23 y los 64 mts, aparecen tramos de arena suelta. ACUIFERO. Formación Mercedes
64-64,50 mts	Conglomerado, areniscas conglomerádicas. Contacto erosivo con unidad inferior. Formación Mercedes
-----	
64,50-90,50 mts	Areniscas finas, rojizas claras y pardo-rojizas. En partes laminadas. Con intercalaciones finas de limarcilitas y arcilitas. Laminas de carbonato. Formación Miguez.  Entre 87 y 88,20. ACUIFERO?
90,50-295 mts	Limoarcilitas rojas, areniscas finas rosadas a rojizas-anaranjadas y niveles de arcilitas moradas interestratificados en distintas proporciones. Siempre con predominancia de las arenas finas y limoarcilitas subordinadas. Las unidades mas finas presentan una superficie craquelada. Presencia de cemento carbonatico, principalmente en las arenas. El carbonato es abundante también en nódulos o clastos. Laminacion paralela y entrecruzada, bioturbación.
295-425 mts	Areniscas rojizo-anaranjadas, finas y muy finas. Generalmente masivas, con escasa laminación en algunos sectores. Friables, deleznales. Con abundantes oxidos de hierro. Con distintos grados de cementación, desde muy escasa hasta abundante. Los sectores de mayor cementación presentan aspecto manchado, con tonos blanquecinos, de forma irregular. En pocos sectores el carbonato aparece como nódulos o clastos. Bioturbación en algunos niveles.  Hacia el fin de pozo aparecieron arenas finas mismo color, totalmente desagregadas que produjeron el atascamiento de la herramienta.

### DESCRIPCIÓN LIBRETA CAMPO – POZO TALA

Sup-3,80 mts	Sin recuperación. Suelo y pelitas marrones
3,80-6,00 mts	<p>Zona transicional entre niveles arcillo-limosos pardos, hasta niveles de arenas muy finas con matriz arcillosa abundante (medianamente plástica) en la base.</p> <p>Entre 5,50 y 5,70 hay un nivel arcilloso más oscuro, con concreciones carbonaticas. Baja recuperación.</p>
6,00-8,00 mts	Areniscas blancas a rosadas, muy finas, con abundante matriz arcillosa. En la base nivel carbonatico de cm de espesor.
8,00-12,00 mts	Areniscas pardo amarillentas a verdosas, muy finas, con escasa matriz. Friables. Laminación incipiente. Baja recuperación.
12,00-23,50 mts	Areniscas rosadas a blanquecinas muy finas con escasa matriz limosa
23,50-64,00 mts	<p>Arenas pardas claras, fina, desagregada. Baja recuperación. Friables. En sectores aparecen niveles más agregados (sin cemento carbonatico). Estos niveles de mayor agregación presentan colores blanquecinos.</p> <p>A medida que profundizamos disminuye la proporción de matriz mas fina.</p> <p>A los 62,60 mts, nivel de 10cm de carbonatos.</p>
64,00-64,50 mts	Conglomerado. Clastos redondeados a subredondeados de pelitas negras y carbonatos. Tamaños de clastos variables, de 0,4 a 5cm de diámetro. Los 20cm de la base corresponden a un nivel carbonatico. Contacto erosivo con unidad inferior.
64,50-75,60 mts	<p>Areniscas muy finas, de color rojizo a pardo rojizo. Laminadas. Transicionalmente hacia la base pasan a capas de limoarcilitas e incluso arcilitas.</p> <p>Con capas carbonaticas blancas y blanco-grisáceas, que van desde finas laminas hasta niveles de 12-15cms, con textura masiva o granular. En ocasiones se observan nódulos carbonaticos dentro de las capas clásticas.</p> <p>En los sectores más finos (arcillosos y arcillo-limosos), se observa una estructura en bloques angulosos por perdida de humedad.</p> <p>Escasas fracturas, 45-50<sup>a</sup>.</p> <p>Laminación planar a entrecruzada.</p>
75,60-80,70 mts	Transicional a la secuencia superior. Areniscas finas a medias, bien seleccionadas, con menor proporción de matriz que los niveles

	superiores. Color rojizo claro. Los niveles carbonaticos son menos abundantes, pero cuando se presentan son más potentes (20-30cm) y están asociados a un aumento de matriz arcillosa.
80,70-85,00 mts	Arenisca muy fina, algo más sucia que el nivel anterior. Rojiza oscura. Con niveles carbonaticos craquelados. Menor laminación.
85,00-90,50 mts	Areniscas finas a medias, de mayor selección que niveles inmediatos superiores. En partes cementadas. Laminación entrecruzada, óxidos de hierro. Entre 88,30 y 88,60 nivel con abundantes carbonatos. Intercalaciones de niveles de arcilitas y limoarcilitas rojas de 0,5 a 2 cm de espesor. En los sectores de menor cementación son muy friables.  Entre los 87 y 88,20 mts, nivel de arenas medias de baja cementación. ACUIFERO?
90,50-92,30 mts	Limoarcilita roja. Craquelada. Con niveles carbonaticos irregulares, fracturados. Carbonato en venillas cortando estructura sedimentaria.
92,30-100,10 mts	Areniscas finas a medias, con cemento carbonatico. Rosadas claras. Cuarzo feldespáticas, con minerales opacos. Carbonato como cemento y en pequeños clastos o nódulos.
100,10-101,35 mts	Limoarcilita roja, friable, superficie craquelada. Clastos carbonaticos.
101,35-102,10 mts	Areniscas rosadas de grano medio, con abundantes niveles carbonaticos. Laminación entrecruzada.
102,10-103,00 mts	Arenisca fina pardo amarillenta con laminación entrecruzada.
103,00-110,00 mts	En el techo, 10cm de limoarcilitas. Hacia la base, Arenisca fina a limoarenita, rojiza claras, con niveles carbonaticos importantes de hasta 25cm de espesor. Estos presentan estructura laminar o en nódulos. Intercalación de capas de limoarcilitas de 15-20cm de espesor.
110,00-111,00 mts	Nivel con predominio de concreciones, nódulos y clastos carbonaticos en matriz de limos y arenas finas cementadas. Hacia la base se vuelve más compacto.
111,00-117,80 mts	Arenisca muy fina en el techo gradando a limoarcilitas. Rojiza a pardo-rojiza. Masiva a laminar. Con niveles pelíticos cortando la estratificación, bioturbación? En sectores más finos se observa craquelación.  Niveles de areniscas finas entre 113,60-114,10 y 115,70-116 mts.
117,80-120,20 mts	En el techo, 5-8cms de nivel con nódulos carbonaticos finos, con laminación. Hacia la base los nódulos carbonaticos están inmersos en

