

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA E HIDRÁULICA DE LA UNIDAD ACUÍFERA PRINCIPAL DEL SUROESTE DE LAVALLEJA



Autor: SEBASTIÁN PÉREZ BLANCO
Tutora: Dra. María Paula Collazo
Facultad de Ciencia- Universidad de la República
Trabajo Final de Grado
Licenciatura en Geología
2019
Montevideo-Uruguay

Agradecimientos

Primero que nada quiero agradecer a mi familia, mi compañera de vida (Mi novia), mi Padre y mi Madre quienes fueron el motor fundamental para transitar el camino y poder lograr el objetivo.

Luego a mi Tutora por confiar en mí, guiarme, aconsejarme y por bancarme todas las veces que la molesté. También a todos los compañeros de Geología e Hidrogeología de Dinamige, entre ellos se destacan Sergio Pena, Valentina Pintos, Walter Heinzen, Augusto González, Luis Figueras y Javier Techera, quien me aconsejó y guió en varios aspectos de la Tesis.

Por último quiero agradecerles a todos mis compañeros y amigos que prestaron su conocimiento sus ganas y su voluntad para ayudarme a recorrer este camino que empezó en el 2010.

INDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
1. Introducción.....	7
2. Objetivos.....	7
2.1 Objetivo General.....	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
3. Metodología/ Materiales y Métodos.....	8
4. Área de Estudio.....	10
4.1 Ubicación.....	10
4.2 Geomorfología.....	11
4.3 Suelos.....	13
5. Clima.....	15
5.1 Introducción sobre clima en Uruguay.....	15
5.2 Caracterización climática del Área de Trabajo.....	15
5.3 Clasificación Climática.....	20
6. Balance Hídrico.....	21
7. Geología.....	23
7.1 Margo Geológico Regional.....	23
7.2 Geología del Área.....	26
7.2.1 Formación Puerto Gomes.....	29
7.2.2 Formación Cañada Solís.....	31
7.2.3 Formación Miguez.....	32
7.2.4 Formación Raigón.....	35
7.2.5 Formación Libertad.....	37
7.2.8 Formación Dolores.....	39
8. Análisis granulométrico.....	40
8.1 Fundamento Teórico.....	40
8.2 Resultados.....	43
9. Hidrogeología.....	56
9.1 Marco Teórico.....	56

9.1.1 Porosidad.....	56
9.1.2 Movimiento del Agua.....	59
9.1.3 Ley de Darcy.....	60
9.1.4 Métodos Indirectos para la determinación de la Conductividad Hidráulica (K).....	62
9.2 Hidrogeología del Área.....	63
9.2.1 Unidad acuífera Migués.....	63
9.2.2 Piezometría.....	66
9.2.3 Parámetros Hidráulicos.....	70
10. Hidrogeoquímica.....	72
10.1 Marco Teórico.....	72
10.1.1 Características de la Calidad del Agua.....	72
10.1.2 Clasificación del Tipo de Agua.....	73
10.2 Hidrogeoquímica del Área.....	78
10.2.1 Parámetros Fisicoquímicos.....	79
10.2.2 Parámetros Químicos.....	87
10.2.3 Clasificación del Tipo de Agua.....	88
10.2.4 Aptitud del Agua para Riego.....	93
11. Conclusiones.....	95
12. Recomendaciones.....	98
13. Bibliografía.....	99
14. Anexos.....	103
Anexo I. Tablas de Precipitación y Temperatura.....	103
Anexo II. Tablas de cálculo del Balance Hídrico.....	109
Anexo III. Censo de Pozos.....	115
Anexo IV. Mapas de Distribución de Puntos.....	116
Anexo V. Perfiles de Pozos.....	117
Anexo VI. Resultados de Laboratorio.....	128

Resumen 3

El siguiente trabajo consistió en identificar las unidades geológicas existentes en el sur oeste del Departamento de Lavalleja y determinar su productividad acuífera. En base a ésta identificación, se determinó que la Formación Migués debido a su extensión en superficie, es la principal unidad acuífera del área de estudio.

De acuerdo a esta identificación inicial, se trabajó sobre la Unidad Acuífera Migués utilizando metodologías con el fin de caracterizar hidrogeológicamente e hidrogeoquímicamente esta unidad.

De estos análisis surge que dicha unidad corresponde a un acuífero libre en la zona centro sur del área y semiconfinado en el Norte. Presenta una porosidad eficaz de 21.8% y una permeabilidad de 1382m/día. El agua subterránea se califica como bicarbonatadas sódicas y bicarbonatadas cálcicas, teniendo un riesgo de salinización medio a alto.

ABSTRACT

The following work consisted of identifying the existing geological units in the south west of the department of Lavalleja and determining their water productivity. Based on this identification, it was determined that Migues Formation, due to its extension, is the main aquifer unit of the study area.

According to this initial identification, work was done on the Migues Aquifer Unit using methodologies in order to hydrogeologically and hydrogeochemically characterize this unit.

From these analyzes it appears that said unit corresponds to a unconfined aquifer in the south central area and semi-confined to the North. The effective porosity is 21.8% and permeability is 1382m/day. Groundwater is classified as Sodium Bicarbonates and Calcium Bicarbonate, with a medium to high salinity risk.

1. Introducción

El presente trabajo corresponde al Trabajo Final de la Licenciatura en Geología de la Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica (Udelar). Está enmarcado dentro de los trabajos realizados como pasante en la División Geología, sub-División Hidrogeología, del convenio firmado entre la Universidad de la Republica/Facultad de Ciencias/MIEM/DNI/DINAMIGE, y el acuerdo complementario entre la Sección Recursos Hídricos Subterráneos del Instituto de Ciencias Geológicas y el Área de Geología de DINAMIGE.

La zona de investigación se encuentra al sur oeste del Departamento de Lavalleja, ocupando un área aproximada de 180Km², encontrándose las localidades de Vejigas, Puntas de Vejigas y Estación Solís, (Figura 1).

En el área, se encuentran un total de 15 pozos realizados por DINAMIGE entre los años 2011 y 2016, en un convenio para brindar agua a pequeños productores, junto con la Intendencia de Lavalleja.

La geología del área está representada en su mayoría por rocas pertenecientes al relleno de la cuenca Santa Lucia de edades Jurásica-Cretácica, conformadas por las Formaciones Puerto Gómez, Cañada Solís y Mígues. Presenta un basamento meso-neoproterozoico y una cobertura sedimentara posterior conformada por las Formaciones Libertad y Dolores en su mayoría. (Figura 14).

El recurso hídrico subterráneo tiene gran importancia en la zona, ya que es el sustento económico-social y es utilizado para consumo humano y riego principalmente.

Por estas razones es interesante e importante estudiar las aguas subterráneas, y la presente investigación tratara de dar un aporte al mismo.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Identificar las unidades acuíferas que se encuentran al Sur Oeste del Departamento de Lavalleja, a escala 1:50.000.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimación la recarga del acuífero principal.
- Determinación de los parámetros hidráulicos de la unidad acuífera principal.
- Caracterización química de las aguas subterráneas de la unidad acuífera principal.

3. Metodología/ Materiales y Métodos

i. Gabinete 1

- Recopilación, clasificación y análisis de antecedentes geológicos, hidrogeológicos del área de estudio.
- Fotointerpretación y análisis de gabinete de fotos aéreas y satelitales para corroborar en campo, seleccionar puntos de control y muestreo.

ii. Trabajo de Campo

- *Geológico*
 - Reconocimiento de las unidades geológicas presentes en el área de estudio.
 - Levantamiento de perfiles.
- *Hidrogeológicos*
 - Inventario de pozos, medición de profundidad, nivel estático, caudal, coordenadas, observaciones de estado de conservación de pozos, etc.
 - Toma de muestras de agua subterránea para medición de parámetros físico químicos in situ: pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez.
 - Toma de muestras de agua subterránea para medición de parámetros fisicoquímicos in situ de PO_4P ($\mu\text{g/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L). Método análogo de EPA 354.1, APHA 4500 NO_2^- , para el Fosfato es análogo de EPA 365.2+3, APHA 4500-P E.
 - Toma de muestra de agua subterránea de pozo para análisis químico en Laboratorio de Tecnogestión de DINAMIGE MIEM.

iii. Laboratorio

- Las muestras de aguas subterráneas tomadas en campo de pozos seleccionados, se llevaron al Laboratorio de Tecnogestión de DINAMIGE MIEM, donde se analizan los parámetros que se indican a continuación (Tabla 1).

Parámetro	Método
Ph	4500-H
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)	2510
Turbidez (NTU)	2130
Sólidos Totales (mg/L)	2540 B
Alcalinidad Total (mg/L CaCO_3)	2320
Alcalinidad fenolftaleína (mg/L CaCO_3)	2320
Dureza Total (mg/L CaCO_3)	2340
Calcio (mg/L CaCO_3)	3500-Ca
Magnesio (mg/L Mg^{+2})	3500-Mg
Nitratos (mg/L NO_3^-)	4500-NO3-D
Nitritos (mg/L NO_2^{2-})	4500-NO2-B
Cloruros (mg/L Cl^-)	4500-Cl- B
Silice(mg/L SiO_2)	4500-SiO2
Fosforo Total (mg/L P)	4500-P
Sulfatos (mg/L SO_4^{2-})	4500-SO4 2- E

Tabla 1. Métodos estándares utilizados por el laboratorio de Dinamige, MIEM. APHA 20^o Edición.

iv. Gabinete 2

- Procesamiento y análisis de los datos obtenidos de campo y laboratorio.
- Cálculo del balance Hídrico por el método Thornthwaite (1948) y Thornthwaite y Mather (1957).
- Representación de perfiles litológicos.
- Modelado de mapas piezométricos, diferencia de nivel estático, conductividad eléctrica, pH, temperatura y turbidez mediante software *Argis10.3*.
- Representación gráfica a través de diagrama (Stiff, Piper) y mapas de datos hidroquímicos, mediante software *Diagrammes*.
- Determinación de la aptitud de agua subterránea para distintos usos por el método Riesgo Absorción Sodio (RAS).
- Interpretación de los resultados.

4. Área de Estudio

4.1 Ubicación

La zona de estudio comprende un área aproximadamente de 180 Km², Se ubica a 15 Km al oeste de la ciudad de Minas, accediendo a ésta por la ruta Nacional N° 12 y ruta Nacional N°108. El área está limitada al Norte por la ruta 40 y el punto de coordenadas UTM x: 627440; y: 6210504, el limite Este es la línea imaginaria que une los puntos de coordenadas UTM x: 647476 y: 6192335 y x: 644198 y: 6202363, al sur por la Estación Andreosi y al oeste es el límite departamental entre Canelones y Lavalleja aproximadamente. (Figura 1).

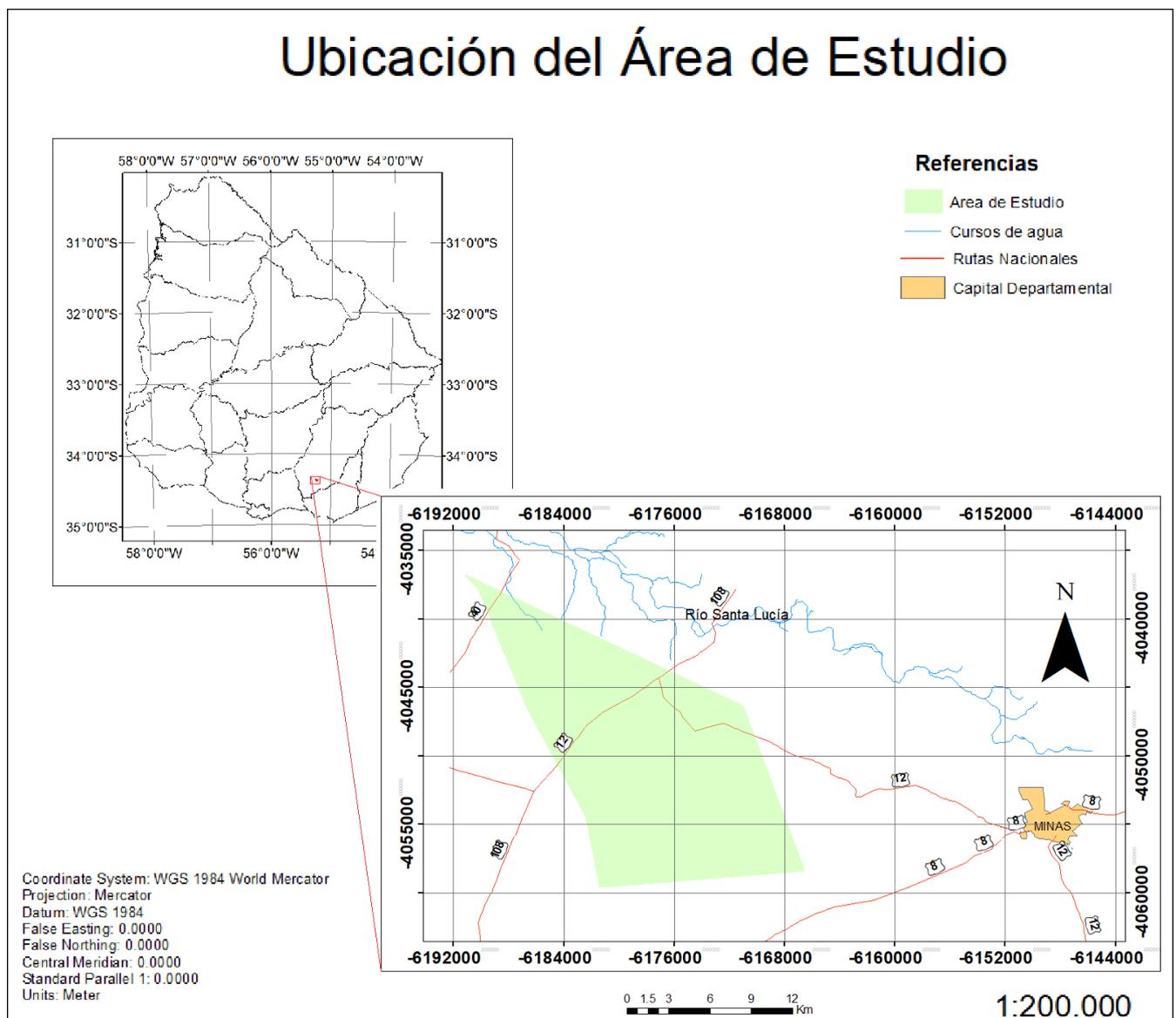


Figura 1. Mapa de la Zona de estudio. Sebastián Pérez; Trabajo Final.

4.2 Geomorfología

En un contexto regional el área de trabajo está ubicada en el borde este de la Fosa Tectónica del Santa Lucia, (Figura 8). Es la más importante de las fosas tectónicas cretácicas desde el punto de vista de la potencia de los sedimentos que presenta, la cual funciona como una cuenca de recepción de sedimentos activamente hasta el cuaternario inferior, (Panario, 1986).

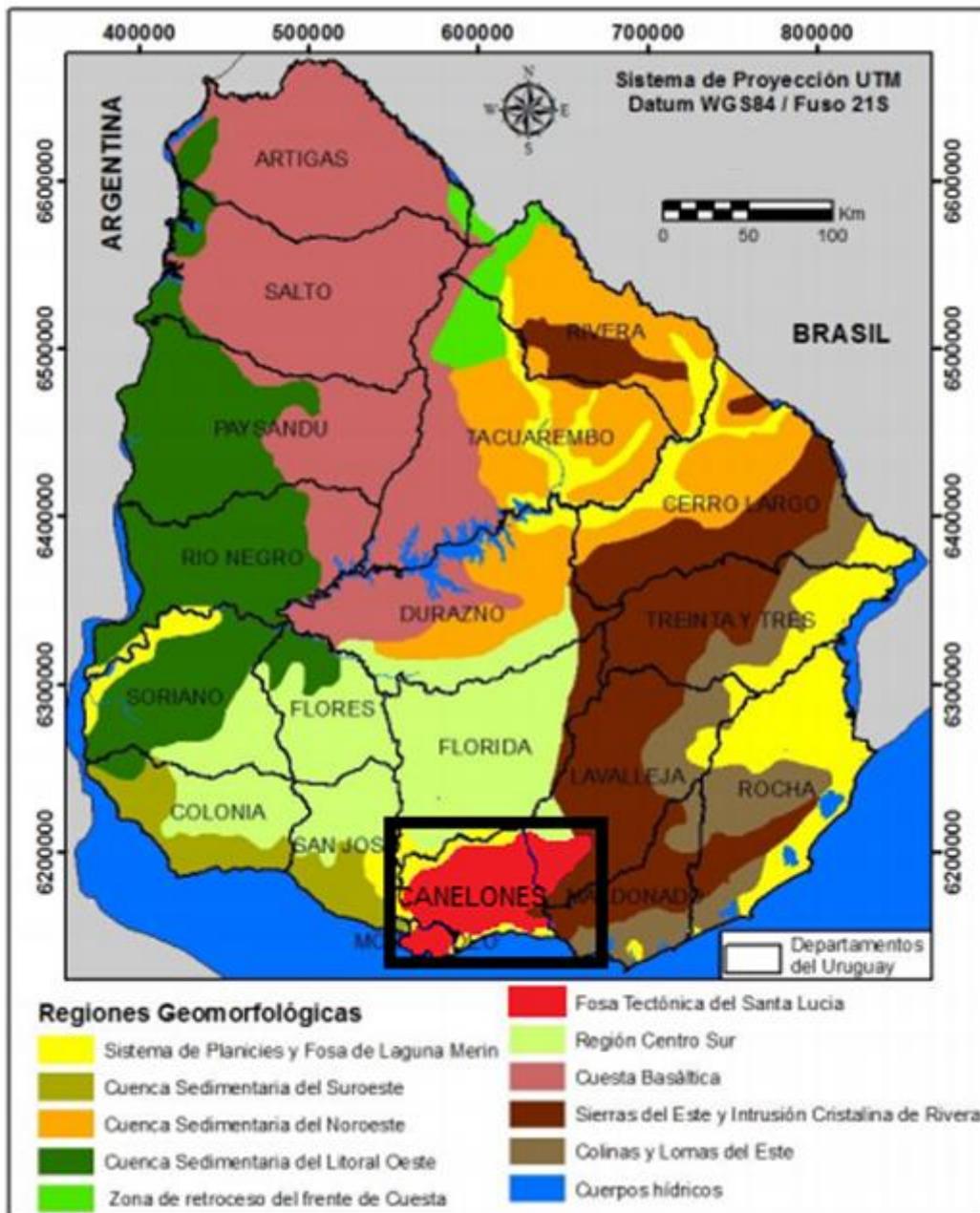


Figura 8. Regiones geomorfológicas del Uruguay, mostrando la fosa tectónica de Santa Lucia. Tomado y modificado de Panario. (1988).

La geomorfología local se caracteriza por ser ondulada con lomadas suaves principalmente, provocado por los sedimentos cuaternarios correspondientes a las Formaciones Libertad y Dolores, alternándose en lo alto (Fm Libertad), y en el bajo (Fm Dolores), ayudando a obtener un gran desarrollo de suelo para tener una gran cobertura vegetal. (Figura 9). El relieve tiene cotas que varían entre 50 y 120 metros de acuerdo a la Carta Topográfica escala 1:50.000 de Tala, Minas y Migués, Instituto Geográfico Militar.

Además se encuentran pendientes más marcadas provocando un relieve más pronunciado en donde se observan escarpas producto de la erosión de las areniscas correspondientes a la Formación Migués.

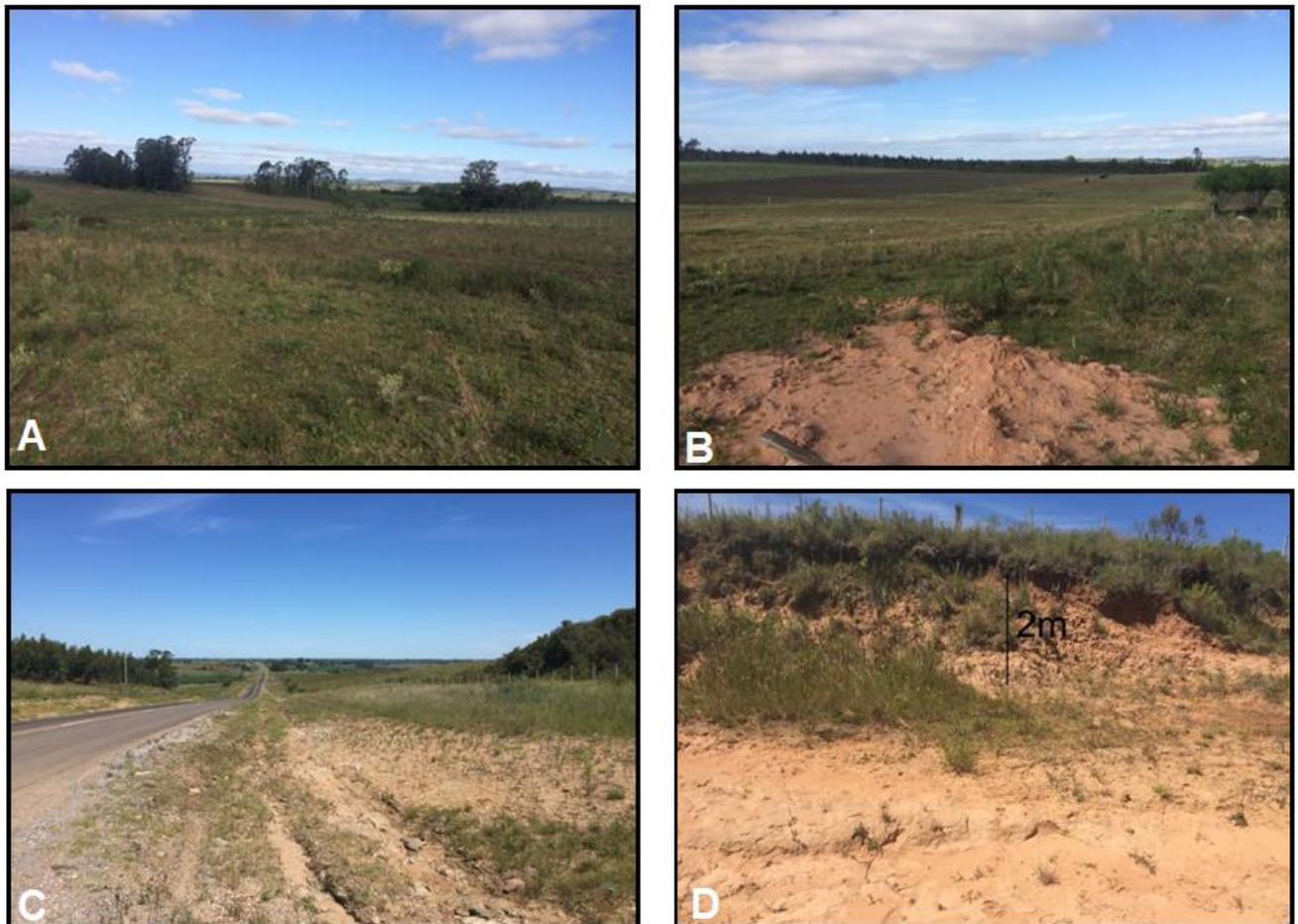


Figura 9. A .B: Imágenes del relieve suavemente ondulado provocado por los sedimentos cuaternarios de las Formaciones Libertad y Dolores. **C:** Imagen del relieve con pendientes más inclinadas. **D:** Imagen de la escarpa de las areniscas correspondientes a la Formación Migués.