	una arenisca muy fina, rojiza, con abundante cemento y laminación incipiente.
120,20-122,40 mts	Arenisca fina a muy fina, anaranjada, con abundante mica y opacos, con clastos arcillosos y hacia la base laminas de arcilita de hasta 1,5 cms. Laminación paralela y convoluta. Bioturbación.
122,40-141,00 mts	Similar a unidad superior pero más rojiza. Con laminación e intercalaciones finas de arcilitas rojas. En sectores siguen presentes los niveles ricos en nódulos carbonaticos. Generalmente asociado a esos niveles aparecen signos de bioturbación. En niveles más gruesos, la matriz carbonática es abundante.  Entre 134,40 y 136 se observa mayor laminación (paralela y fina).
141,00-157,00 mts	Similar a unidad anterior pero con mayor abundancia de niveles limoarciliticos rojos. En niveles de areniscas se observan menor cantidad de concreciones pero mayor proporción de cemento carbonatico.
157,00-166,20 mts	Predominancia de areniscas finas. Aumenta el nivel de carbonatos. Laminación cruzada, planos de superficie irregular. Hacia la base comienzan a aparecer delgadas intercalaciones más finas.
166,20-184,70 mts	En el techo, 40cm de limoarcilitas rojo oscuras.  Secuencia con intercalación de areniscas finas rojizas y limoarcilitas. A partir de esta profundidad la secuencia se vuelve más fina, intercalaciones 50-50% de areniscas y limolitas-limoarcilitas.
184,70-195,50 mts	idem anterior pero con predominancia de niveles finos (limoarcilitas)
195,50-261,30 mts	alternancia de areniscas finas a muy finas, laminadas con limoarcilitas en proporciones similares, o con predominio de niveles finos. Siguen presentando cemento carbonatico pero en menor intensidad. Prácticamente sin nódulos. Laminación escasa, en parte irregular, tipo convoluta con niveles limolíticos.  Los niveles de limoarcilitas son masivos, craquelados, friables.  Entre 212,40 y 213, areniscas medias. Entre 224,60 y 232,60 predominan los niveles finos, limolitas-limoarcilitas.
261,30-265,20 mts	Areniscas finas con intercalaciones de limolitas. Con mayor cantidad de niveles carbonaticos y mas cemento. En partes masivas pero principalmente laminadas. En niveles limolíticos los carbonatos aparecen como inmersos en la matriz.  Es una unidad transicional entre los niveles superiores y los inferiores.

265,20-272,20 mts	<p>Contacto neto entre limolitas de la unidad superior y areniscas finas de la unidad inferior. Predominancia de arenas rojas, laminadas, con escasos ripples. Signos de bioturbación, estratificación cruzada. Abundantes opacos y óxidos de Fe.</p> <p>Presenta además finas laminas de arcilitas y limoarcilitas rojo-oscuro (a veces estas aparecen como clastos).</p> <p>A los 266,65, nivel carbonatico, granular, de 8cm de espesor. Hacia la base aumenta el tamaño de grano y los niveles carbonaticos.</p>
272,20-275,40 mts	<p>En el techo, 3-4 niveles de limoarcilitas rojas, intercaladas con arenas rojizo-anaranjadas, finas, con escasa laminación (asociada a niveles de limoarcilitas muy finos). En general es masiva, con cemento carbonático, pero escasa cantidad de nódulos o clastos.</p>
275,40-279,60 mts	<p>Nivel de arenas finas a medias (¿) con abundantes clastos carbonaticos de 0,2-0,8 cm de diámetro, varios de forma elongada. Hacia la base los clastos de carbonato se hacen mayores en tamaño, pero menos abundantes.</p> <p>Bioturbación importante en un tramo medio, entre 276,60 y 277,60 mts y en la base.</p> <p>Base de 10-15cm con mucho cemento carbonatico.</p>
279,60-280,40 mts	<p>Nivel más fino de limolitas y limoarcilitas. Craquelado. Pardo-rojizo oscuro. Carbonatos relleno de espacios entre clastos de limoarcilitas.</p>
280,40-284,00 mts	<p>Limolitas pardo-rojizas claras, intercaladas con arenas finas. Bioturbación. Laminación incipiente.</p>
284,00-295,00 mts	<p>En el techo, nivel de 10cm de arcilitas moradas. Luego arenas finas, cuarzosas, con abundantes óxidos de hierro, anaranjadas. Laminación, bioturbación, escasos ripples. Laminas delgadas de arcilitas moradas oscuras. Cemento carbonatico. Nódulos o clastos solo en algunos niveles.</p> <p>Niveles de arcilitas moradas entre, 290,60-290,90; 293,90-293,95; 293,70-295 (30 cm de la base)</p> <p>Fracturas en niveles finos (70ª y 150ª).</p>
295,00-343,60 mts	<p>Secuencia más homogénea de arenas rojizo-anaranjadas. Finas y muy finas. Masivas, con escasa laminación en algunos sectores. Friables, deleznales. Con abundantes óxidos de hierro. Con distintos grados de cementación, desde muy escasa hasta abundante. En sectores de menor cementación se observan clastos de carbonatos de forma irregular y de distintos tamaños (en general mayores a 1 cm de</p>

diámetro) inmersos en las arenas. Los sectores de mayor cementación presentan un aspecto de manchas blanquecinas, de forma irregular. En estos sectores hay mayores signos de bioturbación.

La secuencia se hace más fina hacia la base. A los 331,90 hay un nivel de carbonato a 40a.

- |                   |  |
|-------------------|--|
| 343,60-348,60 mts | Arenas finas (algo más gruesas que las anteriores) que alternan con limoarcilitas moradas. Mayor cementación.  |
| 348,60-404,20 mts | Similar a la unidad entre 295 y 343,60 mts. Arenas muy finas (hasta limolitas, incluso con algo de matriz arcillosa?), rojizo-anaranjadas. Con nódulos carbonaticos y cementación irregular de aspecto manchado, cuando no ocurren estas manchas el cemento es muy escaso. Masivas. Friables. Abundantes óxidos de hierro y minerales opacos.<br><br>Entre 391,90 y 393 mts, aspecto moteado, con nódulos de carbonato de calcio de 0,5-1 cm de diámetro, muy redondeados. Hacia la base son más pequeños e irregulares. |
| 404,20-409,50 mts | Areniscas rojizas, con algún tinte mas pardo. Mayor laminación que el tramo anterior. Muy fina, bien seleccionadas. Con capas de cemento carbonatico blanquecino a grisáceo. También con parches irregulares de carbonato. Laminación irregular, bioturbación, relleno carbonatico cortando las estratificación.   |
| 409,50-413,10 mts | Similar coloración que el tramo anterior. Limos gruesos? Arenas muy finas, masivas, con algunos niveles con laminación.  |
| 413,10-421,00 mts | Areniscas rojas finas a medias, masivas, con nódulos y bandas carbonaticas. Algo friables.<br><br>Entre 419 y 421, iguales pero más friables.  |
| 421,00-422,60 mts | Arena suelta, rojizo-anaranjada. Se perdió muestra, sin recuperación   |
| 422,60-425,60 mts | Se recupero solo 0,40cm. Tramos de arenas finas a medias, muy cementadas con carbonato de calcio.  |



**POZO SAN BAUTISTA**  
**EXPLORACIÓN DE SALES DE POTASIO**  
**RADUL SA**  
**PERMISO DE EXPLORACIÓN 1902/10**





*Ubicación del pozo San Bautista – Departamento de Canelones, el pozo testigo de petróleo se encuentra a 610 m al Sur, sobre la ruta nacional 6.*

**UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DE CANELONES**

**COORDENADAS UY: 34°24'29.40"S 55°57'30.20"O**

**INDICIOS: LOGS DE POZO SAN BAUTISTA DE ANCAP (DENSIDAD, CALIPER, RAYO GAMA)**

**OBJETIVOS EXPLORATORIOS POR SAL DE POTASIO: 43-58; 62-79m; 125-132m; 137-138m; 150-154m; 176-187m; 219-234m**

**INICIO DE POZO: MAYO 12, 2012**

## RESUMEN DE LOG DE POZO SAN BAUTISTA-2012

0 – 11 mts	Sin recuperación
11 – 44 mts	Limoarcilitas pardo rojizas a pardo grisáceas. Friables, con cementación carbonática irregular. En general masivas. Presencia de nódulos carbonatitos y algunos clastos de arcilitas. Oquedades superficiales. Cuarzo cristalino en venilla y como cristales en oquedades. Contacto transicional con unidad inferior. <i>Fm Fray Bentos?</i>
44 – 82,30 mts	Limolitas y limoarcilitas rosadas. Homogéneas, masivas, escaso cemento carbonático, algo de cemento caolinítico (¿?) Desde los 68,50 mts se observa importante fracturación. Entre 79,50 y 80,50 mts totalmente fracturado. Fracturas con espejos de fricción y jaboncillo de falla, 180 <sup>a</sup> -160 <sup>a</sup> -30°. <u>FALLA?</u> <i>Fm Fray Bentos</i>
82,30 – 94,50 mts	Arenitas y limolitas calcáreas. Contacto superior transicional. Unidad blanquecina con algún tinte pardo claro. En general masiva, aunque en ocasiones presenta laminación incipiente. Terrosa, en sectores con oquedades. En la base presenta clastos irregulares calcáreos y de otras litologías, matriz arenosa (calcárea, muy fina). Matriz sostén. <i>Fm Mercedes</i> .
94,50 – 96,20 mts	Conglomerado cuarzoso. Clastos de cuarzo angulosos a subredondeados de 0,5 – 3 cm de diámetro. Matriz carbonática. Probable ACUIFERO. <i>Fm Mercedes</i> .
96,20 – 239,50 mts	Secuencia de sedimentitas rojas compuesta principalmente por la alternancia de limoarcilitas pardo-rojizas con arenitas rosadas y arcilitas rojas, estas últimas subordinadas. Las limoarcilitas son dominantes; en su mayoría presentan aspecto masivo, aunque en ocasiones se puede observar una laminación incipiente. Estas se encuentran interestratificadas (la mayoría de las veces a través de contactos transicionales) con arenitas limosas. Cuando predominan las facies arenosas, la secuencia muestra laminación paralela y, en sectores puntuales, entrecruzada, pudiéndose observar además estructuras tipo flaser y ripples, así como también signos de bioturbación y de deformación sinsedimentaria de muy pequeña escala. Los niveles de arcilitas rojas se limitan a pequeñas intercalaciones dentro de las unidades antes mencionadas. El carbonato de calcio es abundante en la mayor parte de la secuencia, tanto como cemento en la matriz o como nódulos y concreciones de distintos tamaños. En varios sectores de la secuencia, la fracturación es importante, observándose en varios sectores, jaboncillo de falla y espejos de fricción. <i>Fm Miguez</i> .