4.3 Suelos

Uruguay se destaca por tener una gran variedad de tipos de suelos y se considera uno de los países latinoamericanos con mejor dotes en cuanto a hectáreas útiles per cápita. El origen es debido a las interacciones biológicas geológicas y condiciones climáticas, que varían a través del tiempo, esta variedad es provocada por el material parental, topografía y drenaje de la zona.

4.3.1 Suelos del Área

En la zona de estudio se observan 4 unidades diferentes de suelo Dura A. et al. (1976): Chapicuy (Brunosoles Subéutricos Típicos y Agrisoles Subéutricos); Valle Aiguá (Brunosoles Éutricos/ Subéutricos Típicos y Lúvicos); San Jacinto (Brunosoles Éutricos/ Subéutricos Típicos/ Lúvicos); Tala-Rodríguez (Brunosoles Éutricos Típicos/ Lúvicos y Vertisoles Rúpticos/ Lúvicos). (Figura 10).

Brunosoles Éutricos: Son suelos del tipo Melánicos, oscuros por su gran cantidad de materia orgánica, de texturas finas a medias en general. Presentan topografías algo fuertes provocando micro relieves, cara de deslizamientos, etc.

Se caracterizan por tener buena aptitud para uso agrícola y pastoril, no son aptos para forestación. En la zona se encuentran los Brunosoles Éutricos, Lúvicos y Típicos.

Al ser sedimentos arcillosos en su mayoría y con gran presencia de materia orgánica, son excelentes amortiguadores de contaminantes hacia las unidades acuíferas.

Brunosoles Subéutricos: Este tipo de suelo presenta fertilidad y textura media con una profundidad variable, la permeabilidad e infiltración es variable teniendo una erodabilidad media a alta y materia orgánica media, contrario a los éutricos. La aptitud agrícola es moderada y posee riesgo de degradación medio o bajo. En la zona se encuentran los Brunosoles Subéutricos Típicos y Lúvicos.

Vertisoles: Al igual que los Brunosoles son suelos del tipo Melánicos, con gran contenido en materia orgánica, textura fina, tanto su permeabilidad como su infiltración lenta y erodabilidad baja. Buena aptitud para el uso pastoril y agrícola, y no son aptos para forestación. Al igual que los Brunosoles Éutricos son excelentes amortiguadores para los acuíferos. Se encuentran los Vertisoles Rúpticos Lúvicos.

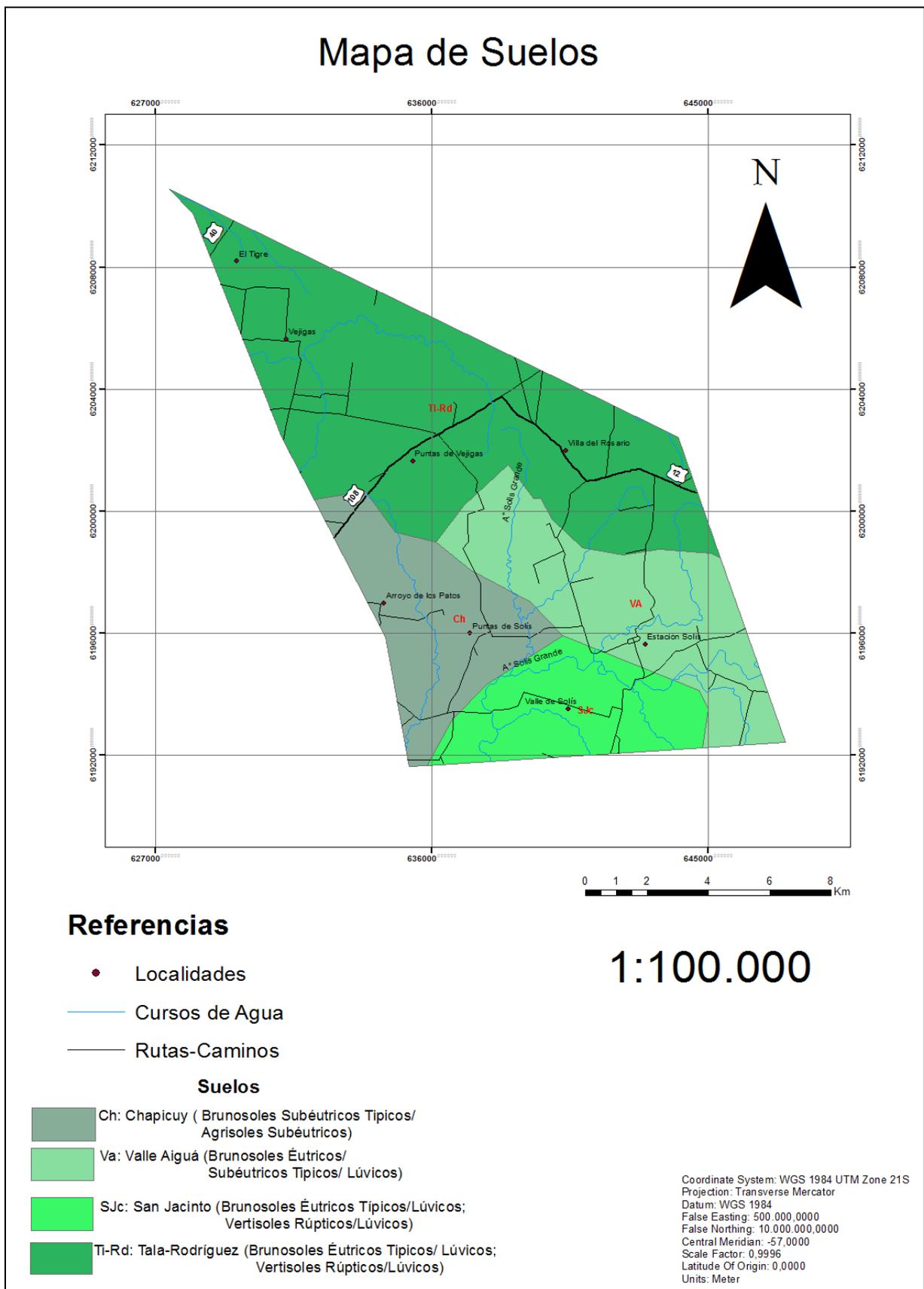


Figura 10. Mapa de Suelos de la zona de estudio, Escala 1:100.000. Tomado y modificado de la Carta de Reconocimiento de suelos del Uruguay; escala 1.1.000.000. MGAP, Dirección de Suelos y Fertilizantes.

5. Clima

5.1 Introducción sobre clima en Uruguay

El clima en Uruguay se caracteriza por ser templado, lluvioso y moderado, según la escala climática de Köppen, lo califica en el “grupo C”, basándose en que la vegetación natural tiene relación con el clima, estableciendo así los límites según la distribución de la vegetación.

Las temperaturas medias anuales son de 16°C en el sur este y de 20°C en el noroeste del país. En verano hay una máxima de 28°C y una mínima de unos 15°C de promedio, el invierno promedia una máxima de unos 15°C y una mínima de 8°C.

5.2 Caracterización climática del Área de Trabajo

La caracterización del clima en la zona de estudio, se realizó para determinar la evapotranspiración potencial (ETP) según el método de Thornthwaite y Mather (1957), y calcular a través del balance hídrico la infiltración del agua hacia el acuífero. Se analizaron datos de precipitaciones y temperaturas medias mensuales de las estaciones meteorológicas Carrasco y Florida, estaciones pluviométricas de Estación Solís. Villa del Rosario y Tala, del Instituto Nacional de Meteorología (Inumet).

- **Precipitación**

Del análisis de los datos de la precipitación en el periodo 1994-2017 se destaca que para la estación Meteorológica Aeropuerto Carrasco, obtenemos una precipitación media anual de 1163,7mm, siendo el año más lluvioso en 2014 de unos 1648mm y el año más seco en 2008 de 718.8mm (Figura 2). Analizando mensualmente el mes más lluvioso fue en Marzo del 2002 con un registro de 507,7mm, siendo el mes más seco Mayo de 1996, siendo 4,5mm. (Tabla A1 del Anexo I).

Para la estación Meteorológica Florida obtenemos una precipitación media anual de 1252,4mm, donde el año más lluvioso fue en 2002 con un registro de 1864,2mm y el año más seco fue en 2008 de 613,6mm, (Figura 3). Del análisis mensual se obtiene que el mes de marzo del 2002 fuera el mes más lluvioso con unos 464,2mm, y el mes más seco fue enero del 2000, (Tabla A2 del Anexo I).

En la estación pluviométrica de Tala se obtuvo una precipitación media anual de 1145,9mm, siendo el año más lluvioso el 2002 de 1764,8 mm, y el año más seco fue 2015 de 555,5mm, (Figura 4). Analizando mensualmente, se obtiene que el mes más lluvioso fuera marzo del 2002 con un registro de 463mm, y el mes más seco abril de 2009, donde no se registró precipitación. (Tabla A3 Anexo I).

Por último se analizaron los datos en conjunto de las estaciones pluviométricas de Estación Solís y Villa del Rosario obteniendo una precipitación media anual de 1145,9mm, siendo el año más lluvioso en 2002 de 1980mm y el año más seco fue 1996 siendo de 843,5mm, (Figura 5). Del análisis mensual, se obtiene que Marzo del 2002 fue el mes más lluvioso con un registro de 574,5mm, y los meses más

secos fueron agosto y setiembre de 1999 en donde no se registraron precipitaciones. (Tablas A3 y A4 del Anexo I).

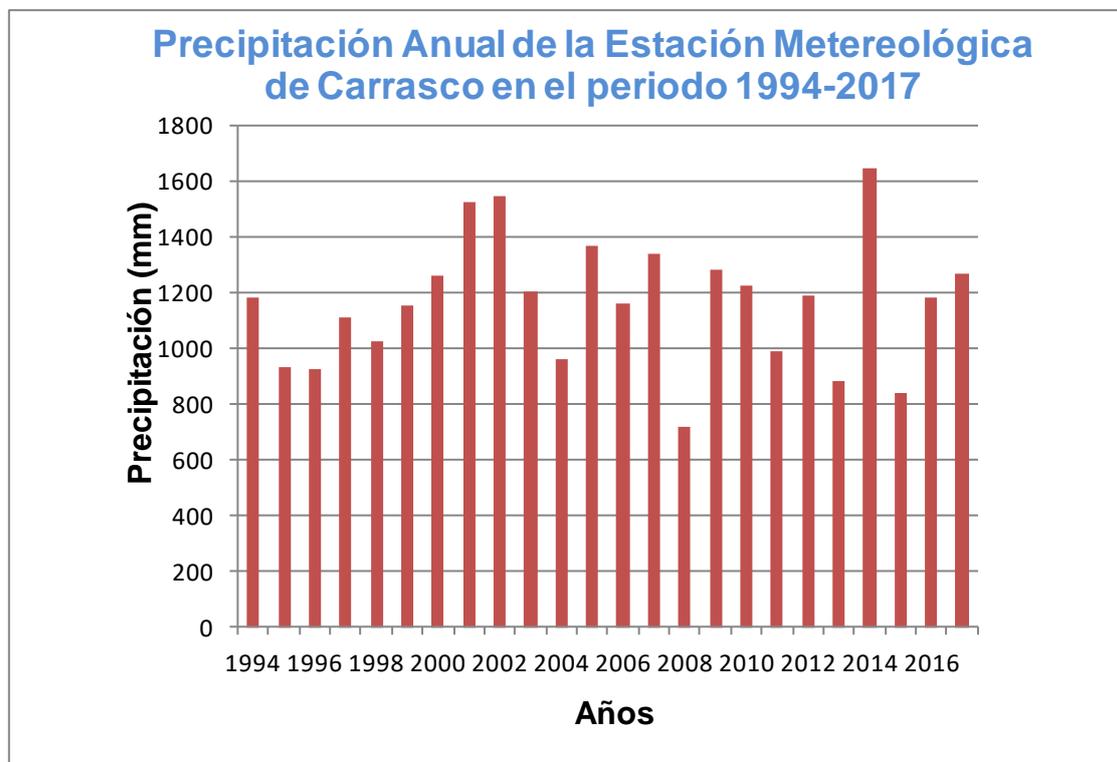


Figura 2. Grafico correspondiente a la precipitación anual en el periodo (1994-2017), de la Estación Meteorológica Carrasco

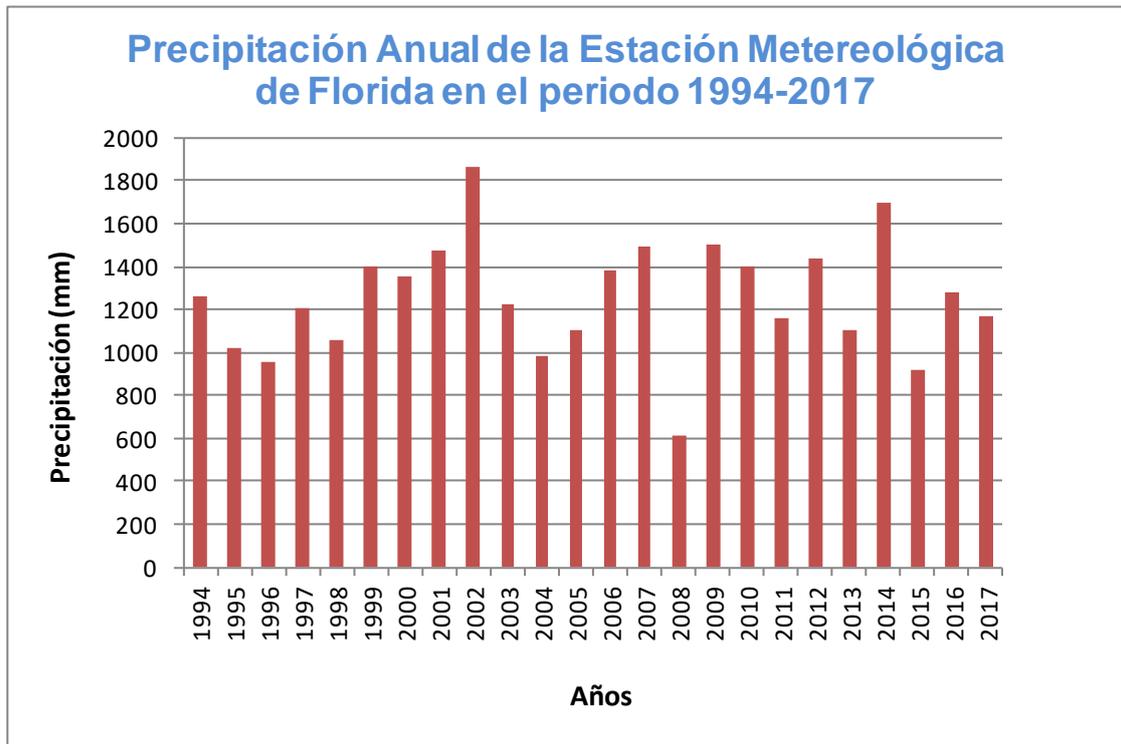


Figura 3. Grafico correspondiente a la precipitación anual en el periodo (1994-2017), de la Estación Meteorológica Florida.

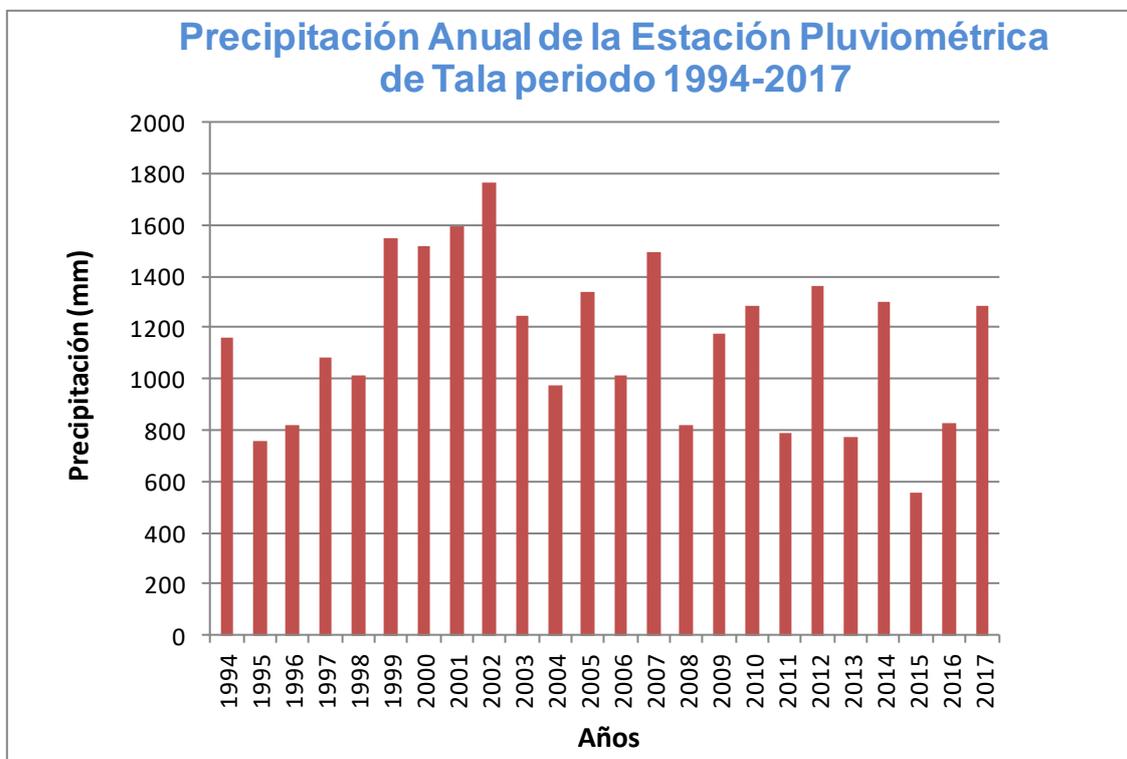


Figura 4. Grafico correspondiente a la precipitación anual en el periodo (1994-2017), de la Estación Pluviométrica de Tala.

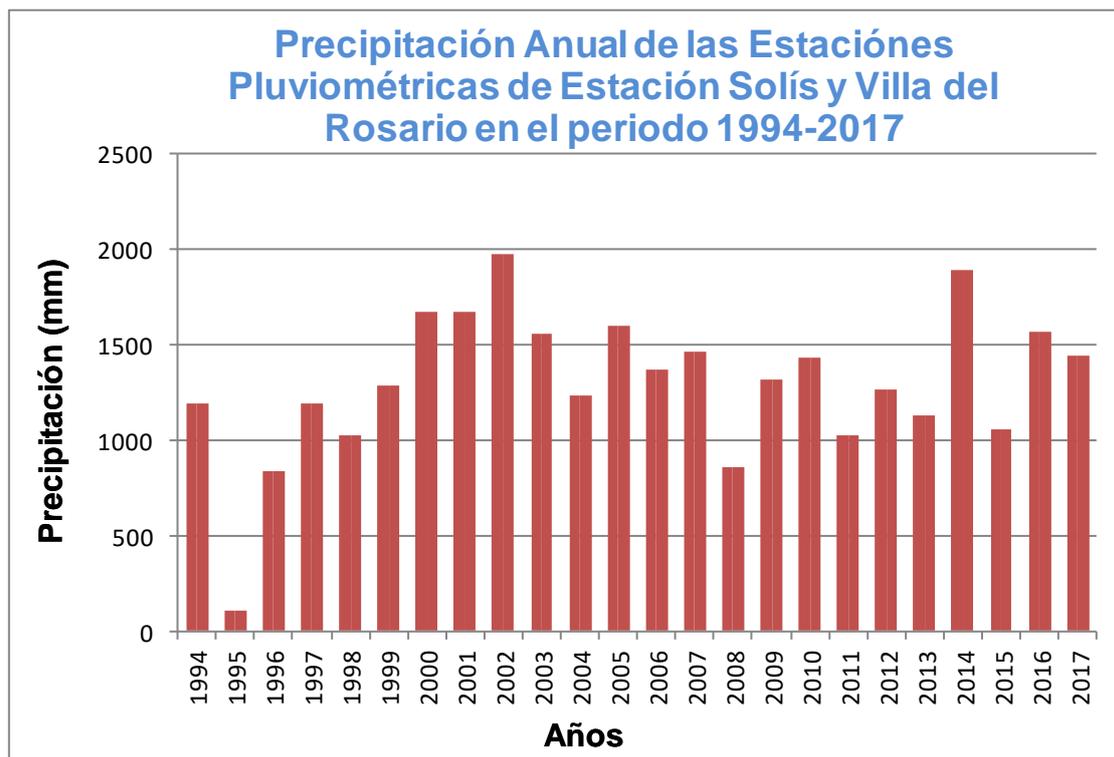


Figura 5. Grafico correspondiente a la precipitación anual en el periodo (1994-2017), de las Estaciones Pluviométricas de Estación Solís y Villa del Rosario.

- **Temperatura**

Para estimar la temperatura de la zona de trabajo entre los años 1994-2017, se utilizaron las estaciones meteorológicas Florida y Aeropuerto de Carrasco. Del análisis surge que la temperatura media es de 17,2°C, siendo enero el mes más caluroso con una temperatura media de 23.6°C y julio el mes más frío con 10.8°C. La temperatura media máxima se registró en enero de 2016 con un valor de 25.8°C, la media mínima fue en julio de 2007 con un valor de 7.2°C; ambos registros corresponden a la estación meteorológica Florida, (Tablas A6 y A7 del Anexo I).

En las (Figuras 6 y 7) se observa la precipitación versus la temperatura, de las dos estaciones meteorológicas ya mencionadas mostrando similares comportamientos y condiciones de temperatura y precipitaciones.