Zonas de FALLAS probables o zonas de intensa fracturación:

- 69,50 - 72 mts
- 77 – 78 mts
- 79,50 - 80,50 mts
- 98,10 – 103 mts
- 109,70 mts
- 146,40 mts
- 216,40-217,80 mts
- 224,50- 224,50 mts
- 225,30 – 227 mts
- 228 - 230,30mts

### **DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA POZO SAN BAUTISTA NOTAS DE LIBRETA DE CAMPO**

0 – 11 mts	Sin Recuperación
11 – 23, 55 mts	Limolitas pardas, masivas, algo friables. En sectores con abundante cemento carbonático. Entre 16, 50 y 17,30 mts se observan clastos de arcilitas rosadas inmersos en una matriz limosa.
23,55 – 21,10 mts	Limoarcilita rosada con signos de bioturbación. Niveles de arcilitas cortados, puede haber además cementación diferencial. Abundante carbonato en matriz.
24,10 – 25,50 mts	Limoarcilita pardo rojiza, sin laminación. Con cementación carbonática irregular a modo de parches (sectores de coloración mas clara).
25,50 – 32, 30 mts	Limoarcilitas pardo grisáceas a pardo rojizas según el sector. Cerca del techo se observan niveles con clastos de carbonato pardo claros a blanquecinos. Masivas. Con carbonato como relleno de oquedades, vesicular (tipo geoda).
32,30 – 36,75 mts	Limoarcilitas pardo rosadas. Abundantes niveles carbonáticos. Clastos de 2mm o mas de cuarzo anguloso a subredondeado inmersos en una matriz limosa muy deleznable. Nódulos de carbonato de gran tamaño, 3-5 cm de diámetro. Arcilitas rojas en matriz. Incipiente laminación. Friable. Pobre selección. Escaso cemento carbonático y yeso. Nivel de cuarzo tipo vetilla de 1cm a los 35,60 mts. Entre la base de la unidad y esta vetilla aumenta el nivel de arcillas presentes en la matriz.
36,75 – 38,80 mts	Sector de aspecto agusanado, aparentemente por cementación diferencial. Mezcla entre tonalidades rosadas a blanquecinas

donde el cemento carbonatito es abundante y mas rojizas en zonas sin cemento. En partes aparente bioturbación. Hacia la base la cementación se da en parches.

- 38,80 – 43 mts Limoarcilita parda, con oquedades y clastos de cuarzo irregulares, angulosos, cristalinos y de tamaño incongruente con la matriz de la roca. Podría interpretarse como cuarzo cristalino en oquedades a modo de relleno o por cristalización in situ (?). En algunos sectores se observa como venilla o tipo geoda. Cementación carbonática en parches, nódulos. Deleznable, con oquedades en la superficie del testigo. Abundantes arcillas pardo rojizas en la matriz.
- 43 – 44 mts Zona de transición entre limoarcilitas pardo rojizas y limoarcilitas rosadas. Presentan oquedades en superficie, cemento carbonático en parches irregulares, presencia de nódulos. La matriz varia de mas arcillosa en el techo hacia mayormente limosa en la base.
- 44 – 82,30 mts Limolitas y limoarcilitas rosadas. Limoarcilitas pardo rosadas, de tamaño de grano bastante homogéneo, con escaso cemento carbonático. Carbonato preferentemente en nódulos que predominan hacia el techo de la unidad. Presencia de cemento caolinítico (?) (blanquecino y cierto brillo sedoso). Hacia la base disminuye la cantidad de arcillas (estas son algo plásticas hacia el techo). Desde los 68,50 aumenta el grado de fracturación. Fracturas de 160<sup>a</sup>-120<sup>a</sup>-110<sup>a</sup>-40<sup>a</sup>. A los 77 mts se observan fracturas verticales y aumenta el aspecto craquelado en superficie. Entre 79,50 y 80,50 mts totalmente fracturado. Fracturas con espejos de fricción y jaboncillo de falla, 180<sup>a</sup>-160<sup>a</sup>-30°. FALLA?
- 82,30 – 94,50 mts Calcarenitas y limos calcáreos. En los 15 cm superiores se observa una transición entre limos pardo rosados y calcarenitas y limos calcáreos blanquecinos. Caliza blanquecina con algún tinte pardo claro. Bastante masiva, aunque en ocasiones presenta laminación incipiente. Terrosa, en sectores con oquedades. Hacia los 86,50 – 87 mts se observan bandas de calizas grises mas cristalinas de 0,1-0,3 cm de espesor. Irregulares. Entre 92 y 94,50 mts vuelve a ser terrosa, algo friable y con oquedades en la superficie del testigo. Clastos irregulares calcáreos y de otras litologías. Matriz arenosa tipo calcarenita. Fina. Matriz sostén.
- 94,50 – 96,20 mts Conglomerado cuarzoso. Zona con testigo desagregado. Probable acuífero. Clastos de cuarzo angulosos a subredondeados de 0,5 – 3 cm de diámetro. Matriz carbonática. Matriz sostén. A los 95 mts, venilla de yeso de aproximadamente 2 cm de espesor.
- 96,20 – 98,10 mts Contacto, zona de transición. Arcilitas rojas y verdes con clastos de carbonatos blancos. Testigo algo roto pero con buena recuperación. Limoarcilita verdosa, con fractura concoide. En el

- techo predomina la limoarcilita rosada a rojiza. Fracturas abundantes. FALLA?, aca puede ser contacto
- 98,10 – 103 mts Limoarcilitas (arcilitas) pardo-rojizas, en verdosas fractura y en algunos sectores de la unidad. Abundantes fracturas, 135<sup>a</sup>-80<sup>a</sup>-60<sup>a</sup>, en ocasiones rellenas con venillas de yeso cristalino de 0,1-0,2 cm. Fracturas verdosas, untuosas al tacto, con espejos de fricción y jaboncillo de falla. Cemento carbonático abundante. FALLA?
- 103 – 116,60 mts Limoarcilitas (o arcilitas limosas) pardo-rojizas. En general masivas pero en sectores se observa cierta laminación (en pequeños sectores entrecruzada). Niveles de 0,3-0,5 cm de carbonato blanquecino. Matriz calcárea importante a escasa. Fracturas irregulares (170<sup>a</sup> aprox) con patinas de óxidos de Fe-Mn?. Fractura concoide y untuosas. Testigo compacto pero que se rompe fácilmente. A los 109,70 abunda arcilla verdosa y mayor fracturación (70<sup>a</sup>-100<sup>a</sup>-45<sup>a</sup>). Hacia la base se observan nódulos carbonatitos y mayor carbonato en la matriz.
- 116,60 – 125 mts Arenitas limosas pardo-rojizas, finas, con clastos de carbonato, líticos y cuarzo. Algunas arcillas en la matriz. En algunos sectores se observa una laminación incipiente. A los 120 mts aparecen clastos de arcilitas rojas y en ese sector (120-121mts) disminuye el tamaño de grano, para luego volver a aumentar. Hacia la base se observa fina laminación y abundante carbonato (en pequeños nódulos y en finas láminas).
- 125 – 129 mts En el techo 40 cm de limoarcilitas que gradan hacia la base a limoarenitas y arenitas limosas muy finas. Rojizas, con un tinte ocre. En sectores aparecen nódulos carbonatitos y pobre laminación. A los 126,50, 35cm de fina laminación con capas de carbonatos y algunos clastos de carbonatos y arcilitas rojizas oscuras. Laminación oblicua al testigo. Nivel de yeso cristalino de 2cm a los 127mts. En sectores de granulometría mas gruesa el cemento carbonático es mas abundante.
- 129 – 131,40 mts Limoarcilita pardo rojiza, similar al nivel anterior pero de granulometría más fina. Con niveles de arcilitas rojas que presentan aspecto craquelado en la superficie del testigo. Hacia la base grada a limoarenitas. En los sectores de granulometría gruesa aparece mayor cantidad de cemento carbonático y a veces clastos de arcilitas. En sectores se observa importante laminación. Se observan estructuras de compresión – tensión en niveles de arcilitas. Bioturbación?
- 131,40 – 143,60 mts Areniscas finas, pardo rojizas claras y rosadas. Abundantes clastos de cuarzo, líticos y óxidos de hierro. En sectores laminadas. Presentan desde laminación fina paralela hasta entrecruzada, siendo esta ultima más bien puntual (en zonas de

5cm de espesor). Dentro de la unidad aparecen sectores más finos de limoarcilitas pardo rojizas (136- 136,25; 137,20-137,47).

Entre los 137,47 y 137,65 mts se observan arenas oscuras, rojizas-anaranjadas, laminadas con abundante presencia de minerales opacos, entre ellos abundante magnetita.

En los tramos mas blanquecinos, se observa cemento carbonático.

A los 140,70 – 140,85 mts, nivel fino arcillo-limosos con craquelamiento en superficie y deformación interna.

Hacia la base de la unidad se presentan arenas mas masivas pero de moderada selección (aunque de variada composición de clastos). Base, 2cm de arenas con abundantes opacos (negra).

- 143,60 – 149,70 mts Limoarcilita roja, craquelada en superficie. Con escasos nódulos de carbonato de hasta 2mm de diámetro que se hacen mas abundantes en algunos pocos niveles. A partir de 146,40 mts aparecen fracturas con espejos de falla y relleno untuoso (135<sup>a</sup>-120<sup>a</sup>-50<sup>a</sup>). FALLA?. Entre 149,50 y 149,70 mts aparece un nivel mas carbonático.
- 149,70 – 150,20 mts Arenita limosa (o limoarenita). Laminación paralela, en algunas zonas se observan ripples. Bandas mas finas de coloración rosada y niveles más gruesos pardo amarillentos. Abundantes concreciones carbonáticas en la base.
- 150,20 – 157,70 mts Limoarcilitas rojas. Superficie de aspecto craquelado. Escasos niveles mas gruesos intercalados. A partir de 155,50 comienzan a ser más abundantes las concreciones de carbonato de calcio y en ciertos niveles se observa un aumento del tamaño de grano. Cuando hay aumento del tamaño de grano hay mayores evidencias de laminación (a veces incipiente). Presencia de fracturas (120<sup>a</sup>-130<sup>a</sup>-70<sup>a</sup>)
- 157,70 – 158,40 mts Nivel de arenita con abundantes concreciones calcáreas.
- 158,40 – 161,45 mts Predominan las limoarcilitas rojas similares al intervalo 150,20-157,70 mts. Bandeamiento importante en algunos sectores, con alternancia de limoarcilitas rojas y arenitas finas blanquecinas a rosadas. Laminación importante. Estructura flaser y evidencias de alternancia de procesos de tracción y decantación. Hacia la base pasa trancisionalmente a una secuencia mas gruesa. A los 160,50 mts, 10 cm similares a 157,70-158,40 mts.
- 161,45 – 164,45 mts Arenita pardo rojiza con laminación importante. Niveles finos rojizos intercalan con niveles mas gruesos blanquecinos. En algunos sectores se pueden observar ripples. Hacia la base disminuye el tamaño de grano y desaparece la laminación.
- 164,45 – 174 mts Limoarenita rojiza, algo craquelada en superficie. Contacto transicional con la unidad anterior. Cemento carbonático

irregular, como manchas. También concreciones. De aspecto masivo. Algunos pocos niveles con laminación incipiente. Sector de granulometría mas gruesa en la base y estructuras flaser y ripples (8cm aproximadamente).