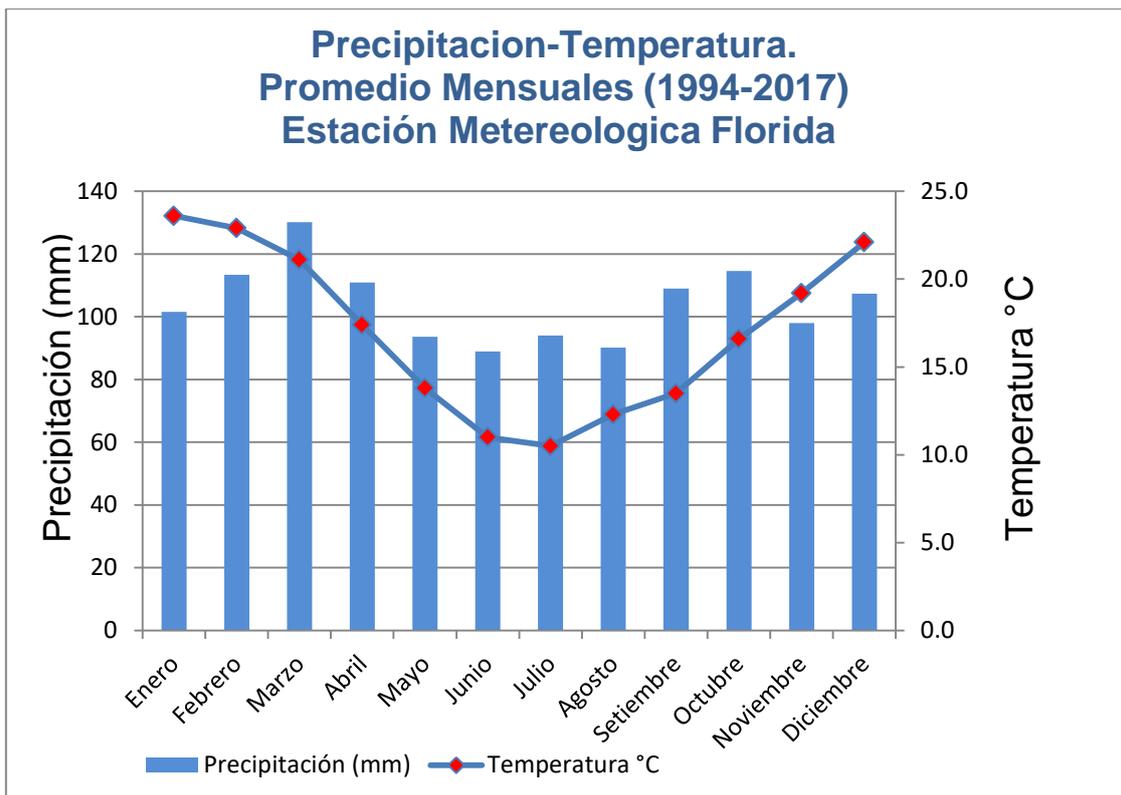


Figura 6. Gráfico de Precipitación vs Temperatura. Estación Meteorológica Florida.

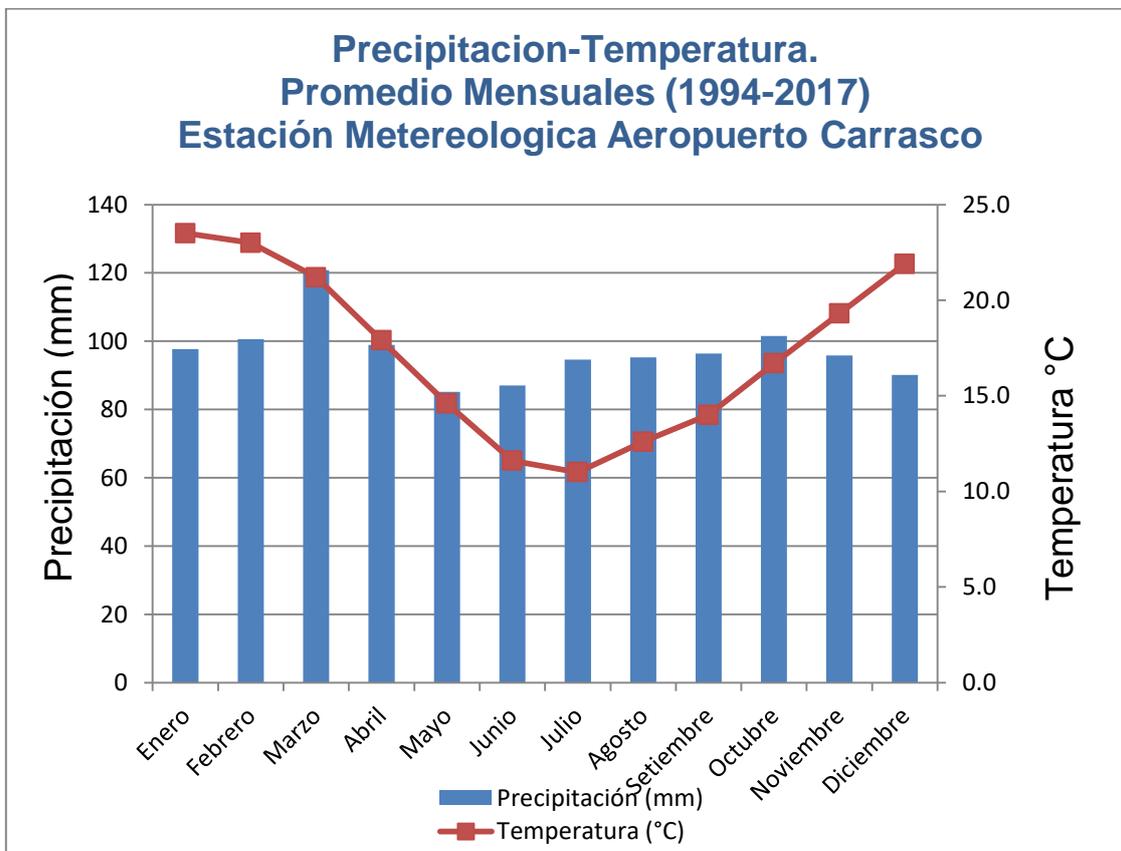


Figura 7. Gráfico de Precipitación vs Temperatura. Estación Meteorológica Aeropuerto Carrasco.

5.3 Clasificación Climática

La clasificación climática se realiza a través del método Thornthwaite (1948) que utiliza a la evapotranspiración potencial (ETP) como una variable atmosférica más, tal como lo es la precipitación. A partir de las variables mencionadas se realiza un balance hídrico el cual nos permite determinar la presencia de exceso (E), déficit (D) y superávit de humedad, pudiendo así calcular el índice de aridez (Ia), índice de humedad (Ih) e Índice global de humedad o Índice hídrico (Im).

$$Ia = \frac{100 \times D}{ETP} \quad Ih = \frac{100 \times E}{ETP} \quad Im = Ih - 0.6 \times Ia$$

Este índice se clasifica en nueve tipos climáticos que van desde clima árido hasta clima perhúmedo (Tabla 2).

Tipo climático	Letra	Im
Perhúmedo	A	Im > 100
Húmedo	B ₄	100 > Im > 80
	B ₃	80 > Im > 60
	B ₂	60 > Im > 40
	B ₁	40 > Im > 20
Sub-Húmedo a Húmedo	C ₂	20 > Im > 0
Seco a Sub-Húmedo	C ₁	0 > Im > -20
Semiárido	D	-20 > Im > -40
Árido	E	-40 > Im > -60

Tabla 2. Índice Global de humedad (Im) propuesto por Thornthwaite (1948).

A partir del método mencionado la clasificación climática en la zona de estudio es Húmedo, ya que el Im da un valor de 71.56. Se presenta a continuación los resultados de las variables climáticas (Tabla 3).

Ih	73,62
Ia	3,45
Im	71,56
ETP(mm)	832,5
P (mm)	1376,

Tabla 3. Resultados de variables climáticas de la zona de estudio.

6. Balance Hídrico

Al estudiar las aguas subterráneas de una zona determinada, es importante conocer la recarga de las mismas, para poder tener una gestión sostenible sobre ellas. A través de los factores externos como lo son la precipitación, evapotranspiración, escorrentía superficial y temperatura.

Es entonces que se realizó el balance hídrico utilizando el método Thornthwaite y Mather (1957), para determinar los valores de evapotranspiración real (E_{tr}), excedentes (E), y déficit hídrico (D), mediante tablas y formulas. (Anexo II).

Previamente se calculó la evapotranspiración potencial ETP y el índice calórico por el método de Thornthwaite (1948), el cual utiliza el término de evapotranspiración potencial (ETP), definiéndolo como “la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas”.

$$E_{tp} = 16 \left[\frac{I}{12} \right] \left[\frac{N}{30} \right] \left[\frac{10Ta}{I} \right]^a$$

Para ello tiene como variable primaria la medida mensual de las temperaturas medias diarias del aire, para poder calcular el índice de calor mensual (i).

$$i = (ta/5)^{1.514}$$

$I = \sum i$ es el valor índice anual. Siendo ta la temperatura del aire media mensual en °C.

l= duración del día (hs).

N= n° de días del mes.

a= es un exponente empírico, función de I.

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49.$$

• Balance Hídrico Edáfico

Para realizar el balance se tomaron en cuenta los datos de precipitaciones de las estaciones pluviométricas Villa del Rosario y Solís, entre el periodo 1994-2017 y las temperaturas de las estaciones meteorológicas Carrasco y Florida para el mismo periodo.

Después de tener los valores de precipitaciones y evapotranspiración potencial se procedió a calcular el almacenamiento y la variación dependiendo del tipo de suelo de la zona, para luego obtener la evapotranspiración real y estimar la deficiencia y exceso de agua. Para la capacidad de campo (CC) se tomó un valor de 104mm de acuerdo al tipo de suelo y cobertura vegetal.

El balance hídrico del área de estudio registro una precipitación media anual de (1376mm/año), dando una evapotranspiración potencial (Etp) de 832.5 (mm/año), el cual difiere en un 4% de la evapotranspiración real que registro un valor de (796mm/año). Los excedentes calculados dieron un valor medio de (579mm/año) que equivale a un 42% de la precipitación media anual.

El déficit promedio dio un valor de 24.4mm/año, siendo los meses del verano los que presentan el déficit mencionado, debido a la alta evapotranspiración, y el mayor exceso hídrico ocurre en los meses de otoño e invierno. (Anexo II Tabla 8).

- **Balance Hídrico Global**

Utilizando las ecuaciones del Balance Hídrico:

$$\boxed{P = Etr + Es + I} \quad \text{y} \quad \boxed{P - Etr = Ex = Es + I}$$

P= Precipitación; Etr: Evapotranspiración real; Es: Escorrentía; I=infiltración; Ex: Excedentes

Se presentan a continuación los valores medios mensuales de las variables de ciclo hidrológico. (Tabla 4).

	mm/año	%
P	1376.0	100
Etr	796.0	58
Ex	579.0	42

Tabla 4. Resultado del balance Hídrico Global.

- **Balance Hídrico Subterráneo**

El fin de realizar este balance es poder estimar la recarga anual que tendría el acuífero. Como en la zona de estudio los cursos de agua presentes son cañadas principalmente, no se encuentran estaciones de aforo para medir el caudal. Es entonces que a partir del excedente calculado (579mm/año), según Thornthwaite aproximadamente del excedente se descarga un 50% en ríos más o menos rápidamente y el otro 50% en infiltración.

A partir de Thornthwaite (1948) y de los bajos caudales de los cursos de agua, se estima un 50% para la infiltración, dando un valor de 289,5mm/año, verificando entonces la ecuación:

$$\boxed{P (100\%) = Etr (58\%) + I (21\%) + Es (21\%)}$$

7. Geología

7.1 Marco Geológico Regional

El área de estudio se ubica geológicamente en la Cuenca Santa Lucía, que forma parte del Lineamiento Santa Lucía-Aiguá-Merín (SaLAM), el cual es un sistema de graben-hemigraben de edad Mesozoica (Figura 11b).

El rasgo distintivo de la era Mesozoica fue la tectónica extensiva a nivel global que provocó la fragmentación de Pangea, determinando la formación de 12 grandes placas tectónicas y varios océanos. Dichas manifestaciones tectónicas, magmática y sedimentarias, se reconocen en varios rasgos fisiográficos del Uruguay, como son los registros de los bañados de la laguna Merín, el cerro Arequita entre otros. Estos rasgos están asociados a la evolución del Lineamiento SaLAM.

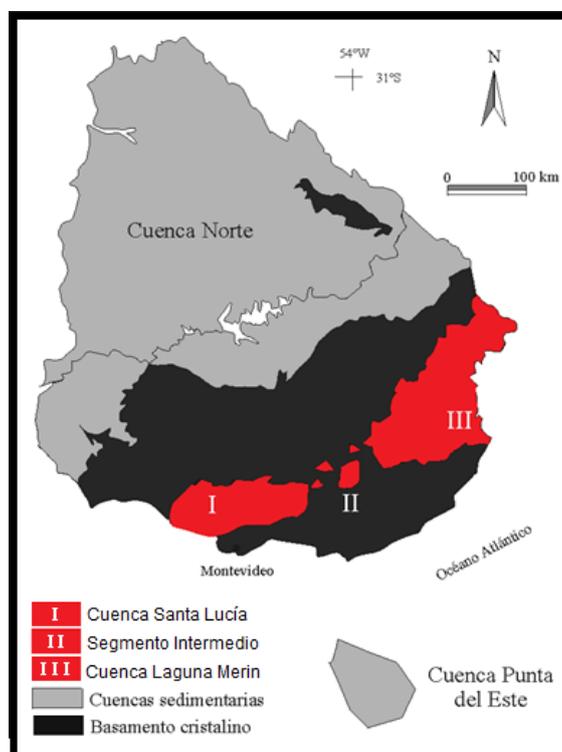


Figura 11. Mapa de ubicación del Lineamiento Santa Lucía Aigua Merin. Segmento I: Cuenca Santa Lucía; Segmento II: Segmento Intermedio; III: Cuenca Laguna Merin. Tomado y modificado Rosello et al. (2000-2001).

El SaLAM tiene registros geológicos que comprenden edades Jurásico-Cretácico Temprano. Tiene 450km de largo y 40 a 60 km de ancho con rumbo ENE a NE. Dicha estructura ha sido caracterizada en sus rasgos fundamentales por Rosello et al (1999, 2000), e interpretada como un corredor tectónico extensivo y trascorrente dextral, precursor de la apertura del Océano Atlántico. En él se desarrolla la Cuenca Laguna Merín y la Cuenca Santa Lucía.

La Cuenca Santa Lucía se ubica en el segmento sudoccidental, al oeste de la cizalla Sarandí del Yí y al sur de la cizalla de Colonia-Arroyo Pavón Ribot et al (2005) como se observa en el mapa geológico de Bossi Ferrando (2001) (Figura 12).

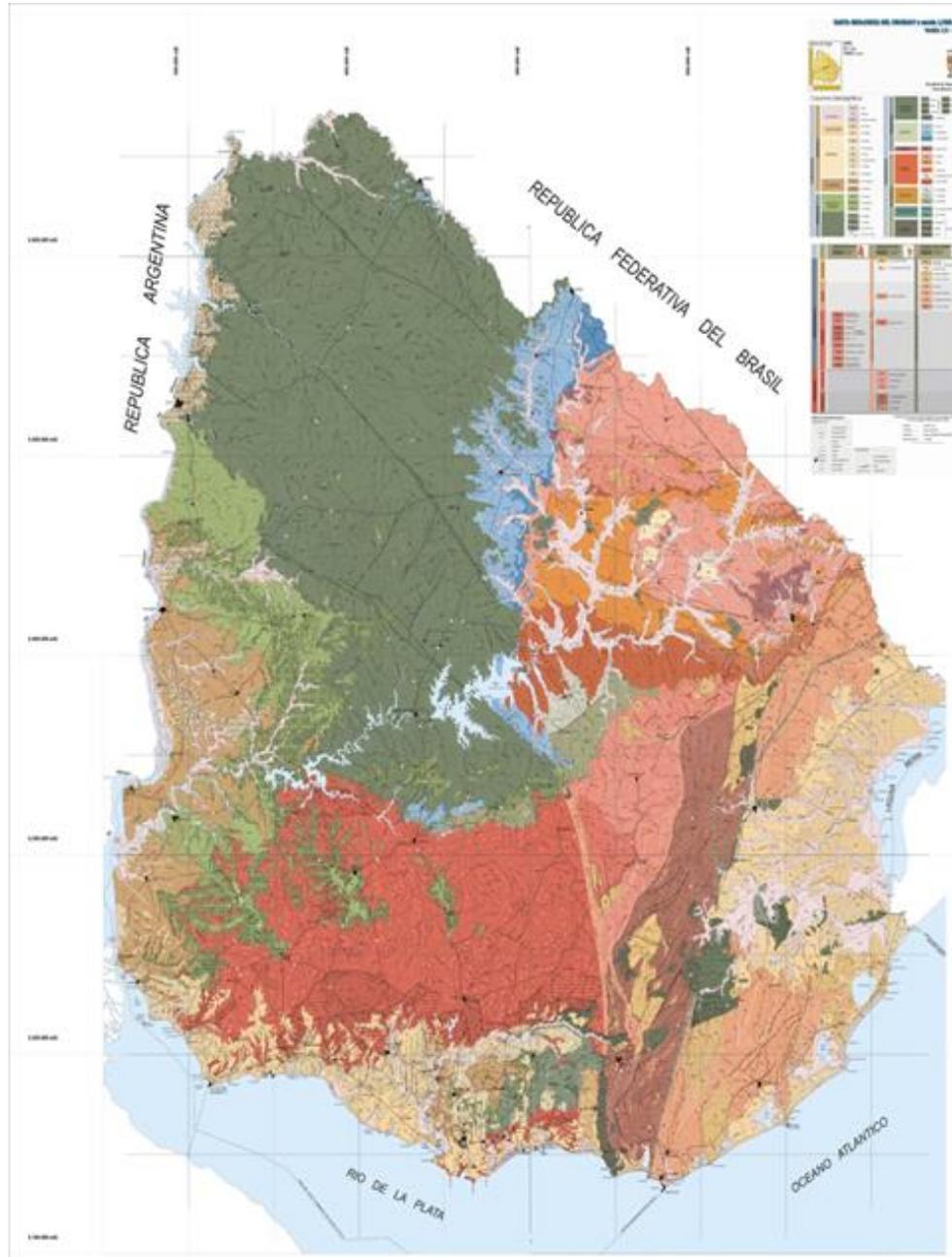


Figura 13. Mapa Geológico a escala 1.500.000. Bossi Ferrando 2001.

Con registros geológicos de edades Jurásico-Cretácico Temprano. Corresponde a una cuenca de tipo pull-apart intracratónico Rosello et al (2001). Un perfil de la cuenca se muestra conformada por un conjunto de fallas normales lístricas de crecimiento sintéticos y antitéticos que definen grabenes y horst que dividen la cuenca en dos subcuencas separados por el alto de Santa Rosa. Rosello et al (1999). (Figura 13).

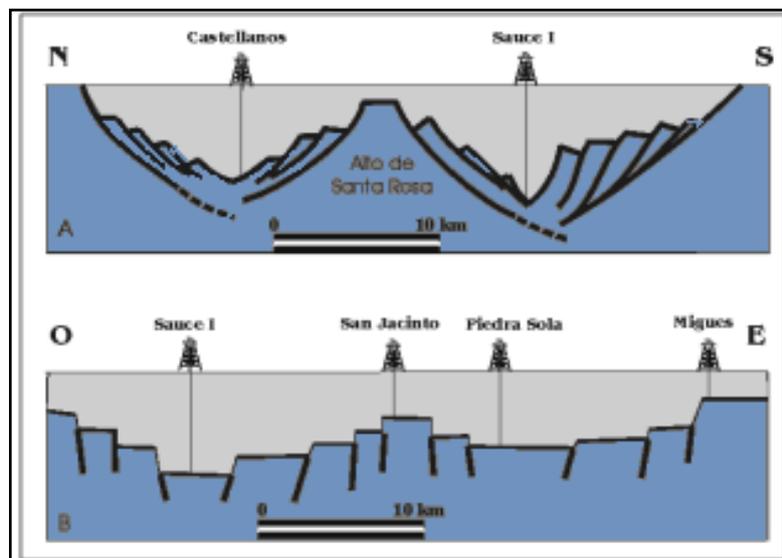


Figura 13. Esquema que ilustra la estructuración y compartimentación interna de la Cuenca Santa Lucía. Tomado y Modificado de Veroslavsky (1999).

El relleno de la Cuenca ha sido subdividido por Veroslavsky (1999) en tectosecuencias para los depósitos generados en cada etapa de la cuenca rift. (Figura 14).

Tectosecuencia A) es la primera fase extensional, de edad Jurásica que está representada por coladas basálticas correspondientes a la Fm Puerto Gómez que se intercalan con conglomerados, conglomerados arenosos y areniscas conglomerádicas de color rojizo interpretadas como depósitos aluviales correspondientes a la Formación Cañada Solís, (De Santa Ana y Ucha, 1994). La edad de esta tectosecuencia es dudosa ya que data de 165Ma por el método de K-Ar fue hecha en una única muestra por Veroslavsky (1999). Todas las demás dataciones de la Formación Puerto Gómez (Formación Mariscal) dan edades en el entorno de 130Ma (Bossi y Shcipilov 2007).

Tectosecuencia B) es de edad Cretácico Temprano, y se expresa en las rocas volcánicas que integra la Formación Arequita y también en algunos términos basálticos que se asocian a aquellas. Muestra un mayor desarrollo en el segmento intermedio y nororiental del SaLAM, donde el magmatismo alcanza su máxima expresión.

Tectosecuencia C) corresponde a una edad Cretácico temprano (Aptiense-Albiense), donde hay una aceleración de la subsidencia mecánica en la Cuenca Santa Lucia producto de esfuerzos extensivos vinculados a una tectónica transtensiva dextral sin magmatismo, donde la sucesión de depósitos continentales está conformada por las Formaciones Castellanos, Cañada Solís y Migues. Veroslavsky et al (2004). El tipo de relleno de la cuenca Santa Lucia es de tipo hemigrábenes (Leeder & Gawthorpe 1987).

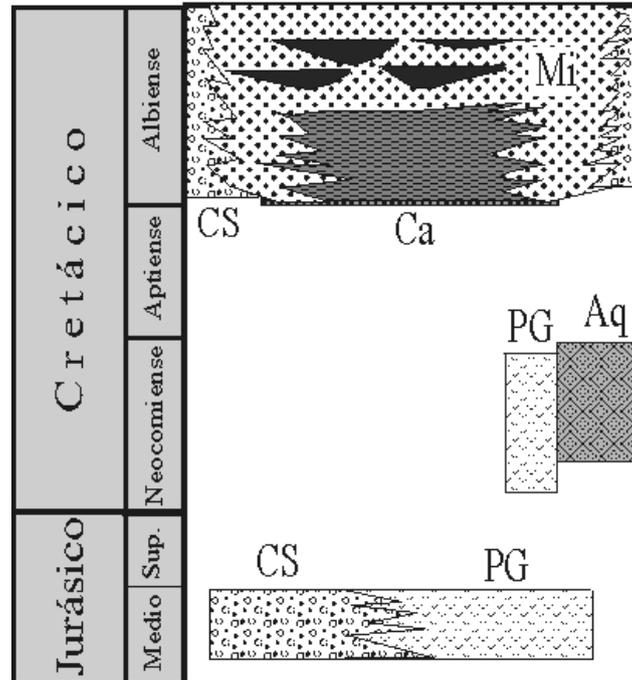


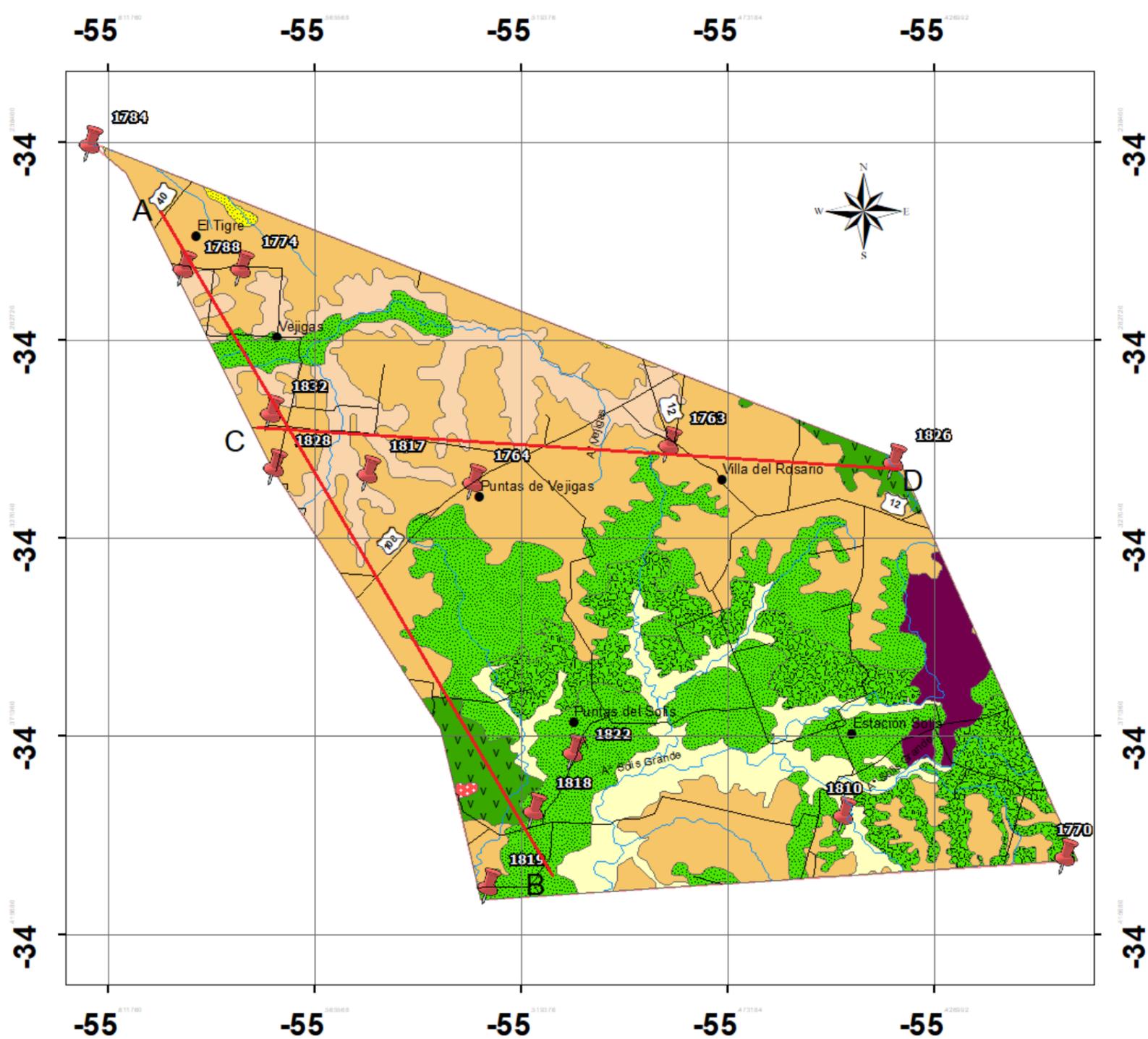
Figura 14. Litoestratigrafía de la Cuenca Santa Lucía, tomado de Verovslasky et al (2004). PG (Fm. Puerto Gómez) CS (Fm. Cañada Solís) Aq (Fm. Arequita) Ca (Fm Castellanos) Mi (Fm. Migues).

7.2 Geología del Área

La geología está representada por rocas de diferentes litologías y edades, siendo las más antiguas las rocas meso a neoproterozoicas correspondientes a las Milonitas de la zona de cizalla Sarandí del Yí, pasando por rocas de edades mesozoicas correspondientes a la Formaciones Puerto Gómez; Cañada Solís; Migues, y una cobertura sedimentaria de edad cenozoica conformadas por las Formaciones Raigón Libertad y Dolores, como principales y aluviones. (Figura 14).

La geología de superficie, se obtuvo a partir del mapa Geológico del Departamento de Lavalleja a escala 1/100.000 brindado por Spoturno, Oyhantçabal, y Faraone. Inédito. (2019), (Figura 15). La información geológica de profundidad se obtuvo a partir de la descripción litológica de las muestras de cutting correspondientes a las perforaciones efectuadas por DINAMIGE, cuyas secciones verticales se expresan en las (Figura 16 A y B). Los resultados de las descripciones de dichas perforaciones se presentan en el Anexo (IV).

Mapa Geológico



Columna Estratigráfica	
Cenozoico	Holoceno Aluvi3n
	Pleistoceno Formaci3n Dolores
	Formaci3n Libertad
	Pleistoceno-Plioceno Formaci3n Raig3n
Mesozoico	Cret3cico Formaci3n Migues
	Formaci3n Cañada Solís
	Formaci3n Puerto G3mez
Proterozoico	Neoproterozoico Granito indiferenciado
	Milonitas ZCSY-Arroyo Solís

Referencias Geográficas

- Rutas Caminos
- Cursos de Agua
- Pueblos

Referencias Geológica

- Cortes Geológicos
- 📌 Pozos de estudio

2 1 0 2 4 Km

1:100.000

Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree

Figura 15. Mapa geológico del área de estudio. Inédito Spotorno J, Faracne M, Oyhançabal P. (2019).

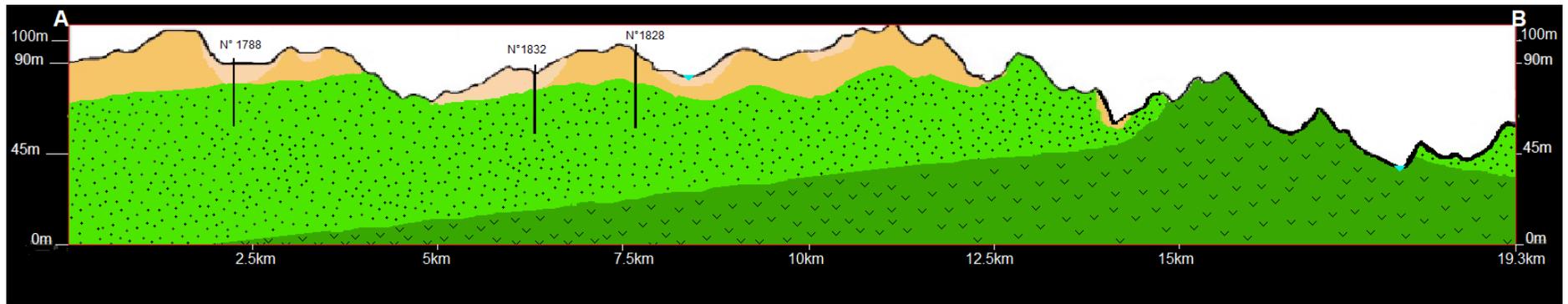


Figura 16 A. Perfil Geológico correspondiente a la transecta A-B.

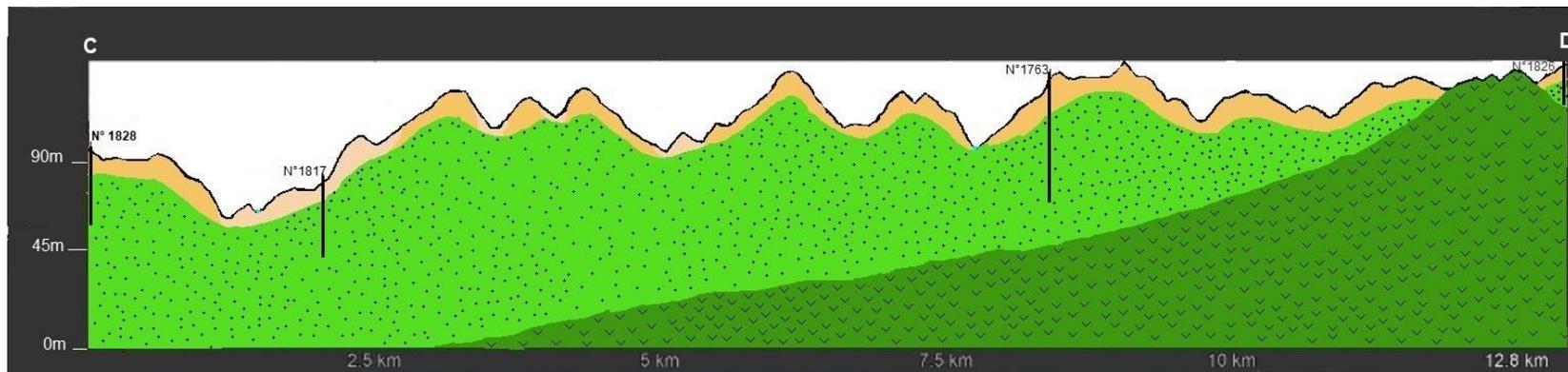


Figura 16 B. Perfil Geológico correspondiente a la transecta C-D.



A continuación se describen las Formaciones Geológicas de base a techo, que se reconocieron en campo y que se identificaron en los pozos mediante el estudio litológico.

7.2.1 Formación Puerto Gómez

La Formación Puerto Gómez fue identificada por primera vez por Walther (1927), posteriormente Serra (1944) y Caorsi & Goñi (1958), definen basaltos espilíticos vacuolares, identificando dos litologías: basáltica y andesítica. Luego Bossi (1966), define formalmente esta formación constituida por rocas basálticas de color gris oscuro a castaño rojizo (alteración) con estructuras amigdaloides rellenas de zeolita calcita, yeso y cuarzo, y masivas, las cuales presentan textura subofítica a intersecal y ocasionalmente glomeroporfíricas. Mineralógicamente constituida principalmente por clinopiroxeno, plagioclasas cálcicas, olivino y opacos. (Bossi 1966).

Veroslavsky (1999), la define como derrames de composición principalmente basáltica, que se ubican en toda la fosa tectónica del Sur y Sureste del País de edad Jurásica de unos 165Ma.

Bossi & Schupilov (1998) propusieron sustituir el termino Formación Puerto Gómez por Formación Mariscal sin ninguna modificación conceptual, ya que era impropio el lugar geográfico elegido porque allí no aflora las lavas, sino que fueron descubiertas en un sondeo a 200m de profundidad. A su vez la localidad Puerto Gómez ya no existe pues cambio su nombre a General Enrique Martínez, y no se encuentra en ninguna carta geográfica oficial la localidad Puerto Gomez.

Para determinar la edad de esta formación, se utilizaron métodos K/Ar y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, cuyo datos se presentan en la (Tabla 5).

Método	Edad	Autor
K/Ar	165,6±16.6	Veroslavsky (1999)
K/Ar	142±10Ma	Bossi Umpierrez (1975)
K/Ar	157±4Ma	Vieira (1985)
K/Ar	120±3,2Ma	Muzio (2000)
$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	132,7±1,0Ma	Steward et al(1996)
$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	132±0,2Ma	Féraud (1999)

Tabla 5. Datos cronológicos de la Fm. Puerto Gómez con sus respectivos métodos.

Es de destacar que todas las determinación de las edades con métodos más preciosos (Ar/Ar) rondan entre los 134-128Ma Cernuchi F. et al (2014).

Geología Descriptiva

En campo se reconoció únicamente en el punto N° 7 (Anexo 4). Donde se observó un afloramiento aislado de extensiones menores a 1m, la roca corresponde a derrames masivos de la Formación Puerto Gómez (Figura 17). En muestras de mano se observa coloraciones pardas producto de la alteración y fracturación, y de colores negros a gris oscuro en roca más fresca, se observan una textura afanítica y minerales arcillosos producto de la alteración.



Figura 17. Imagen del afloramiento alterado correspondiente a la Formación Puerto Gómez.

Se reconoció en profundidad, en la perforación N°1770 de DINAMIGE, entre los 19 y 34m (Figura 15). De acuerdo a la descripción de cutting y utilizando lupa binocular, se identifican trozos de basalto de color gris oscuros masivos. La molienda es gruesa (trozos de hasta 3cm), con material arcilloso de color marrón correspondiente a la alteración de la roca basáltica. (Figura 18).

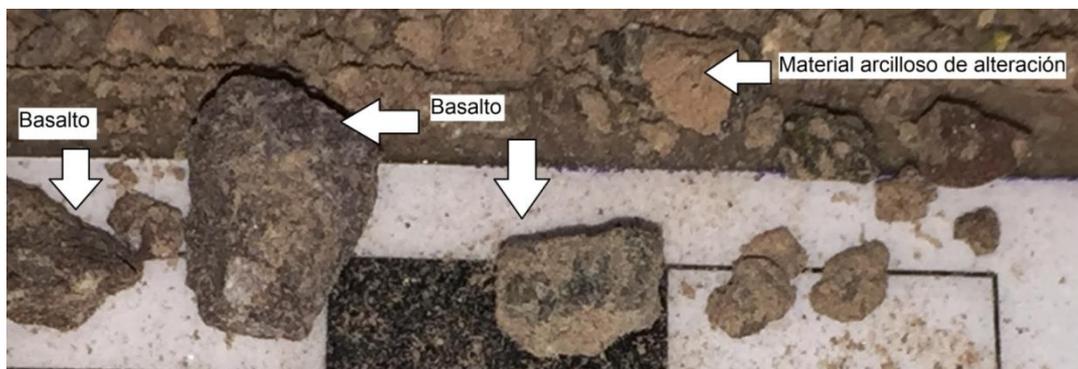


Figura 18. Fragmentos de basalto con material arcilloso, correspondientes a la perforación N°1770.

7.2.2 Formación Cañada Solís

Definida por De Santa Ana & Ucha (1994) como una unidad diacrónica que incluye conglomerados rojizos de bordes de cuencas, interpretados como depósitos aluviales originados a partir de un relieve abrupto controlado por fallas de rumbo ENE. Corresponde a una edad Jurásica, intercalándose con los basaltos de la Formación Puerto Gómez.

Geología Descriptiva

No se encontraron afloramientos de esta formación en campo, pero si se reconoció en la perforación N° 1770 entre los 3 y 19m, (Figura 15). Son sedimentos medios a muy gruesos cuarzo-feldespáticos, de color pardo claro a gris. El tamaño del cuarzo varía entre 0.25mm a 20mm de forma sub angulosa a angulosa, el feldespato con tamaño entre 0.5mm a 25mm de forma angulosa principalmente (Figura 19), todos ellos inmersos en una matriz limosa arcillosa de similar composición.

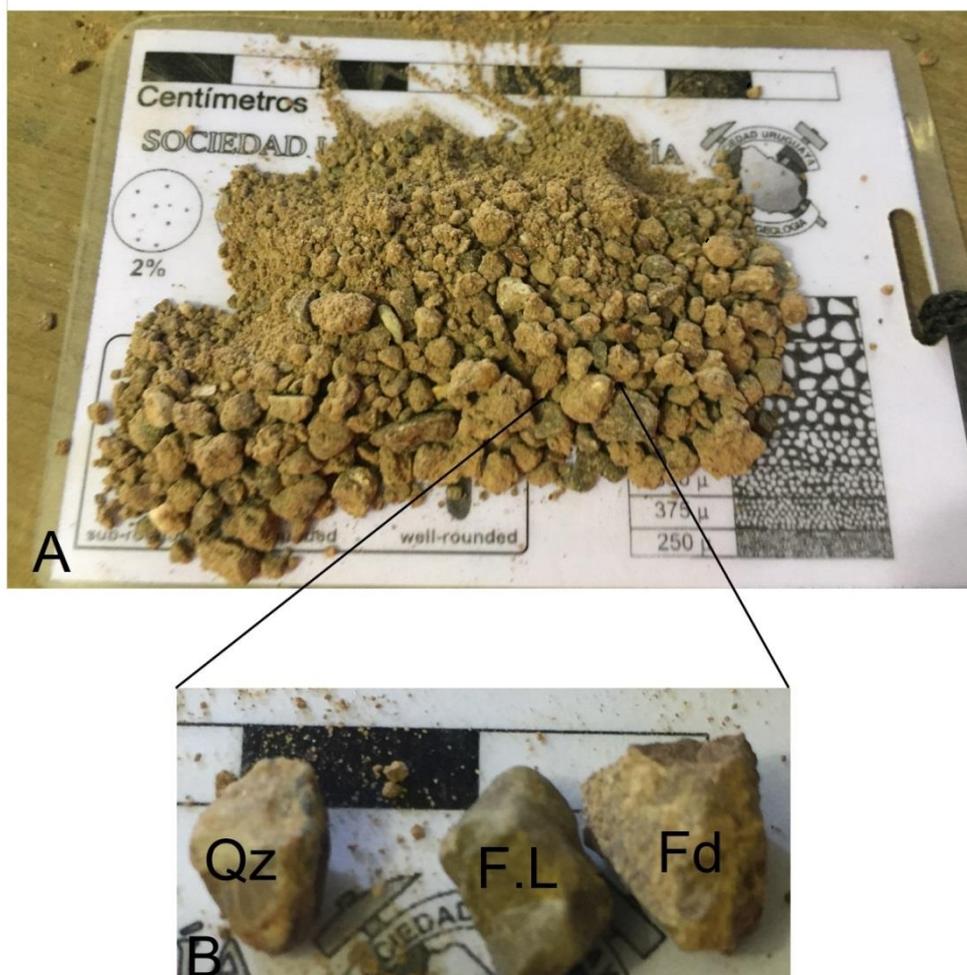


Figura 19. A) Muestra de cutting de perforación N° 1770. **B)** Detalle de clastos de cuarzo + cuarcitas, feldespato y líticos de forma angulosa y sub angulosa (Qz: Cuarzo+ cuarcitas, F.L fragmento líticos, Fd: Feldespato potásico)

7.2.3 Formación Migués

Se trata de depósitos esencialmente detríticos de edad Cretácica Inferior (134 A 95 Ma) de edad.

Jones (1956) los reconoce por primera vez en la región oriental del Departamento de Canelones, la define como un conjunto de 3 facies detríticas, las mismas son "Facies Migués", "Facies Montes", y "Facies Tala". *Bossi (1966)* le atribuye el rango de Formación a las tres facies mencionadas.

Se trata de una secuencia integrada por conglomerados, areniscas y limolitas cuya sedimentación se vincula a condiciones de relleno continental en una estructura tipo graben vinculada al momento de inestabilidad tectónica del desarrollo de la cuenca del Santa Lucía. (*Preciozzi et al. 1985*).

Determinaron la composición mineralógica: 50% cuarzo, 40% feldespato, 3% epidoto, 3% hornblenda, 2% calcita. 2% biotita. Se trata de areniscas predominantemente arcósica y el carbonato de calcio en algunos niveles se presenta como cemento. (*Bossi et al. 1988*).

Es la formación que conforma el relleno principal de la cuenca, superando 2000m (2160m en los pozos Sauce 1 y Piedra Sola) de potencia, el tipo de depósito es fluvial y lacustre, asociado a algunos episodios eólicos. (*Campos et al. 1997*).

La variación de granulometría está influenciada por etapas de inestabilidad y estabilidad tectónica, donde los registros depositacionales con respecto a la inestabilidad, son caracterizados por orto y paraconglomerados y areniscas de granulometría variada lo que muestran subsistemas de abanicos aluviales y fluviales, en cambio en las etapas de estabilidad está conformada por limo-arcillitas de colores grises y rojos, que muestran sistemas de ambientes lacustres. (*Veroslavsky 1999*).

Geología Descriptiva

En campo se reconocieron en los puntos N°8, N°9, N°10 N°11 (Anexo IV) siendo el afloramiento de mayor extensión el del punto N°9, de unos 20 m de largo y unos 10 m de ancho, teniendo una potencia de 2m. (Figura 20). La roca corresponde a una arenisca rojiza heterogénea mal seleccionada de composición cuarzo feldespático principalmente, los clastos varían entre 0.25mm a 20mm, y clasto soportado, siendo la matriz escasa y de misma composición. (Figura 21).



Figura 20. Vista general del afloramiento correspondiente a las areniscas de la Formación Migués.



Figura 21. Detalle del afloramiento. Formación Migués.

La Formación Migues se reconoció en todas las perforaciones del área de estudio, excepto en la N° 1770. (Figura 15).

Se identificó en la perforación N°1832, entre los de 9 a 30m de profundidad. En la perforación N°1826 entre los 9 a 20.5m. En la perforación N°1822 entre 1.2m a 31m. En la perforación N° 1788 entre los 12m y 28m. En el pozo N° 1819 entre los 1.2m a 40.2m. En el pozo N° 1828 entre los 15m a 31m. En la perforación N° 1784, entre los 9.2m a 20.6m. En el pozo N° 1817 de 6m a 32m. En el pozo N° 1810 entre los 0.6m a 46.5m y en el pozo N° 1763 entre los 13.5m a 50m.