- 174 – 178,50 mts      Contacto transicional con unidad anterior, delgada capa de arcilita roja de 2cm de espesor.  
Limoarenita roja con concreciones de carbonato de hasta 2 cm de diámetro, irregulares, asociadas a niveles granulometricamente mas finos. Transicionalmente aumenta el tamaño de grano hasta arenitas finas pardo rojiza a rosadas, con abundantes clastos de cuarzo y líticos, además de óxidos de hierro. De aspecto masivo a finamente laminado. Presencia de opacos, incluyendo magnetita en niveles muy finos. En la base, nivel de 4 cm de arenita mas gruesa.
- 178,50 – 184,30 mts      Limoarcililas rojas (aspecto superficial craquelado). Presencia de estructuras de bioturbación o grietas de desecación. Presencia de pequeños clastos o nódulos de arcilita verde (como si fueran núcleos de oxidorreducción relicto). Deleznable. A 180,70 mts fractura 40<sup>a</sup>.
- 184,30 – 190,80mts      Predominan las areniscas finas rojizas a pardo rojizas. Estas son algo masivas en la base, con nódulos de carbonato (algunos de ellos con cierta deformación) y laminación muy incipiente.  
Estas areniscas alternan con limoarcililas rojas. Los pases entre una y otra unidad son transicionales, variando entre granulometrías finas, masivas y granulometrías algo mas gruesas donde abunda el cemento carbonático y adquieren aspecto laminado.  
A los 186,70 mts se observa un nivel de areniscas de 10 cm blanquecino con abundante carbonato de calcio en la matriz y en pequeños nódulos. A los 186,80 mts, nivel limoarcilítico de 80 cm. Este ultimo nivel transicionalmente se hace mas grueso y se torna blanquecino por la presencia de cemento carbonático, laminación. A los 188,30 mts, 30cm de limoarcilila roja. A 188,60 mts, niveles de arenitas muy finas pardo rosadas, intercaladas con limoarcililas y arcililas rojizas. Fuerte laminación y estructuras de deformación.  
Entre 189 y 189,60 sector mas fino, limoarcililas.
- 190,80 – 194,25mts      Alternancia de finos niveles de areniscas pardo amarillentas y limoarcililas rojas. Muy laminadas, con estructuras flaser y ripples. Hacia el techo predomina la laminación paralela.
- 194,25 – 201,50 mts      Limoarcilila pardo rojiza (superficie del testigo algo rota, en superficie sana se observa leve craquelación). Con nódulos o clastos de arcilila verdosa. Cemento carbonático en forma de parches irregulares. Hacia el techo se vuelve transicionalmente algo mas gruesa y se observa cierta laminación incipiente.

201,50 – 202,80 mts	Similar a 190,80-194,25mts. Zona con fuerte laminación. Arcilitas, limoarcilitas rojas y arenitas muy finas blanquecinas. Estructuras flaser en algunos sectores.
202,80 – 210 mts	Limoarcilita pardo rojiza similar a 194,25-201,50.
210 – 211,50 mts	zona con alternancia de niveles de distinta granulometría y laminación. Similar 201,50-202,80mts.
211,50 – 214,50 mts	Limoarcilitas rojas
214,50 – 216 mts	Nuevamente se observan en la secuencia niveles o capas de 0,1-0,2 cm de espesor de granulometría más gruesa, blanquecinas, que le dan a la secuencia un aspecto laminado. Esta alternancia permite ver la estructura interna de los sedimentos. Se observa laminación paralela, ripples escasos y estructuras que cortan la estratificación (grietas, escape de fluidos, bioturbación?)
216 – 222,70 mts	Limoarcilitas rojas (incluso en sectores podrían ser mas fina, arcilitas limosas). Masivas, con abundante arcilla, en ocasiones con cierta plasticidad. Se observan nódulos de arcillas verdes y nódulos carbonatitos inmersos en la roca. Matriz calcárea. Zona de muchas fracturas, con abundante jaboncillo de falla y espejos de fricción. 216,40-217,80 mts. Fracturas verticales y 120 <sup>a</sup> .
222,70 – 223,50 mts	Alternancia de niveles muy delgados. Laminación. Idem 214,50-216 mts
223,50 – 234,50 mts	Limoarcilitas rojas. Idem 216-222,70. Nódulos de carbonato redondeados y clastos de arcilita verde. Masiva, con matriz calcárea. . Alta fracturación 224,50-230,30mts zona de <u>FALLA</u> . Fracturas 45 <sup>a</sup> -70 <sup>a</sup> -120 <sup>a</sup> -160 <sup>a</sup> .
234,50 – 234,70 mts	Idem 222,70-223,50 mts
234,70 – 239,50 mts	Limoarcilitas rojas (o arcilitas limosas). Masivas, con cemento carbonático. Deleznales debido a la gran cantidad de arcilla. En sectores muy fracturadas. Fracturas verticales, 60 <sup>a</sup> -160 <sup>a</sup> .
239,50 mts	FIN DE POZO



Vista general de las litologías cortadas en el Pozo San Bautista.



Formación Fray Bentos – limolitas y areniscas muy finas rosadas, macizas.



Pasaje de la Formación Fray Bentos (limolitas rosadas) para la Formación Mercedes (areniscas medias a gruesas, blancas, con abundante cemento carbonático)



Detalle de las pelitas marrones, pardas y areniscas marrones finas de la Formación Migueles en el pozo San Bautista

## Anexo 3

### Análisis químicos Laboratorio ECOTECH

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Valentina Ribero

**INFORME DE ENSAYO Nro:** 48193

**Fecha de emisión:** 20/06/2018

Página 1 de 5

**Nombre del Solicitante:** Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

**Dirección:** Igua 4220

**Teléfono:** 091 36 77 67.

**Ciudad:** Montevideo (Montevideo)

**CÓDIGO INTERNO:** **48193-1**
**Fecha recepción de la muestra:** 24/05/2018

**Fecha de Muestreo:** / /

**Identificación:**
**Muestreo realizado por:** Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Migues 1

**Condición de recepción de la muestra:** Env. plástico 1 L

**Fechas de realización de los ensayos:** Entre el día 24/05/2018 Y el 01/06/2018

Identificación de muestra por: Cliente

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Cliente

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico (*)	0.008	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.005	0.015	
Fluoruro	0.3	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.1	0.5	
Magnesio (*)	68	mgCaCO3/L	SM 3500 Mg B	2	10	
Alcalinidad Total (*)	303	mgCaCO3/L	SM 2320 B	4	20	
Alcalinidad al Bicarbonato	303	mgCaCO3/L	SM 2320 B	----	----	
Nitratos	9.1	mgNO3/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.2	1.0	
Calcio (*)	125	mgCaCO3/L	SM 3500 Ca B	2	10	
Cloruros (*)	79	mgCl/L	SM 4500 Cl <sup>-</sup> B	1	5	
Sulfato (*)	50	mgSO4/L	SM 4500 SO4 <sup>2-</sup> E	0.3	2	
Potasio (*)	5.6	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	
Sodio (*)	110	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Valentina Ribero