Las muestras de mano corresponden a una arenisca mal seleccionada, compuesta principalmente por clastos de cuarzo y feldespato. El tamaño de los clastos varía entre los 0.062mm a los 2cm, con formas angulosas a sub-redondeadas. (Figura 22 y 23). De la descripción estratigráfica, se observa algunos niveles con matriz limosa-arcillosa y otros niveles arenosos con cemento carbonatico (Figura 24). Siendo entonces una arenisca clasto soportada.



Figura 22 Arenisca de color rojizo correspondiente al pozo N°1822.

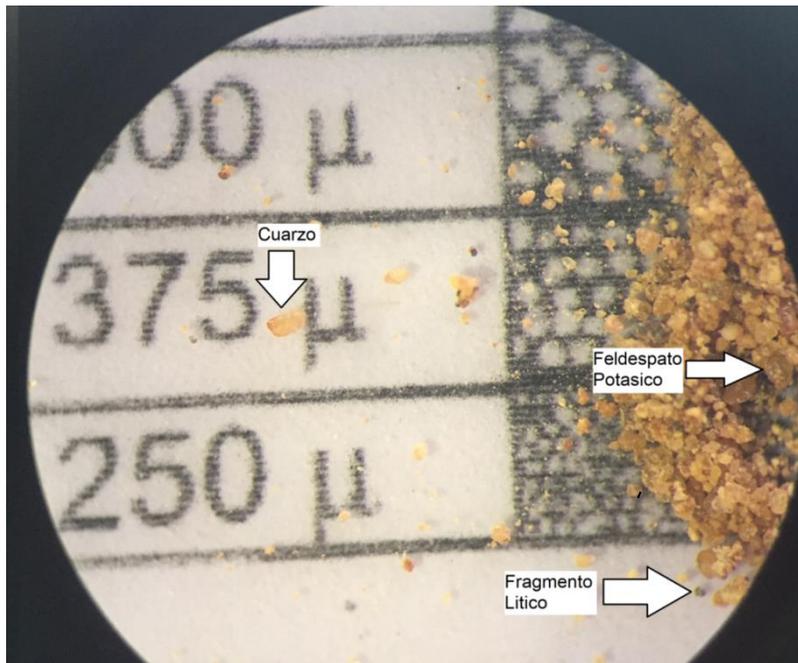


Figura 23. Clastos de cuarzo feldespato y fragmento líticos correspondientes al pozo 1822.

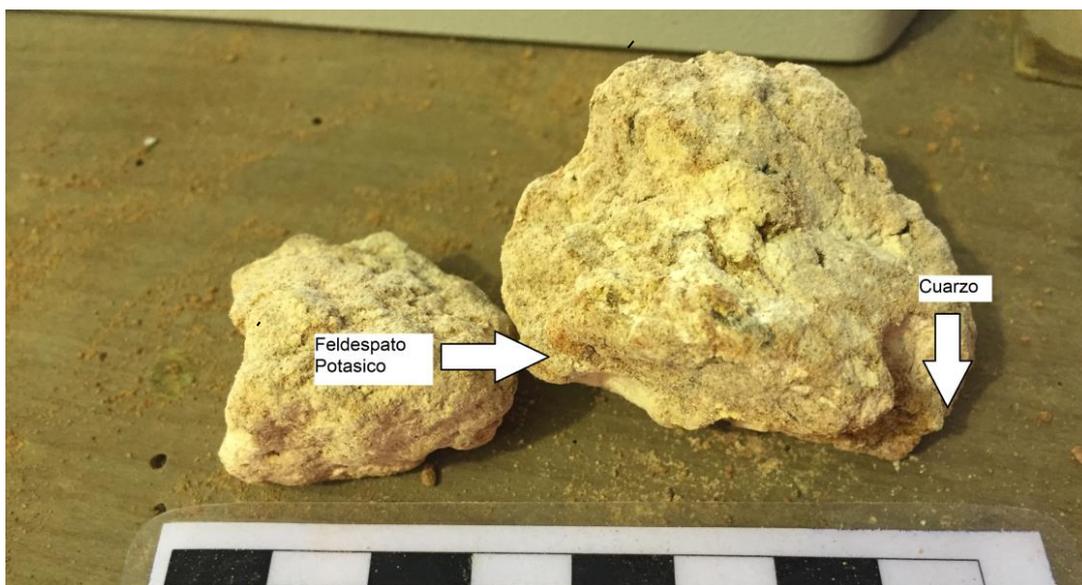


Figura 24. Arenisca de color blanco por su alto contenido en CaCO_3 , tratándose de una arenisca con cemento calcáreo. Formación Migués.

7.2.4 Formación Raigón

Fue definida primeramente por Goso (1965); Goso y Bossi (1966), se reconoce en la zona costera del Departamento de San José donde tiene su máxima potencia en las barrancas de Kiyu, además se observan afloramientos en los departamentos de Colonia, Canelones y Lavalleja.

En la zona costera está caracterizada por areniscas de color blanco amarillento además de niveles y lentes de arcillas de color verde y conglomerados. Es común encontrar la presencia de concreciones calcáreas. Este conjunto se dispone en

forma groseramente rítmica, en niveles lentiformes con desarrollo de estratificaciones paralelas y cruzadas, dichas características litofaciológicas permiten asignarle un ambiente depositacional transicional y continental fluvial, (Preciozzi et al. 1985; Spoturno et al. 1993).

En el Departamento de Canelones se encuentra en diversos sitios ocupando el área de mayor superficie al noroeste, norte y noreste, donde forma parte del sustrato de los Arroyos Canelón Grande, Tala, Vejigas y gran parte del área que componen el margen izquierdo del curso medio del Rio Santa Lucia.

Geología Descriptiva

No se encontraron afloramientos en campo, de esta formación, pero se identificó en la perforación N° 1784 entre los 6 y 9.2m de profundidad (Figura 15). Se reconocen con lupa binocular una gran variedad en el tamaño de los granos que van desde tamaño limo a gravas. El clasto más abundante es el cuarzo, siendo de coloración blancuzca a gris claro, de forma angulosa a sub angulosa, alcanzando como máximo los 2cm de diámetro. Además se observan clastos de feldespato potásico de menor tamaño siendo la media de 0.5cm y de color rojizo. Como accesorio se observan fragmentos líticos, de forma angulosa y de menor tamaño que el cuarzo. (Figura 25).

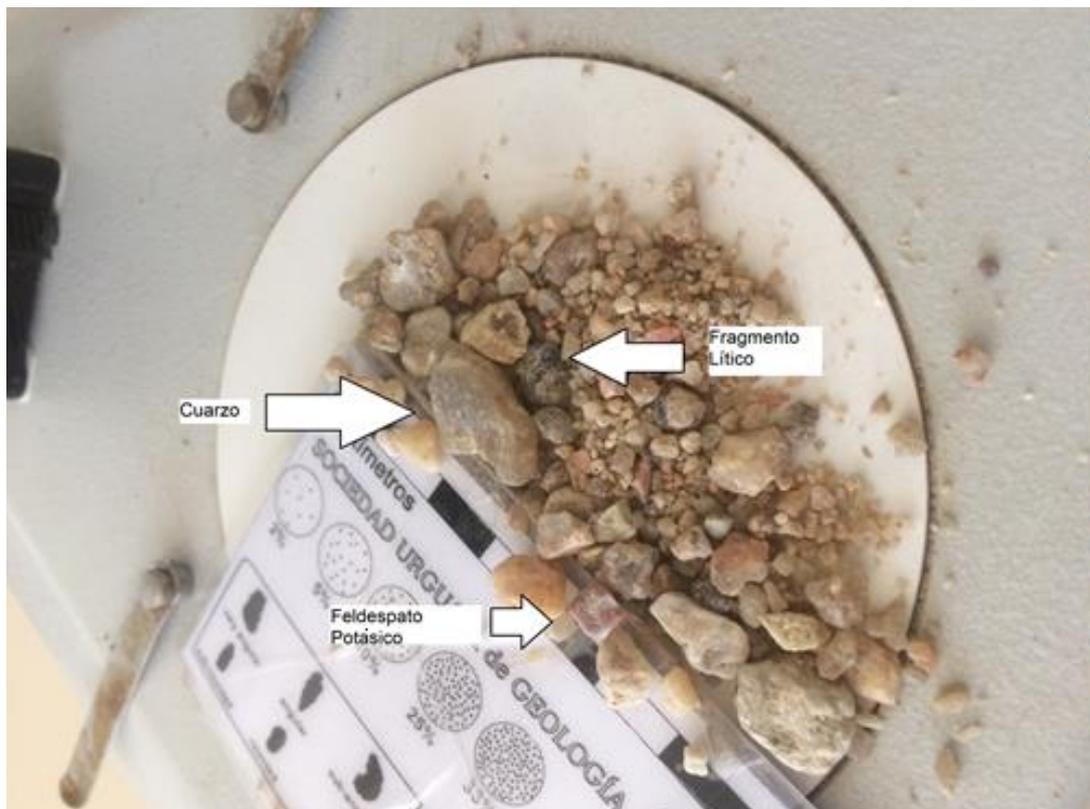


Figura 25. Muestra de cutting correspondiente al pozo N° 1784, observándose una granulometría muy variada desde el mm hasta mayor del centímetro.

7.2.5 Formación. Libertad

Fue definida por Goso (1965) y redefinida sin modificaciones relevantes por Goso y Bossi (1966).

Todos los autores que la han estudiado concuerdan que la unidad se extiende en todo el sur del Uruguay, generando superficies onduladas y caracterizadas por contener lodolitas, loess y arenas, de coloración parda rojiza, con presencia de carbonato de calcio en forma de nódulos o dispersos. De acuerdo a sondeos realizados, la formación no superaría los 30m de potencia. Se asume una edad Pleistoceno, esencialmente por criterios estratigráficos. Lo que algunos autores interpretan como intercalación con niveles ingresivos (Formación Chuy) permitiría segregar los eventos Libertad 1 y Libertad 2, que se preservarían esencialmente como terrazas elevadas y medias.

Entre los autores hay matices sobre las condiciones climáticas de depositación de la unidad, mencionándose un clima semiárido con períodos húmedos, condiciones diluviales, asociándose a Libertad 1 al clima seco y frío, y a Libertad 2 a un clima cálido y húmedo (Panario y Gutiérrez 1999). Hasta el momento nada de esto está refrendado por estudios paleontológicos.

Geología Descriptiva

En campo se reconoce a través de su geomorfología, caracterizada por lomadas suaves con abundante desarrollo de suelo y presencia de vertisoles, además se observó en los puntos de afloramientos P1, P2, P3 y P11 (anexo IV), se reconocen sedimentos arcillosos de color pardo claro, con presencia de CaCO_3 (Figura 26).



Figura 26. Sedimentos arcillosos correspondiente al Punto N°1. Formación Libertad.

En profundidad se reconocen en las perforaciones N°1826 entre los 2,5 a 9m; N°1828 entre 0,3 a 15m; N° 1784 entre los 0,4 a 6m; N° 1770 1,2 a 3m y N° 1763 0,9m a 13,5m. (Figura 15).

De la descripción litológica de las muestras de cutting se observan sedimentos arcillosos-limosos de color pardo con granos de cuarzo principalmente de tamaños que no superan los 0.062mm. Se describe la presencia de CaCO_3 en forma de nódulos de tamaños variables desde el mm hasta los 2 cm, (Figura 27 y 28).

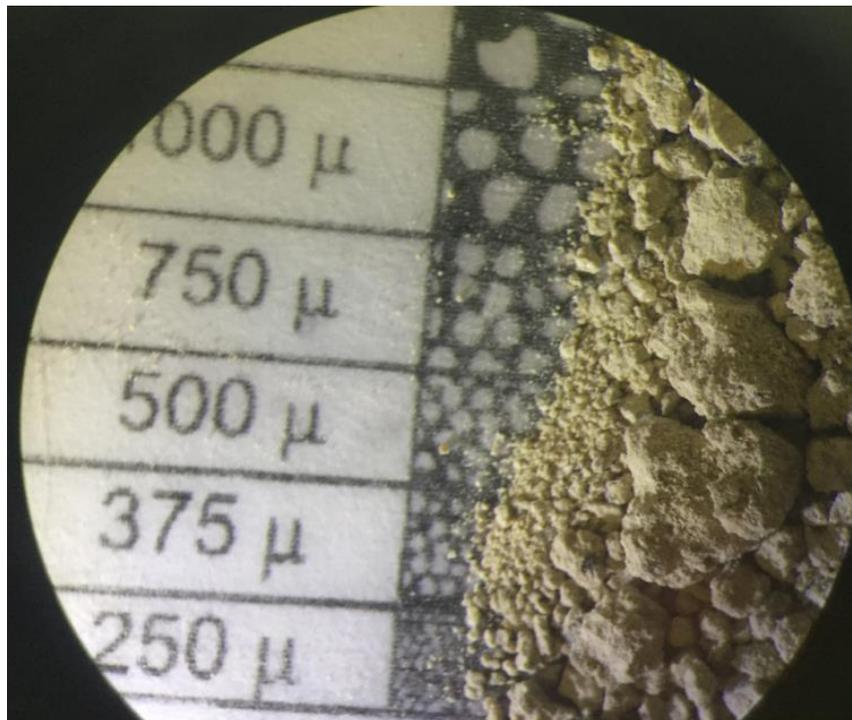


Figura 27. Muestra arcilloso-limosa correspondiente al pozo N° 1784. Formación Libertad.

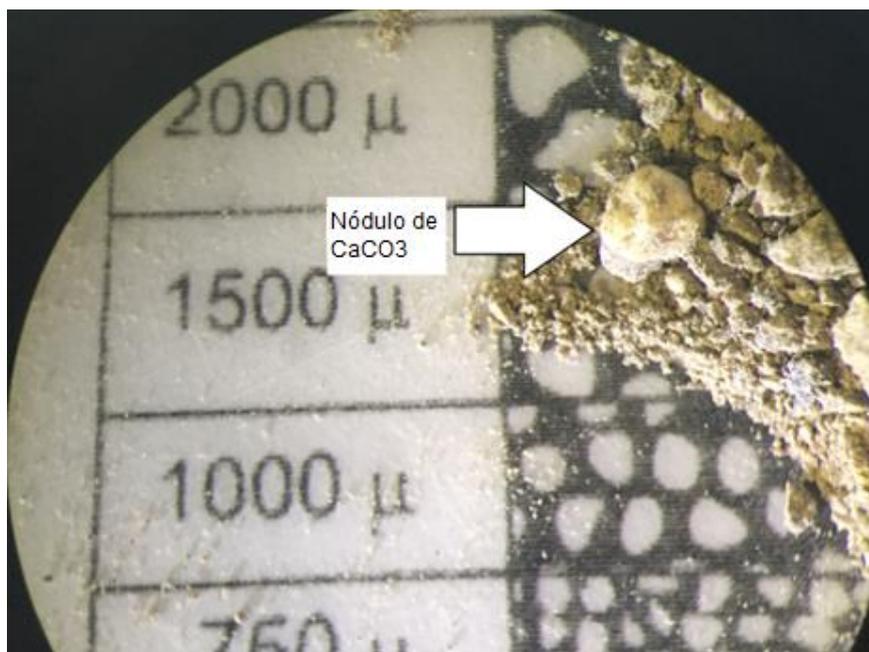


Figura 28. Nódulo de CaCO_3 correspondiente al pozo N° 1784. Formación Libertad.

7.2.6 Formación Dolores

Fue definida por Goso (1972), se caracteriza por presentar superficies planas en los valles fluviales, esta superficie está comprendida entre los terrenos ondulados y el plano aluvial, de edad Pleistoceno tardío. Litológicamente se han reconocido: loess arenosos, sedimentos limo arcillosos y fango con variable contenido de fracciones arena, gravilla y grava. Los loess, son porosos, la arena es fina y cuarzosa, el color es marrón oscuro a gris y presentan procesos de bioturbación como canales de vermes y restos de raíces humificadas, se asocian a restos de paleosuelos de colores más oscuros y con abundante materia orgánica. Los niveles de sedimentación limosa arcillosa presentan una estructura compactada, de color marrón y presentan clastos de cuarzo feldespato, flotando en la matriz.

El carbonato de calcio se encuentra en los niveles arcillosos limosos, se presenta como cemento distribuido y nódulos de hasta 2 cm de diámetro.

Geología Descriptiva

De esta formación no se encontraron afloramientos en campo.

En profundidad se reconocen en las perforaciones N°1832 entre los 0.60 y 9m, en el N°1817 entre 1.20m y 6m, y en el N°1788 entre los 0.4 y 12m

Las muestras de cutting corresponden a sedimentos arenosos limosos de color gris claro a marrón pardo claro. Los granos son predominantemente de cuarzo y feldespato de tamaño variable desde menor que 0.062mm a 2mm de forma sub angulosa a angulosa. Además se observa la presencia de restos de raíces y contenido en CaCO_3 . (Figura 29).

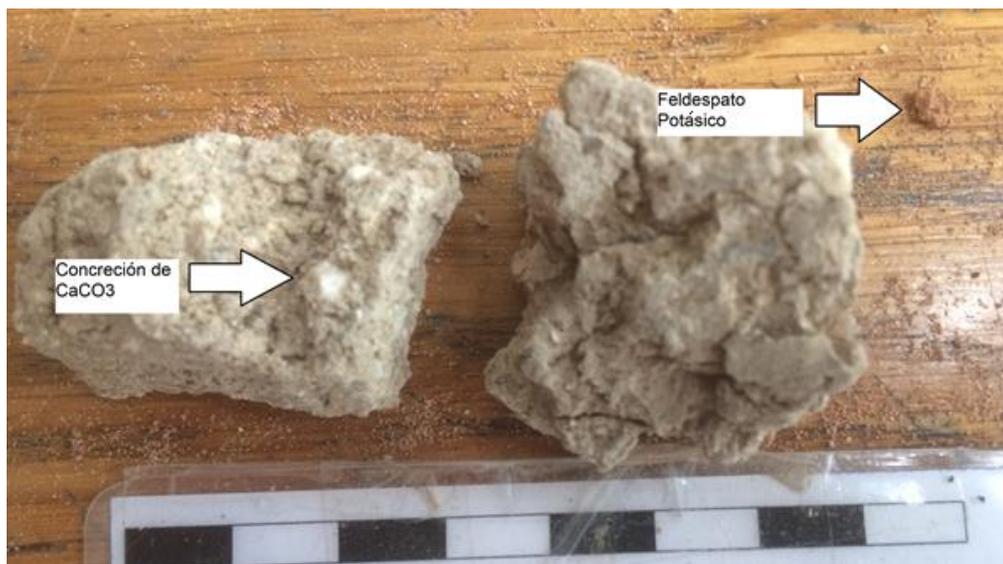


Figura 29. Muestra correspondiente al pozo N° 1832, observándose una arenisca limosa de color gris. Formación Dolores.

8 Análisis Granulométrico

8.1 Fundamento Teórico

Se realizó un estudio granulométrico de las muestras de cutting de la Formación Migues con el fin de conocer la distribución de los granos en las muestras sedimentarias utilizadas. Dicho análisis granulométrico se realizó por el método tamizado, el mismo es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de la muestras en sus diferentes tamaños, de arena, quedando en el fondo la fracción limo y arcilla, se lleva a cabo en forma decreciente, colocándose en una “rot-tap”, donde en la base se encuentra el fondo de menor apertura de tamiz. El tamizado que se realizó fue en las litologías portadoras de napas de agua en varias perforaciones (N°1826; N°1832; N°1828; N°1817; N°1778; N°1819; N°1819). Para luego elaborar gráficas y curvas correspondientes, que permitan estimar las medidas de tendencia central: moda, media mediana, Desviación, Grado de asimetría y curtosis.

Para estudiar los resultados del análisis granulométrico, se utilizan varias escalas, la primera de ellas es la de Udden, (1898), con centro de 1mm y dividiendo o multiplicando por 2 se obtiene clases de tamaño que denominan grados. La escala fue modificada por Wentworth, (1922), siendo una de las más utilizadas, Udden-Wentworth, (1922). Otra escala utilizada es la de Φ (fi), definida por Krumbein, (1934). $\Phi = -\log_2$ (diámetro mm), para las diferentes escalas (Tabla 6).

Udden (1898)	UddenWentworth (1922)	Krumbein	
		Φ	mm
256	256		
128	128		
64	64	-6	64
32	32	-5	32
16	16	-4	16
8	8	-3	8
4	4	-2	4
2	2	-1	2
1	1	0	1
0,5	1/2	1	0,5
0,25	1/4	2	0,25
0,125	1/8	3	0,125
0,0625	1/16	4	0,0625
0,03125	1/64	5	0,0313
0,01563	1/128	6	0,0126
0,00781	1/256	7	0,0078

Tabla 6. Las diferentes escalas de trabajo para el análisis granulométrico.

Mediana (Md): La mediana de un conjunto de datos es el valor que cumple que la mitad de valores están por encima y la otra por debajo. No solo representaría el tamaño medio sino también el nivel estadístico de energía media en el ambiente sedimentario.

Son muy utilizados los cuartiles de 25%, 50%, 75%, además se pueden utilizar los de rango 5, 10, 16, 84 y 90% que se representan en dimensión Φ por un subíndice que indica el rango, donde $\Phi = -\log_2$ (diámetro de grano en mm)

Los parámetros de relación se obtienen a partir de los parámetros de rango lo que representaría algunas características del conjunto de valor estadístico, siendo los más importantes Moda, Media Desviación Típica, Asimetría y Curtosis. Se estudiarán a partir de Folk y Ward (1957).

Moda: Corresponde al tamaño de mayor frecuencia en la distribución granulométrica, es decir el máximo de la curva de frecuencia o la clase modal del histograma.

Media (Mz): Representa lo que es el tamaño medio de los granos, es decir a la media aritmética entre todos los tamaños que se repiten tantas veces como su frecuencia indica. En términos energéticos sería la energía cinética media del ambiente sedimentario.

$$Mz = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

Desviación típica o selección (σ_i): Indican las oscilaciones en la energía cinética en el ambiente sedimentario con respecto a su valor medio.

$$\sigma_i = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$$

- $\sigma_i < 0.35$: Muy bien seleccionado.
- $\sigma_i 0.35-0.50$: Bien seleccionado.
- $\sigma_i 0.50-1.0$: Moderadamente seleccionado.
- $\sigma_i 1.0-2.0$: Selección pobre.
- $\sigma_i 2.0-4.0$: Mal seleccionado.
- $\sigma_i > 4.0$: Muy mal seleccionado.

Asimetría (Sk_i): Marca la posición de la media respecto a la mediana, si la media se desplaza hacia tamaños gruesos tendríamos así metras negativas, viceversa sería positiva. Según Folk y Ward, (1957) la ecuación a utilizar:

$$Sk_i = \frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

Sk_i-1 a -0.3: asimetría muy negativa

Sk_i-0.3 a -0.1: asimetría negativa

Sk_i-0.1 a 0.1: simetría

Sk_i0.1 a 0.3: asimetría positiva

Sk_i0.3 a 1: asimetría muy positiva

Curtosis (k_{gi}): Se lo considera como un índice de angulosidad de los polígonos de frecuencia, o un índice de dispersión que relaciona a las clases proximales de las distales, (una moda: más ángulos, varias modas: menos anguloso).

$$K_{gi} = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44 (\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

k_{gi}<1:Platicúrtica

k_{gi}= 1:Mesocúrtica

k_{gi}>1:Leptocúrtica

8.2 Resultados

Se presenta a continuación la síntesis del análisis granulométrico, (Tabla 7). Donde resulta que la clase dominante es la arena muy gruesa y la clase secundaria es grava fina. El grado de selección va desde mal seleccionado a selección pobre. En cuanto a la simetría encontramos 7 muestras de 12 con simetría Positiva indicando una disminución de la energía para facilitar el depósito de finos, en cambio en las otras 5 muestras la asimetría es negativa ayudando a la erosión por un aumento de la energía.

		Pozo N° 1826		Pozo N° 1832		Pozo N° 1828	Pozo N° 1817			Pozo N° 1778		Pozo N° 1810	Pozo N° 1819
Muestra		9 a 10m	18,5 a 20,5m	9 a 11m	26 a 30m	24 a 27m	6 a 8m	8 a 11,5m	14 a 17m	20 a 24m	25,5 a 27m	28 a 33m	3 a 15m
Φ 5		-1.75	-2.72	-2.48	-2.2	-2	-1.58	-1.9	-1.38	-2.65	-1.7	-0.5	-0.5
Φ 16		-1.15	-2.1	-1.65	-1.6	-1.55	-0.65	-1	0.3	-1.85	-0.7	0.5	-0.2
Φ 25		-0.72	-1.55	-1.2	-1.25	-1.2	-0.2	-0.5	1.15	-0.9	-0.3	1	0.5
Φ 50		0.5	-0.48	-0.2	-0.2	0.4	0.88	1.3	2.5	0.15	0.6	2.1	1.2
Φ 75		2.98	0.7	1.15	1.6	2.25	3.12	2.65	2.95	1.45	1.62	2.7	1.78
Φ 84		3.25	1.4	1.84	2.5	2.7	4	3.1	3.55	1.9	2.1	2.95	1.95
Φ 95		4.5	3	3.4	4.2	3.85	4.7	3.4	4.5	3.75	3.8	3.9	2.9
Media (Mz)		0.866	-0.39	-0.003	0.23	0.52	1.57	1.13	2.12	0.7	0.67	1.85	0.98
Mediana (Md)		0.5	-0.48	-0.2	-0.2	0.4	0.88	1.3	2.5	0.6	-0.7	2.1	1.2
Selección (σ)		2.05	1.75	1.76	1.99	2.04	2.11	1.8	1.7	1.5	1.508	1.28	1.06
		Mal Seleccionado	Selección Pobre	Selección Pobre	Selección Pobre	Mal Seleccionado	Mal Seleccionado	Selección Pobre	Selección Pobre	Selección Pobre	Selección Pobre	Selección Pobre	Selección Pobre
Asimetría (Ski)		0.265	0.28	0.19	0.34	0.13	0.28	-0.16	-0.34	0.12	-0.69	-0.2	-0.15
		Positiva	Positiva	Positiva	Muy Positiva	Positiva	Positiva	Negativa	Negativa	Positiva	Muy Negativa	Negativa	Negativa
Curtosis (Kgi)		0.69	1.04	1.031	0.93	0.61	0.77	0.69	1.34	1.2	1.17	1.06	1.08
		Platicúrtica	Leptocúrtica	Leptocúrtica	Platicúrtica	Platicúrtica	Platicúrtica	Platicúrtica	Leptocúrtica	Leptocúrtica	Leptocúrtica	Leptocúrtica	Leptocúrtica
Fracción Dominante	mm	1	1	1	2	1	0.5	0.125	0.125	1	0.5	0.125	0.25
	%	22.52	28.44	26.28	25.32	20.54	24.79	22.71	36.25	23.73	28.69	38.28	43.83
	Clasificación	Arena muy gruesa	Arena muy gruesa	Arena muy gruesa	Grava fina	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena fina	Arena fina	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena fina	Arena media
Fracción Secundaria	mm	2	2	2	1	2	1	1	0.25	0.5	1	0.25	0.5
	%	18.87	17.86	19.59	22.62	20.17	19.16	17.98	17.88	22.27	23.79	23	31.7
	Clasificación	Grava fina	Grava fina	Grava fina	Arena muy gruesa	Grava fina	Arena muy gruesa	Arena muy gruesa	Arena media	Arena gruesa	Arena muy gruesa	Arena media	Arena Gruesa
Fracción Tercera	mm	0.5	4	0.5	0.5	0.125	0.125	0.25	0.063	0.25	0.25	0.5	
	%	16.9	17.18	17.95	14.59	19.66	17.37	14.53	13.27	16.19	21.47	17.21	
	Clasificación	arena gruesa	Grava fina	Arena gruesa	Arena gruesa	Arena fina	Arena fina	Arena media	Arena muy fina	Arena media	Arena media	Arena gruesa	
Moda		Multimodal	Multimodal	Multimodal	Multimodal	Multimodal	Bimodal						

Tabla 7. Síntesis del análisis granulométrico.

Además del análisis granulométrico, la clasificación granulométrica permitirá estimar parámetros hidráulicos de la unidad acuífera Migues (porosidad y permeabilidad).

A continuación se presenta el detalle del análisis granulométrico:

Pozo N° 1826

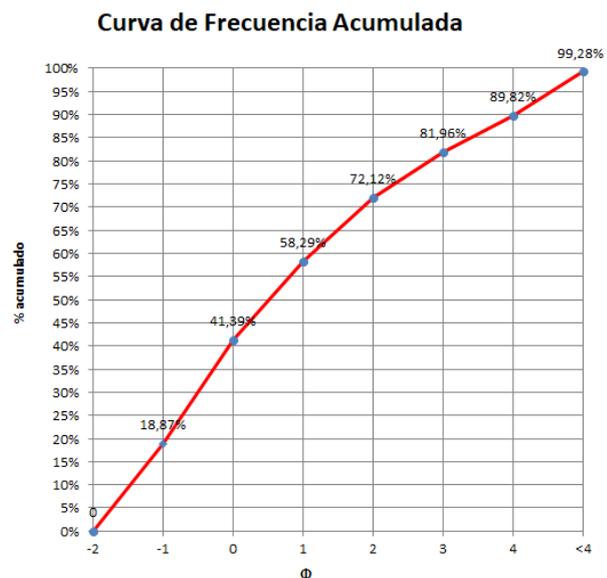
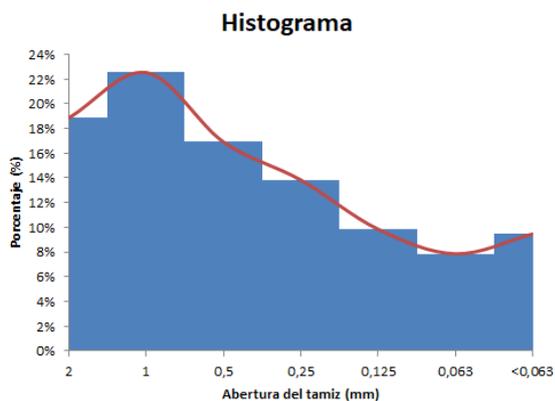
Muestra de 9 a 10 m

La muestra corresponde a arena de color rojiza con minerales de cuarzo y feldespato como principales de forma angulosa a sub angulosa. Formación Migues. (Anexo V). Fracción Dominante: Arena muy gruesa, Fracción Secundaria: Grava Fina. Y una tercera fracción de arena gruesa, lo que indica un grado de selección mala. Presenta 10% de matriz limosa-arcillosa.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
-2	4	0	0	0	262,59	260,69
-1	2	49,54	18,87%	18,87%		
0	1	59,14	22,52%	41,39%		
1	0,5	44,38	16,90%	58,29%		
2	0,25	36,31	13,83%	72,12%		
3	0,125	25,85	9,84%	81,96%		
4	0,063	20,63	7,86%	89,82%		
<4	<0,063	24,84	9,46%	99,28%		
Error (g): 3,9g		Error (%) 0,72%				

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-1,75	-1,15	-0,72	0,5	2,98	3,25	4,5

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{gi})
	0,866	0,5	2,05	0,265	0,69



Tablas y gráficos de la muestra de 9 a 10m del Pozo N°1826.

Muestra de 18,50 a 20,50m

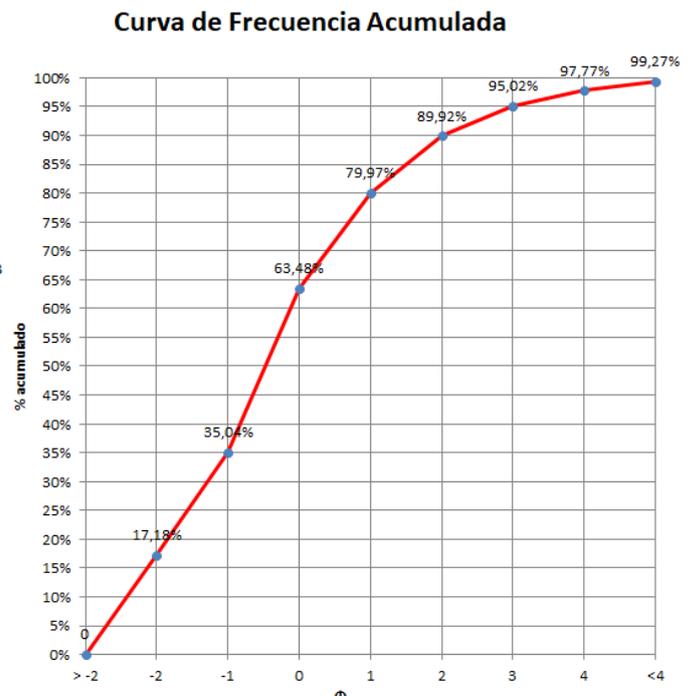
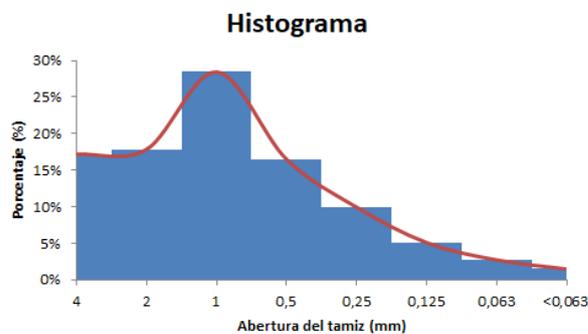
La muestra corresponde a arena gruesa de color marrón- rojizo con minerales de cuarzo y feldespato como principales de forma sub angulosa a angulosa, correspondientes a la Formación Migues, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena muy gruesa. Fracción Secundaria: Grava fina. Y una tercera fracción de grava media, lo que indica un grado de selección pobre.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
> -2	>4	0	0	0	269,14	267,18
-2	4	46,24	17,18%	17,18%		
-1	2	48,08	17,86%	35,04%		
0	1	76,54	28,44%	63,48%		
1	0,5	44,38	16,49%	79,97%		
2	0,25	26,77	9,95%	89,92%		
3	0,125	13,74	5,11%	95,02%		
4	0,063	7,38	2,74%	97,77%		
<4	<0,063	4,05	1,50%	99,27%		

Error (g):	1,96g	Error (%)	0,73%
------------	-------	-----------	-------

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-2,72	-2,10	-1,55	-0,48	0,70	1,40	3

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{gi})
	-0,39	-0,48	1,75	0,28	1,04



Tablas y gráficos de la muestra de 18,50 a 20,50 del Pozo N°1826.

Pozo N°1832

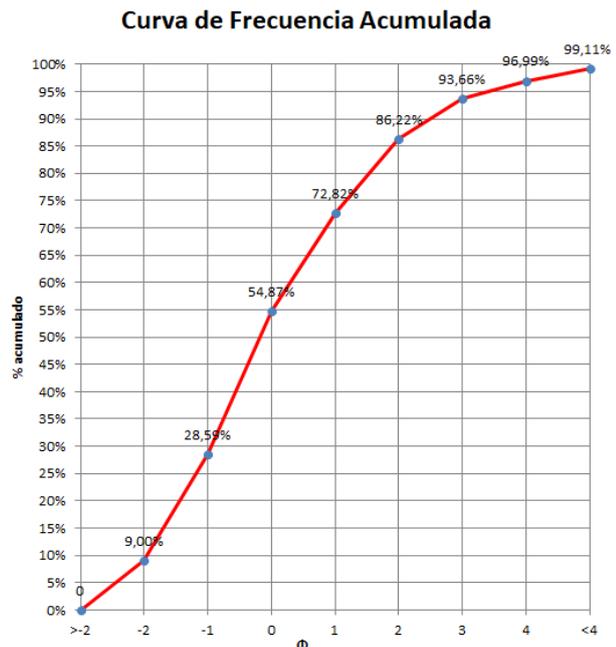
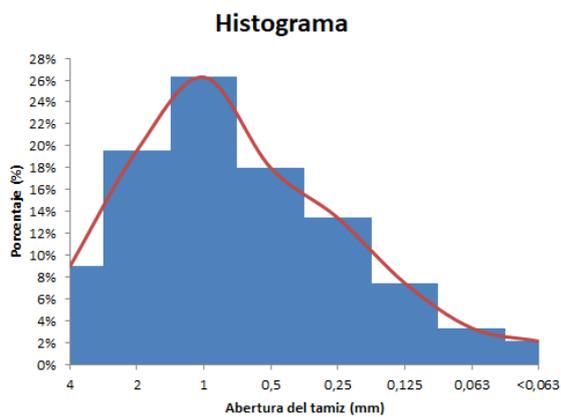
Muestra de 9a 11m

La muestra corresponde a un sedimento arenoso graviloso con minerales de cuarzo y feldespatos como principales de forma sub angulosa a sub redondeada, Correspondientes a la Formación Migues, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena Muy gruesa. Fracción Secundaria: Grava Fina. Y una arena gruesa como tercera fracción, lo que indica un grado de selección pobre.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
>-2	>4	0	0	0	474,5	470,29
-2	4	42,7	9,00%	9,00%		
-1	2	92,94	19,59%	28,59%		
0	1	124,71	26,28%	54,87%		
1	0,5	85,18	17,95%	72,82%		
2	0,25	63,6	13,40%	86,22%		
3	0,125	35,28	7,44%	93,66%		
4	0,063	15,79	3,33%	96,99%		
<4	<0,063	10,09	2,13%	99,11%		
Error (g): 4,21g		Error(%) 0,89%				

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-2,48	-1,65	-1,2	-0,2	1,15	1,84	3,4

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{qi})
	0	-0,2	1,76	0,19	1,031



Tablas y gráficos de la muestra de 9 a 11m del Pozo N°1832.

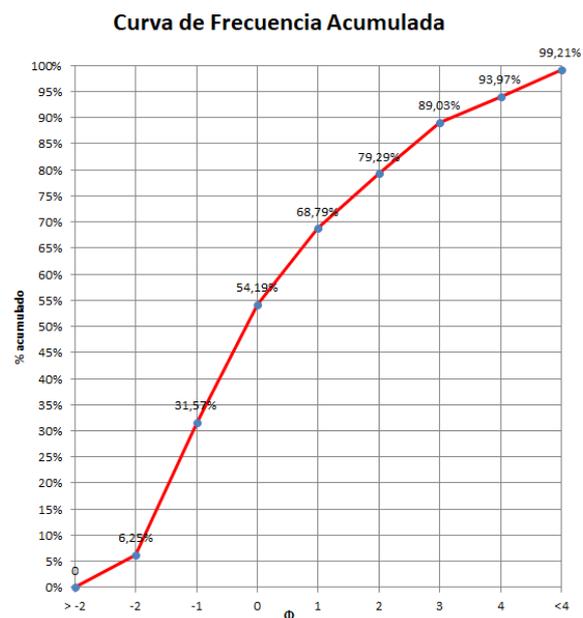
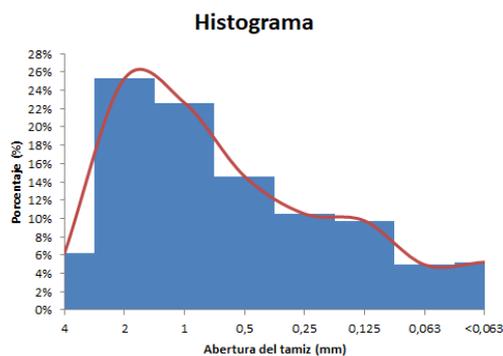
De 26 a 30 m

Corresponde arena muy gruesa a grava fina con clastos de cuarzo de forma sub redondeada a sub angulosa y el feldespato de menor tamaño de forma angulosa a sub angulosa, corresponden a la Formación Migues. (Anexo V). Fracción Dominante: Grava fina. Fracción Secundaria: Arena Muy gruesa. Y una arena gruesa como tercera fracción, lo que indica un grado de selección pobre.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
> -2	>4	0	0	0	244,83	242,9
-2	4	15,29	6,25%	6,25%		
-1	2	62	25,32%	31,57%		
0	1	55,39	22,62%	54,19%		
1	0,5	35,73	14,59%	68,79%		
2	0,25	25,71	10,50%	79,29%		
3	0,125	23,85	9,74%	89,03%		
4	0,063	12,1	4,94%	93,97%		
<4	<0,063	12,83	5,24%	99,21%		
Error (g): 1,93g		Error (%) 0,79%				

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-2,2	-1,6	-1,25	-0,2	1,6	2,5	4,2

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{qi})
	0,23	0,2	1,99	0,34	0,93



Tablas y gráficos de la muestra de 26 a 30m del Pozo N°1832.

Pozo N° 1828

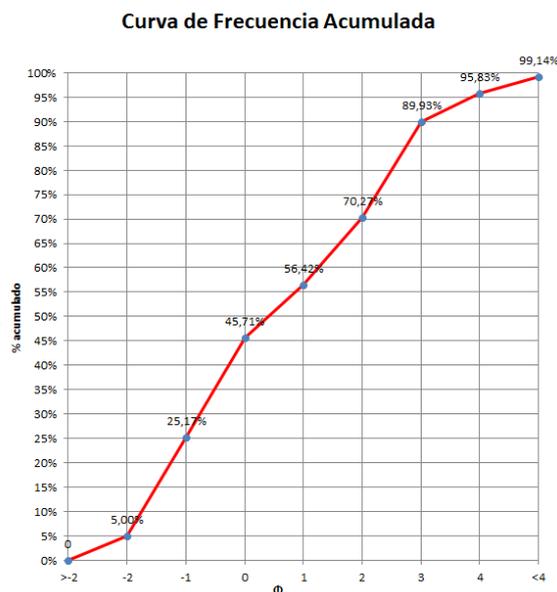
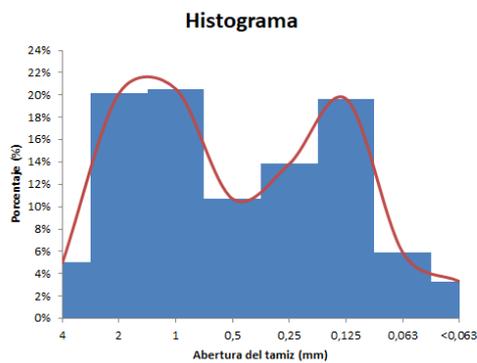
Muestra de 24 a 26m

Corresponde a una arena muy gruesa de color rojiza con clastos de cuarzo como principal de forma sub redondeada a sub angulosa y feldspatos de forma sub angulosa. Formación Migués, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena muy gruesa. Fracción Secundaria: Grava fina. Y una tercera fracción de arena fina, lo que indica un grado de selección mala. Distribución bimodal, arena muy gruesa-arena fina.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
>-2	>4	0	0	0	433,06	429,33
-2	4	21,65	5,00%	5,00%		
-1	2	87,34	20,17%	25,17%		
0	1	88,97	20,54%	45,71%		
1	0,5	46,39	10,71%	56,42%		
2	0,25	59,98	13,85%	70,27%		
3	0,125	85,14	19,66%	89,93%		
4	0,063	25,54	5,90%	95,83%		
<4	<0,063	14,32	3,31%	99,14%		
Error (g): 3,73g		Error (%) 0,86%				

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-2	-1,55	-1,2	0,4	2,25	2,7	3,85

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{gl})
	0,52	0,4	2,04	0,13	0,61



Tablas y gráficos de la muestra de 24 a 27m del Pozo N°1828

Pozo N°1817

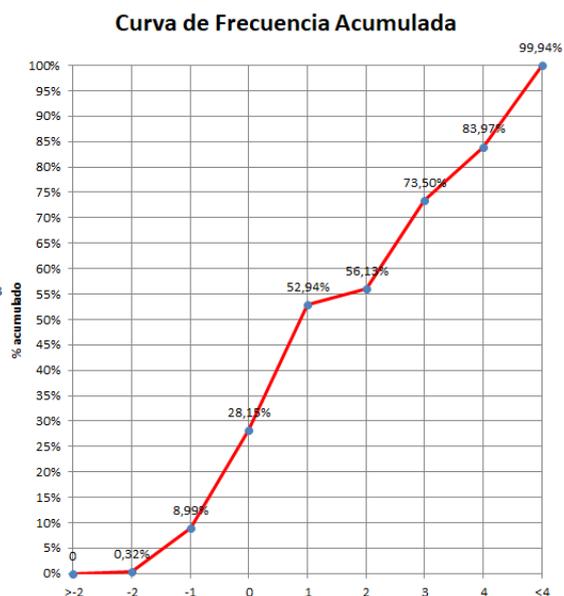
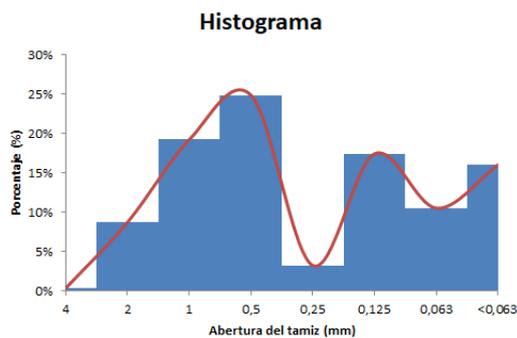
Muestra de 6 a 8m

Corresponde a una arena gruesa a fina de color marrón claro rojiza con minerales principales de cuarzo y feldespato de forma sub redondeada. La muestra corresponde a la Formación Migués, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena gruesa. Fracción Secundaria: Arena muy gruesa. Y una tercera fracción de arena fina, indicando un grado de selección mala y marcada bimodal así como > 15% matriz limosa-arcillosa.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
>-2	>4	0	0	0		
-2	4	0,4	0,32%	0,32%	125,04	124,97
-1	2	10,84	8,67%	8,99%		
0	1	23,96	19,16%	28,15%		
1	0,5	31	24,79%	52,94%		
2	0,25	3,98	3,18%	56,13%		
3	0,125	21,72	17,37%	73,50%		
4	0,063	13,09	10,47%	83,97%		
<4	<0,063	19,98	15,98%	99,94%		

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-1,58	-0,65	-0,2	0,88	3,12	4	4,7

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{gi})
	1,57	0,88	2,11	0,28	0,77



Tablas y gráficos de la muestra de 6 a 8m del Pozo N°1817.