INFORME DE ENSAYO Nro: 48193

Fecha de emisión: 20/06/2018

Página 2 de 5

 CÓDIGO INTERNO: **48193-2**

Fecha recepción de la muestra: 24/05/2018

Fecha de Muestreo: / /

Identificación:

Migue 2

Muestreo realizado por: Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Condición de recepción de la muestra: Env. plástico 1 L

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 24/05/2018 Y el 01/06/2018

Identificación de muestra por: Cliente

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Cliente

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico (*)	<0.005	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.005	0.015	
Fluoruro	0.3	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.1	0.5	
Magnesio (*)	79	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 3500 Mg B	2	10	
Alcalinidad Total (*)	364	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 2320 B	4	20	
Alcalinidad al Bicarbonato	364	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 2320 B	---	---	
Nitratos	16	mgNO <sub>3</sub> /L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.2	1.0	
Calcio (*)	136	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SM 3500 Ca B	2	10	
Cloruros (*)	80	mgCl/L	SM 4500 Cl <sup>-</sup> B	1	5	
Sulfato (*)	58	mgSO <sub>4</sub> /L	SM 4500 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	0.3	2	
Potasio (*)	3.9	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	
Sodio (*)	123	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Valentina Ribero

INFORME DE ENSAYO Nro: 48193

Fecha de emisión: 20/06/2018

Página 3 de 5

 CÓDIGO INTERNO: **48193-3**

Fecha recepción de la muestra: 24/05/2018

Fecha de Muestreo: / /

Identificación:

Migue 6

Muestreo realizado por: Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Condición de recepción de la muestra: Env. plástico 1 L

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 24/05/2018 Y el 01/06/2018

Identificación de muestra por: Cliente

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Cliente

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico (*)	0.008	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.005	0.015	
Fluoruro	0.4	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.1	0.5	
Magnesio (*)	58	mgCaCO3/L	SM 3500 Mg B	2	10	
Alcalinidad Total (*)	348	mgCaCO3/L	SM 2320 B	4	20	
Alcalinidad al Bicarbonato	348	mgCaCO3/L	SM 2320 B	---	---	
Nitratos	11	mgNO3/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.2	1.0	
Calcio (*)	173	mgCaCO3/L	SM 3500 Ca B	2	10	
Cloruros (*)	108	mgCl/L	SM 4500 Cl <sup>-</sup> B	1	5	
Sulfato (*)	82	mgSO4/L	SM 4500 SO4 <sup>2-</sup> E	0.3	2	
Potasio (*)	2.3	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	
Sodio (*)	135	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Valentina Ribero

INFORME DE ENSAYO Nro: 48193

Fecha de emisión: 20/06/2018

Página 4 de 5

 CÓDIGO INTERNO: **48193-4**

Fecha recepción de la muestra: 24/05/2018

Fecha de Muestreo: / /

Identificación:

Migue 7

Muestreo realizado por: Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Condición de recepción de la muestra: Env. plástico 1 L

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 24/05/2018 Y el 01/06/2018

Identificación de muestra por: Cliente

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Cliente

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico (*)	0.006	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.005	0.015	
Fluoruro	0.3	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.1	0.5	
Magnesio (*)	181	mgCaCO3/L	SM 3500 Mg B	2	10	
Alcalinidad Total (*)	233	mgCaCO3/L	SM 2320 B	4	20	
Alcalinidad al Bicarbonato	233	mgCaCO3/L	SM 2320 B	---	---	
Nitratos	21	mgNO3/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.2	1.0	
Calcio (*)	294	mgCaCO3/L	SM 3500 Ca B	2	10	
Cloruros (*)	935	mgCl/L	SM 4500 Cl <sup>-</sup> B	1	5	
Sulfato (*)	159	mgSO4/L	SM 4500 SO4 <sup>2-</sup> E	0.3	2	
Potasio (*)	6.1	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	
Sodio (*)	571	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

INFORME DE ENSAYO Nro: 48193

(\*) Método acreditado de acuerdo a Norma UNIT-ISO/IEC17025:2005 por el Organismo Uruguayo de Acreditación

2. Apartamiento de los métodos : No existió apartamiento en la aplicación de los métodos informados.
3. Comentarios : ----

4. Referencia a normas :
- SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edición 22
  - EPA: United States Environmental Protection Agency
  - ASTM Book of Standards
  - MASPA: Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas-Homer D. Chapman
  - HRMPA-Handbook of Reference Methods for Plant Analysis-Soil and Plant Analysis Council-CRC-EEUU
  - AOAC Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th Edition (2016)
  - UNIT Instituto Uruguayo de Normas Técnicas
  - HTP-TNRC Texas Natural Resource Conservation Commission (TNRCC) Total Petroleum Hydrocarbons .Rev 03.June 1,2001.

- LD Límite de detección - LC Límite de cuantificación

- Los datos originales controlados, así como las fechas de realización de los ensayos quedan registrados en las planillas de seguimiento de ensayo del laboratorio con el mismo número que el del informe de ensayo.
- Si la responsabilidad de muestreo corresponde a ECOTECH, el procedimiento de muestreo corresponde al descrito en el instructivo interno vigente correspondiente
- Los resultados del ensayo se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El presente informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin la autorización expresa de ECOTECH.

por ECOTECH  
IQ Gualberto Trelles  
Director

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Valentina Ribero

INFORME DE ENSAYO Nro: 48192

Fecha de emisión: 20/06/2018

Página 1 de 5

Nombre del Solicitante: Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Dirección: Igua 4220

Teléfono: 091 36 77 67.

Ciudad: Montevideo (Montevideo)

CÓDIGO INTERNO: **48192-1**

Fecha recepción de la muestra: 24/05/2018

Fecha de Muestreo: / /

Identificación:

Muestreo realizado por: Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Mercedes 1

Condición de recepción de la muestra: Env. plástico 1 L

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 24/05/2018 Y el 31/05/2018

Identificación de muestra por: Cliente

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Cliente

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico (*)	0.04	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.005	0.015	
Fluoruro	0.9	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.1	0.5	
Magnesio (*)	41	mgCaCO3/L	SM 3500 Mg B	2	10	
Alcalinidad Total (*)	505	mgCaCO3/L	SM 2320 B	4	20	
Alcalinidad al Bicarbonato	505	mgCaCO3/L	SM 2320 B	----	----	
Nitratos	6.5	mgNO3/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.2	1.0	
Calcio (*)	75	mgCaCO3/L	SM 3500 Ca B	2	10	
Cloruros	31	mgCl/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.3	1.0	
Sulfato	78	mgSO4/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.3	1.0	
Potasio (*)	1.7	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	
Sodio (*)	204	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Valentina Ribero

INFORME DE ENSAYO Nro: 48192

Fecha de emisión: 20/06/2018

Página 2 de 5

 CÓDIGO INTERNO: **48192-2**

Fecha recepción de la muestra: 24/05/2018

Fecha de Muestreo: / /

Identificación:

Mercedes 4

Muestreo realizado por: Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Condición de recepción de la muestra: Env. plástico 1 L

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 24/05/2018 Y el 31/05/2018

Identificación de muestra por: Cliente

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Cliente

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico (*)	0.03	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.005	0.015	
Fluoruro	0.6	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.1	0.5	
Magnesio (*)	79	mgCaCO3/L	SM 3500 Mg B	2	10	
Alcalinidad Total (*)	466	mgCaCO3/L	SM 2320 B	4	20	
Alcalinidad al Bicarbonato	466	mgCaCO3/L	SM 2320 B	---	---	
Nitratos	12	mgNO3/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.2	1.0	
Calcio (*)	139	mgCaCO3/L	SM 3500 Ca B	2	10	
Cloruros	128	mgCl/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.3	1.0	
Sulfato	97	mgSO4/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.3	1.0	
Potasio (*)	3.0	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	
Sodio (*)	209	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Valentina Ribero

INFORME DE ENSAYO Nro: 48192

Fecha de emisión: 20/06/2018

Página 3 de 5

 CÓDIGO INTERNO: **48192-3**

Fecha recepción de la muestra: 24/05/2018

Fecha de Muestreo: / /

Identificación:

Mercedes 5

Muestreo realizado por: Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Condición de recepción de la muestra: Env. plástico 1 L

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 24/05/2018 Y el 31/05/2018

Identificación de muestra por: Cliente

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Cliente

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico (*)	0.03	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.005	0.015	
Fluoruro	0.8	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.1	0.5	
Magnesio (*)	28	mgCaCO3/L	SM 3500 Mg B	2	10	
Alcalinidad Total (*)	461	mgCaCO3/L	SM 2320 B	4	20	
Alcalinidad al Bicarbonato	461	mgCaCO3/L	SM 2320 B	---	---	
Nitratos	1.6	mgNO3/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.2	1.0	
Calcio (*)	104	mgCaCO3/L	SM 3500 Ca B	2	10	
Cloruros	138	mgCl/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.3	1.0	
Sulfato	48	mgSO4/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.3	1.0	
Potasio (*)	2.5	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	
Sodio (*)	224	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

A la atención de: Valentina Ribero

INFORME DE ENSAYO Nro: 48192

Fecha de emisión: 20/06/2018

Página 4 de 5

 CÓDIGO INTERNO: **48192-4**

Fecha recepción de la muestra: 24/05/2018

Fecha de Muestreo: / /

Identificación:

Mercedes 7

Muestreo realizado por: Valentina Ribero - Facultad de Ciencias

Condición de recepción de la muestra: Env. plástico 1 L

Fechas de realización de los ensayos: Entre el día 24/05/2018 Y el 31/05/2018

Identificación de muestra por: Cliente

Lugar de muestreo:

Detalle significativo del muestreo:

Traslado al Laboratorio realizado por: Cliente

Parámetro	Resultado	Unidades	Técnica de Referencia	LD	LC	Valor según Decreto
Arsenico (*)	0.02	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.005	0.015	
Fluoruro	0.7	mgF/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.1	0.5	
Magnesio (*)	82	mgCaCO3/L	SM 3500 Mg B	2	10	
Alcalinidad Total (*)	492	mgCaCO3/L	SM 2320 B	4	20	
Alcalinidad al Bicarbonato	492	mgCaCO3/L	SM 2320 B	---	---	
Nitratos	12	mgNO3/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.2	1.0	
Calcio (*)	119	mgCaCO3/L	SM 3500 Ca B	2	10	
Cloruros	98	mgCl/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.3	1.0	
Sulfato	87	mgSO4/L	Basado en UNE-EN ISO 10304-1	0.3	1.0	
Potasio (*)	2.6	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	
Sodio (*)	206	mg/L	Basado en EPA 6010 D	0.1	0.5	

## Laboratorio Ecotech S.R.L.

INFORME DE ENSAYO Nro: 48192

(\*) Método acreditado de acuerdo a Norma UNIT-ISO/IEC17025:2005 por el Organismo Uruguayo de Acreditación

2. Apartamiento de los métodos : No existió apartamiento en la aplicación de los métodos informados.

3. Comentarios : ----

4. Referencia a normas :
- SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edición 22
  - EPA: United States Environmental Protection Agency
  - ASTM Book of Standards
  - MASPA: Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas-Homer D. Chapman
  - HRMPA-Handbook of Reference Methods for Plant Analysis-Soil and Plant Analysis Council-CRC-EEUU
  - AOAC Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th Edition (2016)
  - UNIT Instituto Uruguayo de Normas Técnicas
  - HTP-TNRC Texas Natural Resource Conservation Commission (TNRCC) Total Petroleum Hydrocarbons .Rev 03.June 1,2001.

- LD Límite de detección - LC Límite de cuantificación

- Los datos originales controlados, así como las fechas de realización de los ensayos quedan registrados en las planillas de seguimiento de ensayo del laboratorio con el mismo número que el del informe de ensayo.
- Si la responsabilidad de muestreo corresponde a ECOTECH, el procedimiento de muestreo corresponde al descrito en el instructivo interno vigente correspondiente
- Los resultados del ensayo se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- El presente informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin la autorización expresa de ECOTECH.

por ECOTECH  
IQ Gualberto Trelles  
Director