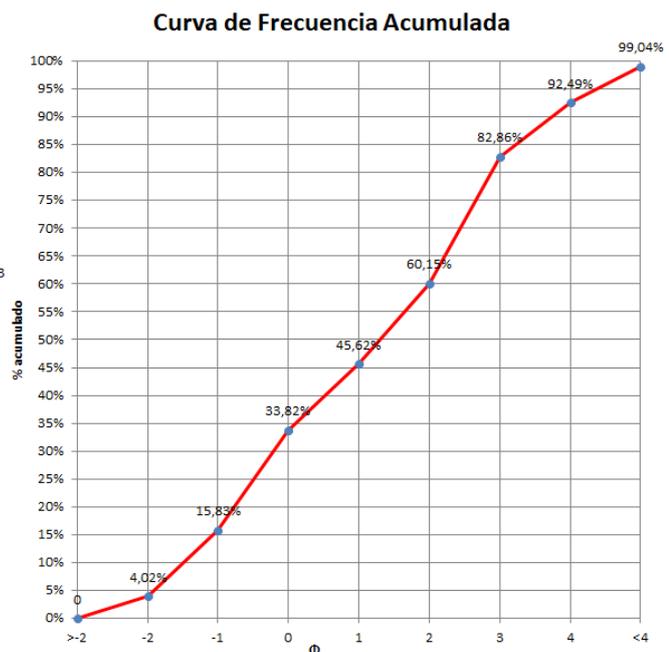
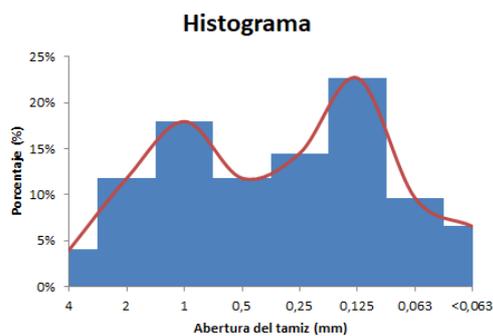
Muestra de 8 a 11,5m

Corresponde una arena de color rojiza cuarzo feldespática, con forma sub angulosa de sus clastos principales. Formación Migués, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena Fina. Fracción Secundaria: Arena muy gruesa Y una tercera fracción de arena media, lo que indica un grado de selección pobre. Hay marcada bimodal, arena muy gruesa- arena fina.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
>-2	>4	0	0	0	116,9	115,78
-2	4	4,7	4,02%	4,02%		
-1	2	13,81	11,81%	15,83%		
0	1	21,02	17,98%	33,82%		
1	0,5	13,8	11,80%	45,62%		
2	0,25	16,98	14,53%	60,15%		
3	0,125	26,55	22,71%	82,86%		
4	0,063	11,26	9,63%	92,49%		
<4	<0,063	7,66	6,55%	99,04%		

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-1,9	-1	-0,5	1,3	2,65	3,1	3,4

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{gi})
	1,13	1,3	1,8	-0,16	0,69



Tablas y gráficos de la muestra de 8 a 11,5m del Pozo N°1817.

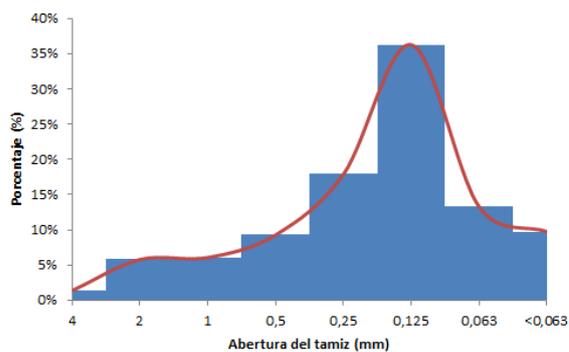
Muestra de 14 a 17m

Corresponde a una arena fina de color rojiza cuarzo feldespática, con forma sub angulara en sus clastos principales (cuarzo- feldespato). Formación Migue, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena Fina. Fracción Secundaria: Arena media Y una tercera fracción de arena muy fina, lo que indica un grado de selección pobre. Presenta casi 10% de matriz pelítica.

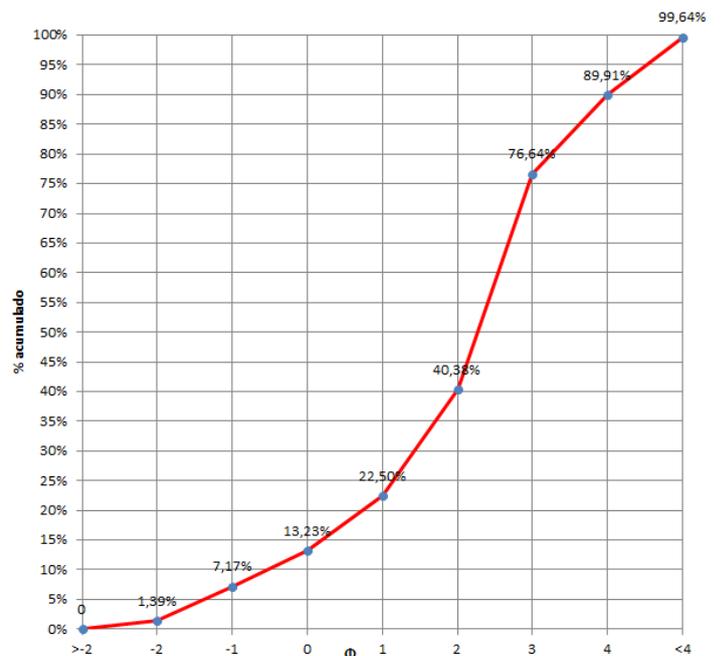
Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
>-2	>4	0	0	0	135,72	135,23
-2	4	1,88	1,39%	1,39%		
-1	2	7,85	5,78%	7,17%		
0	1	8,22	6,06%	13,23%		
1	0,5	12,59	9,28%	22,50%		
2	0,25	24,27	17,88%	40,38%		
3	0,125	49,2	36,25%	76,64%		
4	0,063	18,01	13,27%	89,91%		
<4	<0,063	13,21	9,73%	99,64%		
Error (g): 0,49g		Error (%) 0,36%				

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-1,38	0,3	1,15	2,5	2,95	3,55	4,5
Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{gi})	
	2,12	2,5	1,7	-0,34	1,34	

Histograma



Curva de Frecuencia Acumulada



Tablas y gráficos de la muestra de 14 a 17m del Pozo N°1817.

Pozo N°1788

Muestra de 20 a 24m

Corresponde a una arena media a muy gruesa, con clastos de cuarzo y feldespato como principales superando los 3mm de tamaño. Formación Migues, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena Muy Gruesa. Fracción Secundaria: Arena gruesa Y una tercera fracción de arena media, indicando un grado de selección pobre.

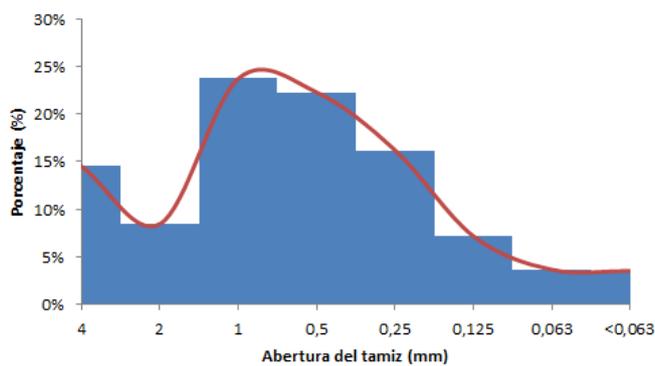
Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
>-2	>4	0	0	0	147,7	146,97
-2	4	21,41	14,50%	14,50%		
-1	2	12,51	8,47%	22,97%		
0	1	35,05	23,73%	46,70%		
1	0,5	32,89	22,27%	68,96%		
2	0,25	23,91	16,19%	85,15%		
3	0,125	10,58	7,16%	92,32%		
4	0,063	5,4	3,66%	95,97%		
<4	<0,063	5,22	3,53%	99,51%		

Error (g):	0,73g	Error (%)	0,49%
------------	-------	-----------	-------

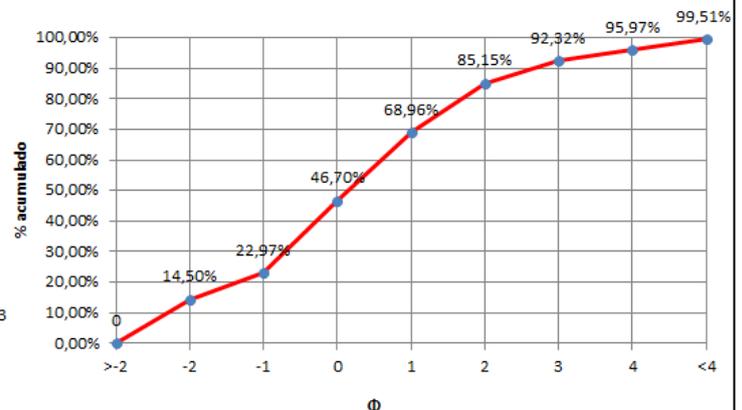
Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-2,65	-1,85	-0,9	0,15	1,45	1,9	3,75

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{gi})
	0,7	0,6	1,5	0,12	1,2

Histograma



Curva de Frecuencia Acumulada



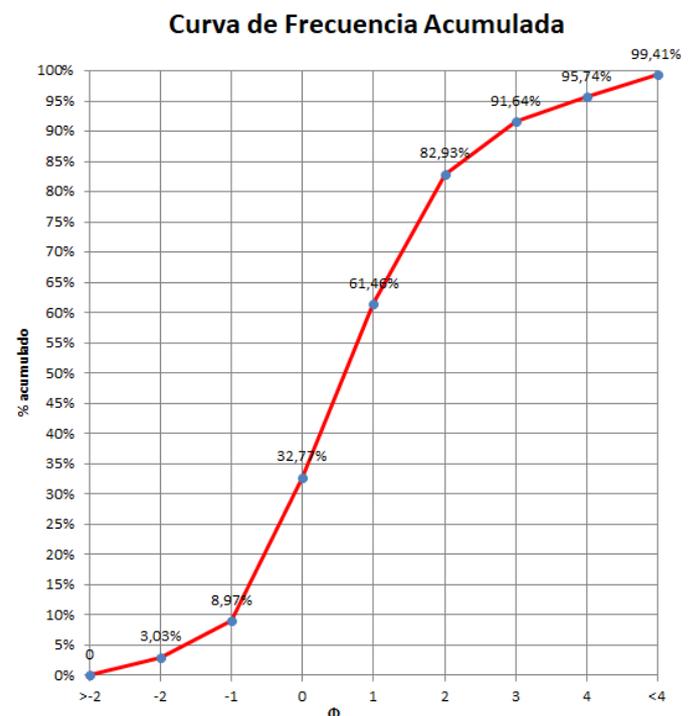
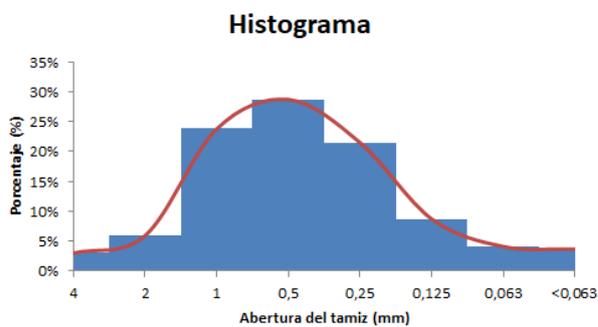
Tablas y gráficos de la muestra de 20 a 24m del Pozo N°1778.

Muestra de 25,5 a 27m

Corresponde a una arena media a muy gruesa con clastos principales de cuarzo y feldespato de forma sub angulosos a angulosos Formación Migues (Anexo V). Fracción Dominante: Arena Muy Gruesa. Fracción Secundaria: Arena gruesa Y una tercera fracción de arena media, indicando un grado de selección pobre.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
>-2	>4	0	0	0	133,16	132,38
-2	4	4,03	3,03%	3,03%		
-1	2	7,92	5,95%	8,97%		
0	1	31,68	23,79%	32,77%		
1	0,5	38,21	28,69%	61,46%		
2	0,25	28,59	21,47%	82,93%		
3	0,125	11,6	8,71%	91,64%		
4	0,063	5,46	4,10%	95,74%		
<4	<0,063	4,89	3,67%	99,41%		

Error (g):	0,78g	Error (%)	0,59%
------------	-------	-----------	-------



Tablas y gráficos de la muestra de 25,5 a 27m del Pozo N°1778.

Pozo N°1810

Muestra de 28 a 33m

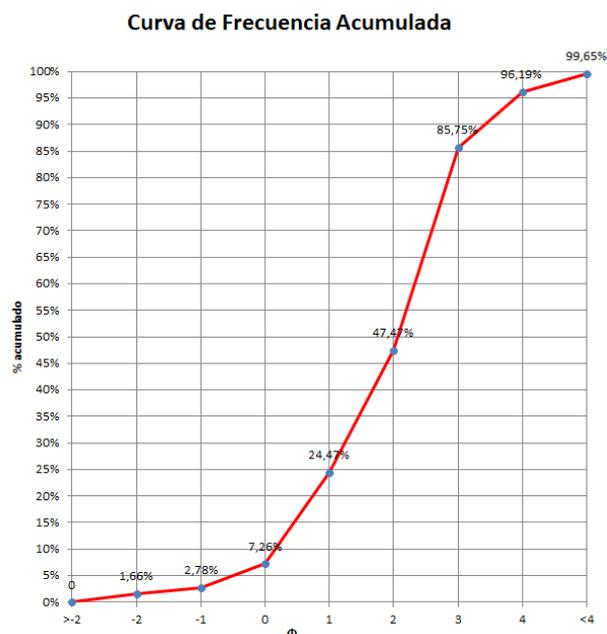
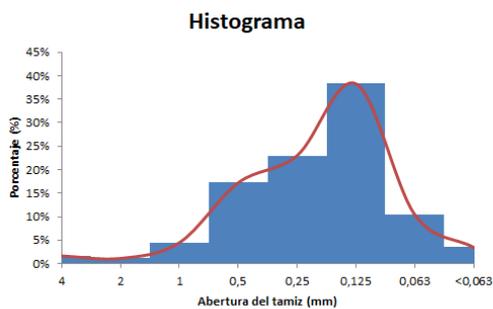
Corresponde a una arena fina a gruesa de color marrón, con clastos de cuarzo de forma sub redondeada a sub angulosa y feldespato de forma similar, correspondientes a la Formación Migues, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena Fina. Fracción Secundaria: Arena media Y una tercera fracción de arena gruesa, indicando un grado de selección pobre.

Φ	Abertura del Tamiz (mm)	Peso (g)	%	% acumulado	Peso Inicial	Peso final Total
>-2	>4	0	0	0	121,35	120,92
-2	4	2,01	1,66%	1,66%		
-1	2	1,36	1,12%	2,78%		
0	1	5,44	4,48%	7,26%		
1	0,5	20,89	17,21%	24,47%		
2	0,25	27,91	23,00%	47,47%		
3	0,125	46,45	38,28%	85,75%		
4	0,063	12,67	10,44%	96,19%		
<4	<0,063	4,19	3,45%	99,65%		

Error (g):	0,43g	Error (%)	0,35%
------------	-------	-----------	-------

Φ 5	Φ 16	Φ 25	Φ 50	Φ 75	Φ 84	Φ 95
-0,5	0,5	1	2,1	2,7	2,95	3,9

Moda	Media (Mz)	Mediana (Md)	Selección (σ)	Asimetría (Ski)	Curtosis (K_{gi})
	1,85	2,1	1,28	-0,2	1,06

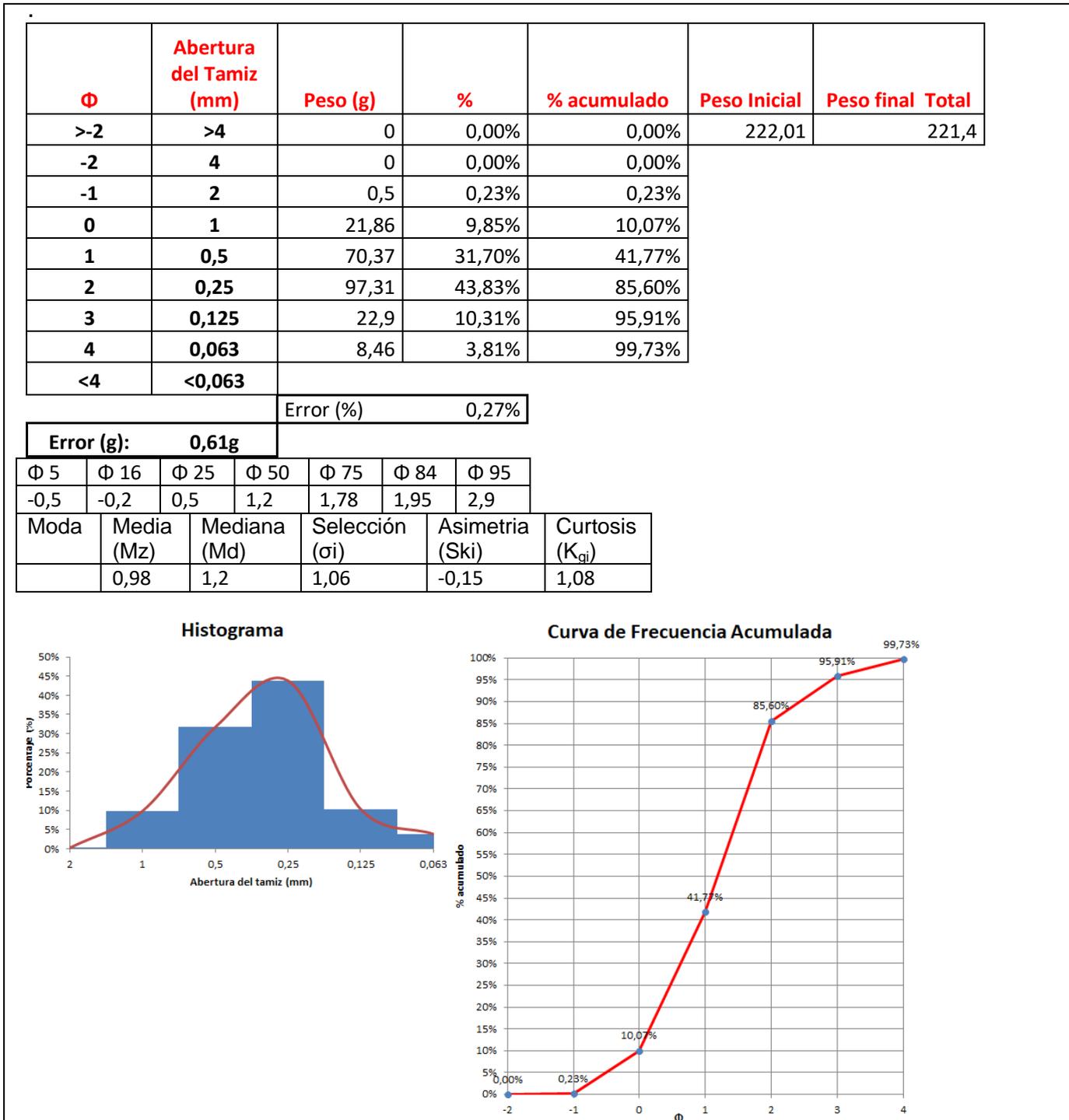


Tablas y gráficos de la muestra de 28 a 33m del Pozo N°1810.

Pozo N° 1819

Muestra de 3 a 15m

Corresponde a una muestra de arena fina a media de color rojizo, con clastos de cuarzo y feldespato como principales de forma sub angulosa a sub redondeada. La muestra corresponde a la Formación Migues, (Anexo V). Fracción Dominante: Arena Media Fracción Secundaria: Arena gruesa. El grado de selección es pobre.



Tablas y gráficos de la muestra de 3 a 15m del Pozo N°1819.

9. HIDROGEOLOGÍA

9.1 Marco Teórico

Dado que el medio físico por donde se mueve el agua subterránea es un ambiente geológico, un estudio litológico, textural y estructural de las formaciones geológicas en las que se mueve el agua, constituyen un paso previo e indispensable para el estudio hidrogeológico de una zona determinada.

Existen dos grandes dominios en relación a los acuíferos subterráneos (Feitosa & Manoel Filho 1998), medios isótropos y anisótropos. Un medio o acuífero isótropo es cuando la conductividad hidráulica es igual en todas las direcciones de los ejes de coordenadas, y anisótropo cuando no lo es. Un acuífero es heterogéneo cuando está constituido por materiales de conductividad diferente.

Los acuíferos pueden clasificarse según la presión hidrostática a la que está sometida el agua, teniendo acuíferos libres y confinados, (Figura 30). Los acuíferos libres son aquellos que el límite superior está a presión atmosférica, se llaman además acuíferos freáticos. En cambio los acuíferos confinados son aquellos en los que cualquier punto el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica.

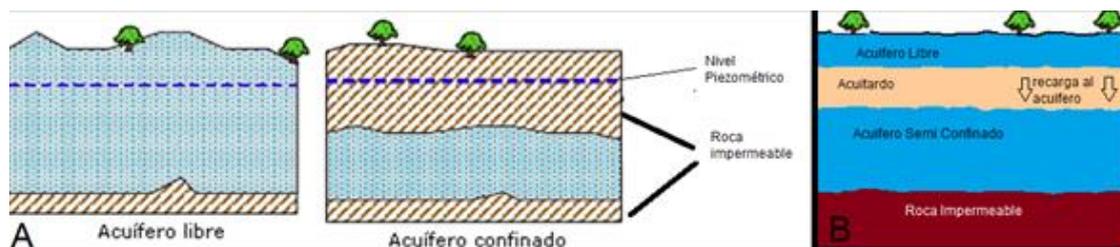


Figura 30. A: Ilustración de un acuífero libre y confinado, con su respectivo nivel piezométrico.
B: Ilustración de acuífero semiconfinado.

El confinamiento se debe a estratos impermeables a semipermeables y el acuífero permanece totalmente saturado en cualquier instante, también durante el bombeo de pozos (Feitosa & Manoel Filho 1998). En los acuíferos semiconfinados, las capas confinantes presentan características semipermeables posibilitando así el pasaje de agua. Dependiendo entonces de la configuración de las cargas hidráulicas del sistema, el acuífero podrá transmitir o recibir agua de las capas suprayacentes o subyacentes.

9.1.1 Porosidad

La porosidad o porosidad total hace referencia a la cantidad de espacios vacíos existentes en un volumen de material determinado, siendo la porosidad primaria representada por los vacíos originales de la roca, y porosidad secundaria desarrolladas después de su formación, (fracturas, fallas, diaclasas y disolución) (Figura 31).

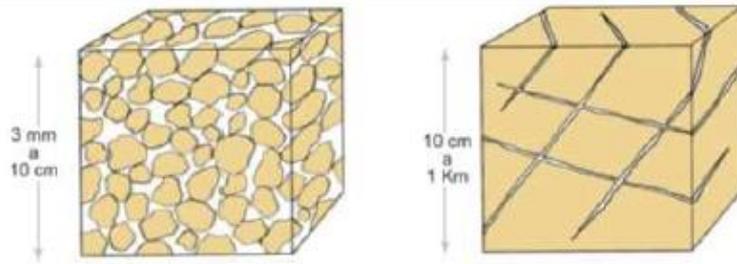


Figura 31. Izquierda: porosidad primaria. Derecha: porosidad secundaria. Tomado de Curso de Hidrogeología Aplicada, Ingeoexpert. 2018

Cabe distinguir entre porosidad total y porosidad eficaz.

La porosidad total (m_t) responde a la siguiente ecuación.

$$m_t = \text{Volumen de huecos (Vv)} / \text{Volumen total (Vt)}.$$

Se suele representaren tanto por %, como en tanto por 1.

No obstante, la porosidad total no es una magnitud interesante desde el punto de vista hidrogeológico, ya que a los efectos del movimiento de agua solo intervienen los poros interconectados, es entonces que se utiliza la porosidad eficaz (m_e), siendo esta la cantidad de agua aportada por unidad de volumen de material, es decir el volumen de poros interconectados disponibles para el flujo respecto del volumen total.

$$m_e = \text{Volumen de agua drenada por gravedad} / \text{Volumen total}.$$

La porosidad eficaz también se puede expresar en porcentaje, siendo la cantidad de agua retenida por las fuerzas moleculares y por la tensión superficial por unidad de volumen del material denominada retención específica (R_e), también llamada capacidad de campo. La suma de ambas es la porosidad total, ($m_e + R_e = M_t$).

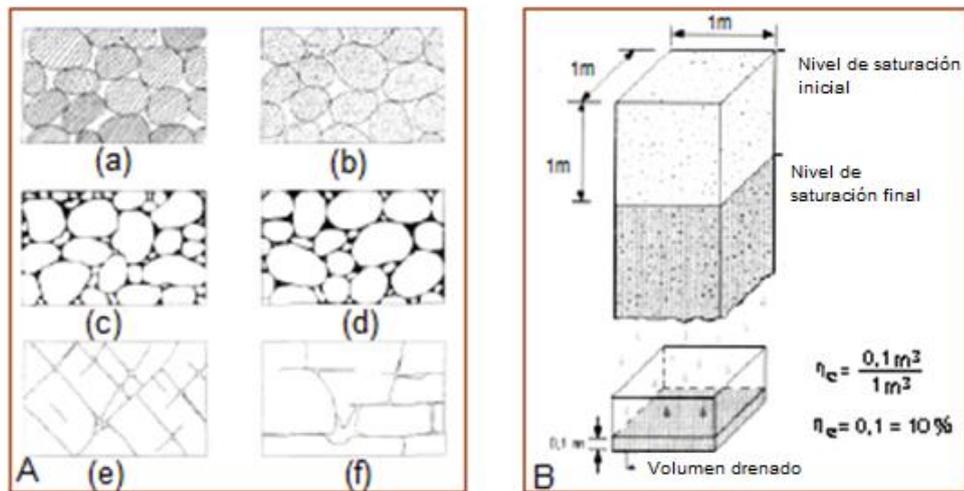


Figura 32. A: Relación entre porosidad y textura **a)** roca sedimentaria con muy buena selección (porosidad elevada); **b)** roca sedimentaria de granulometría homogénea cuyos granos son porosos (porosidad muy elevada); **c)** roca sedimentaria de baja selección (baja porosidad); **d)** roca sedimentaria de granulometría de baja selección y alto grado de cementación (porosidad muy baja); **e)** roca con porosidad secundaria debido a fracturas; **f)** roca con porosidad secundaria debido a disolución. **B:** Ilustración del concepto de porosidad eficaz mostrando una cantidad de agua drenada por gravedad de un volumen unitario saturado de acuífero. Tomado y modificado de Feitosa y Maanoel Filho, (1998).

Otra forma de estimar la porosidad eficaz es mediante tablas a partir del material en que está constituido el acuífero. Custodio, E., y Llamas, M.R. (1983). (Figura 33).

Material	Porosidad eficaz (%)		
	Máxima	Minima	Media
Arcilla arenosa	18	3	7
Arena fina	28	10	21
Arena media	32	15	26
Arena gruesa	35	20	27
Arena con grava	35	20	25
Gravas finas	35	21	25
Gravas medias	26	13	23
Gravas gruesas	26	12	22

Figura 33. Imagen de la estimación de la porosidad eficaz a partir del material. Custodio, E., y Llamas, M.R. (1983).

9.1.2 Movimiento del agua

Si tenemos una formación con poros interconectados, el agua podrá circular en su seno a través de los mismos, dado el carácter heterogéneo de los intersticios que proporciona la porosidad de la formación, las trayectorias de las moléculas de agua serán extraordinariamente complicadas y tortuosas, con constantes cambios de velocidad y dirección, (Figura 34).

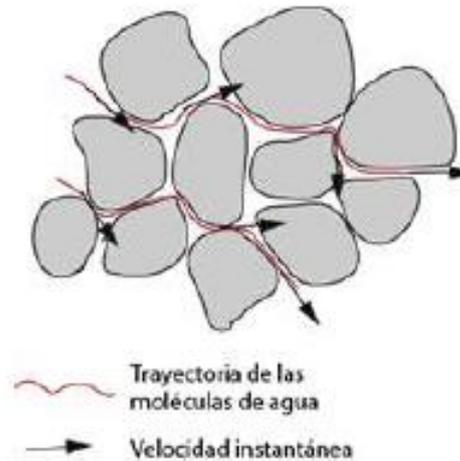


Figura 34. Imagen de circulación del agua a través de los intersticios. Tomado de Curso de Hidrogeología Aplicada, Ingeoexpert. 2018

La velocidad media vectorial de todas las velocidades de cada una de las moléculas de una determinada zona se llama velocidad real del flujo, siendo la magnitud más lógica para describir el flujo, como promedio de las velocidades reales de las casi infinitas moléculas que se desplazan en el movimiento de las aguas subterráneas en un terreno real. Pero podemos definir otra velocidad imaginaria, la cual se puede definir como; velocidad de flujo: aquella velocidad que multiplicada por la sección de paso nos da el caudal, (Figura 35).

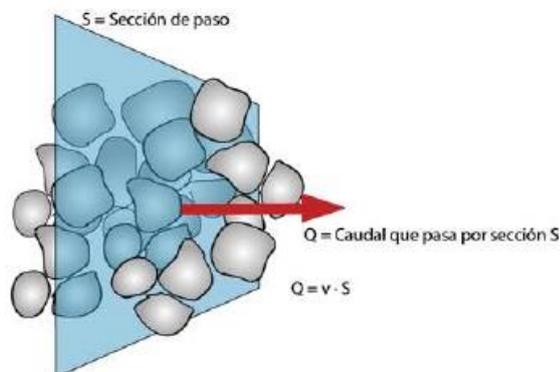


Figura 35. Imagen de la relación entre la velocidad de flujo y la sección denominada velocidad de Darcy. Tomado de Curso de Hidrogeología Aplicada, Ingeoexpert. 2018

La relación entre la velocidad real (V^*) y la velocidad de Darcy (v) es:

$$V^* = v$$

9.1.3 Ley de Darcy

Entonces podemos definir a la Ley de Darcy por la cual se regula el movimiento de las aguas subterráneas establece que:

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

Dónde: k es la permeabilidad o conductividad hidráulica (L/T).

A es el área de la sección a través de la cual se produce el flujo (L^2).

$(h_1 - h_2)$ es la diferencia de carga hidráulica (L)

L es el recorrido del agua (L)

i es la tasa de pérdida de carga por unidad de longitud, o gradiente hidráulico (adimensional). $\frac{(h_1 - h_2)}{L}$

A. Permeabilidad o Conductividad Hidráulica (K)

La permeabilidad o conductividad hidráulica es el caudal que pasa o atraviesa una sección vertical unitaria del acuífero, bajo un gradiente y a una temperatura dada, teniendo en cuenta las características del medio incluyendo porosidad, tamaño, distribución, forma y arreglo de las partículas, además de las características del fluido que se está moviendo (viscosidad y masa específica).

Transmisividad

La transmisividad es el caudal que atraviesa una franja vertical del acuífero que tenga por ancho, la unidad de medida y por altura, la altura saturada del acuífero "b", bajo un gradiente unidad y a una temperatura dada, (Figura 36).

Se calcula como:

$$T = k \cdot b$$

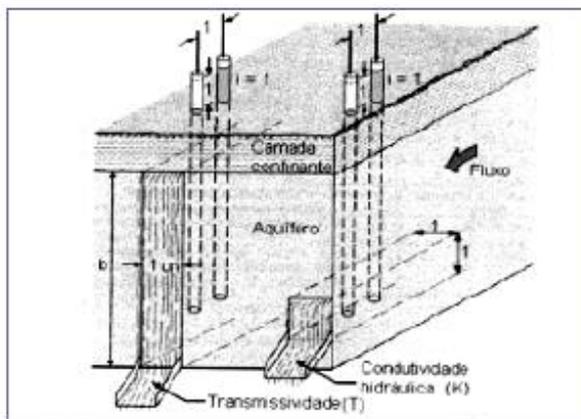


Figura 36. Conductividad hidráulica y transmisividad (Feitosa&Manoel, 1998).

B. Coeficiente de Almacenamiento (S)

El coeficiente de almacenamiento es el volumen de agua que se obtiene de un prisma de acuífero que tenga por base, la unidad de área y por altura la altura saturada del acuífero, cuando se deprime o rebate el nivel piezométrico de una unidad. En la Tabla 8 se expresa las diferencias del coeficiente de almacenamiento entre un acuífero libre y un acuífero confinado.

Acuífero Libre	Acuífero Confinado
El drenaje físico es simple	Problemas de subsidencia del terreno progresivos por explotación excesiva del acuífero cautivo. Relación con los cambios de presión atmosférica (eficiencia barométrica) o a las mareas (eficiencia de las mareas) Efectos elásticos del agua
$S=m_e$	$S= \gamma \cdot b(m \beta + \alpha)$ γ = Peso específico del agua b = Espesor del acuífero m Porosidad β = coeficiente de compresibilidad del agua α = coeficiente de compresibilidad del terreno
Rango de valores de 0 a 0.4 Logrando más capacidad de almacenaje	Rango de valores de 10^{-3} a 10^{-5} Llegando alcanzar una capacidad de 10.000 veces menos
400 L/m ³ y m de descenso	0.001 a 0.0001 L/m ³ y metro de descenso

Tabla 8. Diferencia de parámetros entre acuífero libre y acuífero confinado.

7.1.4 Métodos Indirectos para la determinación de la Conductividad Hidráulica K

Como las dimensiones de la permeabilidad (k_0) son de longitud al cuadrado (L^2), se ha tratado de encontrar una dimensión característica donde el cuadrado de L sea proporcional a K_0 , el método Hazen encontró esa proporcionalidad.

Método Hazen

El método se define como:

$$K_0 = C d_e^2.$$

Siendo C una constante que define Hazen, y d_e es el diámetro equivalente al valor de d_{10} de la curva granulométrica. A partir de la ecuación original de Hazen es que se le agrega 8.64 para poder introducir el valor de d_{10} en mm y que el resultado final de K sea en metros/día. Weight (2008).

$$K = 8.64 C d_{10}^2$$

El valor de C se puede estimar a partir de la gráfica de estimación del coeficiente de C de Hazen dibujado a partir de valores numéricos de Weight (2008). (Figura 37).

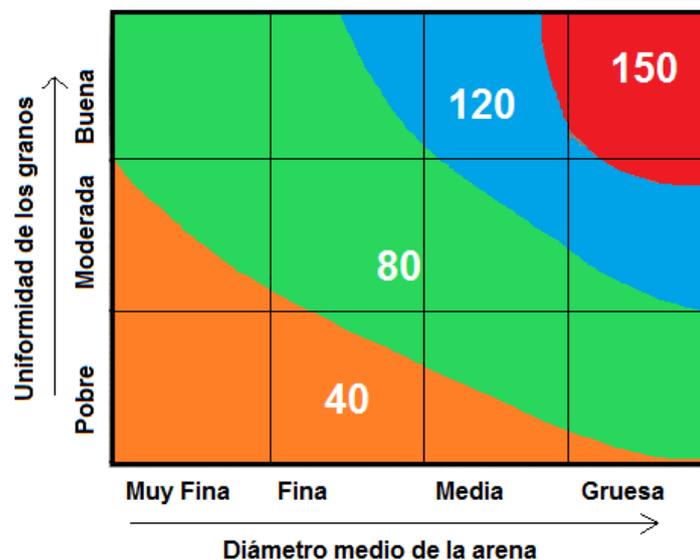


Figura 37. Estimación del Coeficiente C de Hazen, modificado a partir de valores numéricos de Weight (2008).

Otro método más simple es la expresión de U.S Bureau of Reclamation, Kasenow, (2002).

$$K = 311 \cdot d_{20}$$

9.2 Hidrogeología del área

A partir del análisis de las perforaciones en donde se obtienen datos de niveles de napas de agua, descripción de muestras (Anexo IV), a su vez haber estado en presencia en el proceso de construcción de dos de ellos (N°1832 y N°1828) y por ultimo un análisis granulométrico (Capítulo 8), se identifica a la unidad acuífera Migues como la principal de la zona de estudio, descartando a las otras unidades acuíferas correspondientes a las Formaciones Raigón, Cañada Solís y Puerto Gómez y con ello descartando a los pozos N°1770 y N°1784 para los posteriores análisis.

9.2.1 Unidad Acuífera Migues

Debido a la extensión en el área de estudio, se considera un acuífero local, del tipo semiconfinado hacia el norte y libre en el centro y sur del área. Los niveles permeables, reconocidos a través de la descripción litológica y de construcción de pozos en el área alcanzan los 2m. El techo del acuífero en la zona semiconfinada tiene un espesor promedio de 9m y un máximo de 12m, representadas por las Formaciones Libertad y Dolores, correspondientes a limos arcillosos con niveles arenosos.

Profundidad y Espesores.

A partir de las perforaciones realizadas por DINAMIGE, se realizó un análisis sobre valores de profundidades y espesores. Se observa que el rango de profundidades con mayor cantidad de pozos es entre 40-50m, donde en el pozo N°1763 es el de mayor profundidad alcanzando unos 50m y el pozo N°1826 es el de menor alcanzando unos 22.5m, ubicándose los dos al noreste de la zona de estudio (Figura 38).

En cuanto a los espesores el rango con mayor frecuencia de pozos va desde los 20-30 y mayores a 40, encontrando el máximo espesor en el pozo N°1810 de unos 46.5m y el menor en el N°1826 de unos 15.5m. (Figura 39).

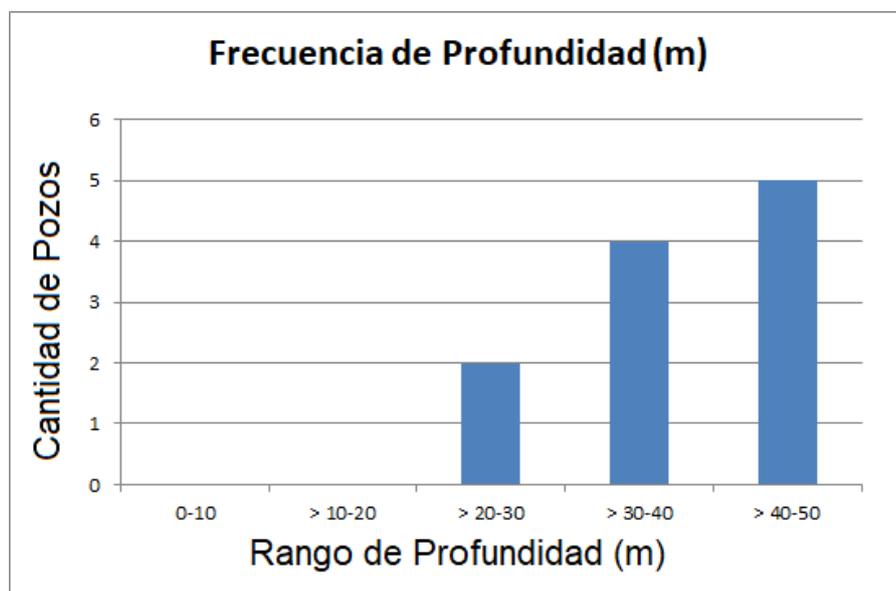


Figura 38. Frecuencia de rango de profundidad.

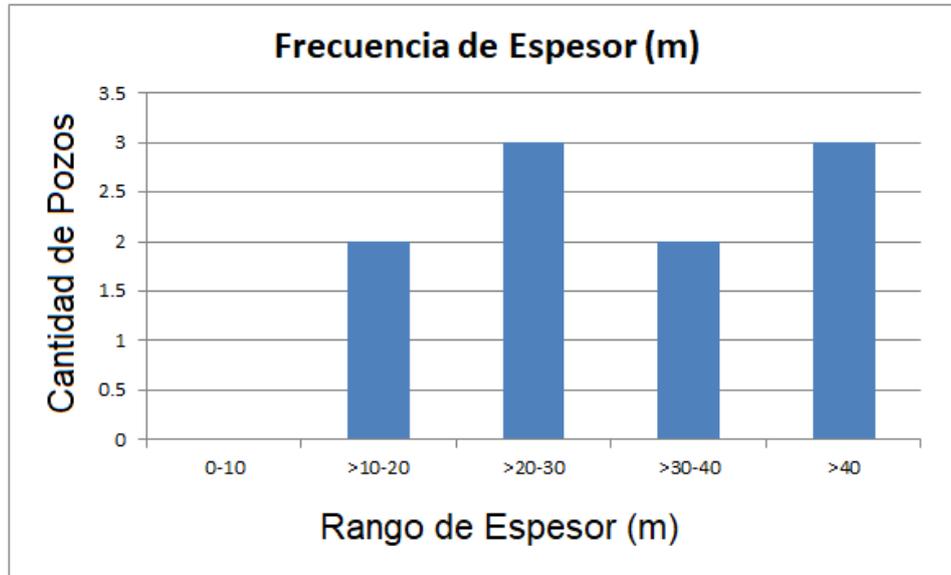


Figura 39. Frecuencia de rango de espesor de la unidad acuífera Migueles.

Caudal.

A partir de los caudales de las perforaciones, se obtuvo como valor promedio $2.6\text{m}^3/\text{h}$. La mayoría de los caudales se encuentran en un rango entre los 1 y $2\text{m}^3/\text{h}$. (Figura 40). Siendo el pozo N°1826 el de mayor caudal con unos $6.5\text{m}^3/\text{h}$, y el de menor caudal el N°1819 de unos $0.1\text{m}^3/\text{h}$. (Anexo V).

Si se observa en el gráfico 41, se interpreta que hay una tendencia a disminuir el caudal con respecto a la profundidad indicando un aumento en la matriz a medida que se gana en profundidad.

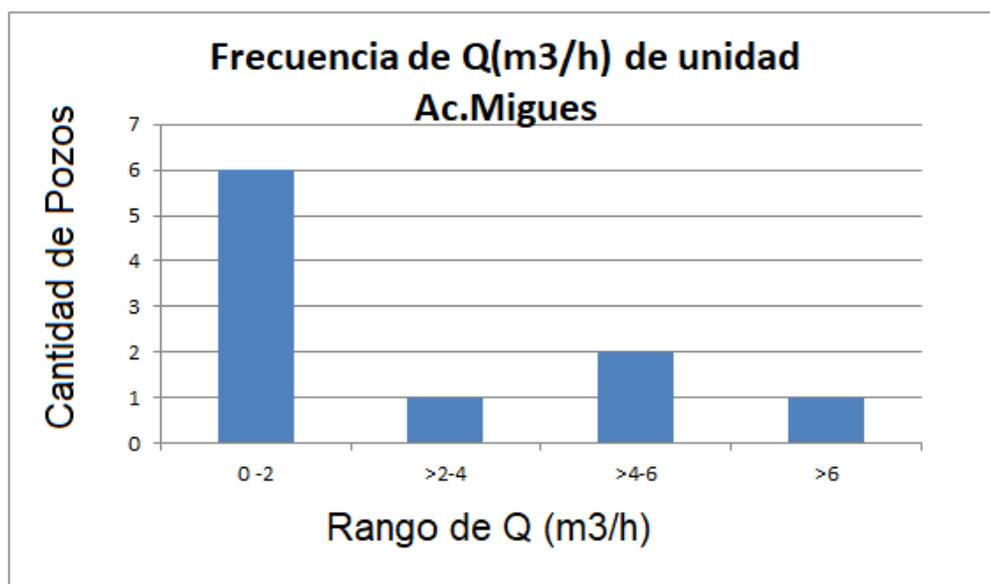


Figura 40. Frecuencia rango de caudal de la unidad acuífera Migueles.

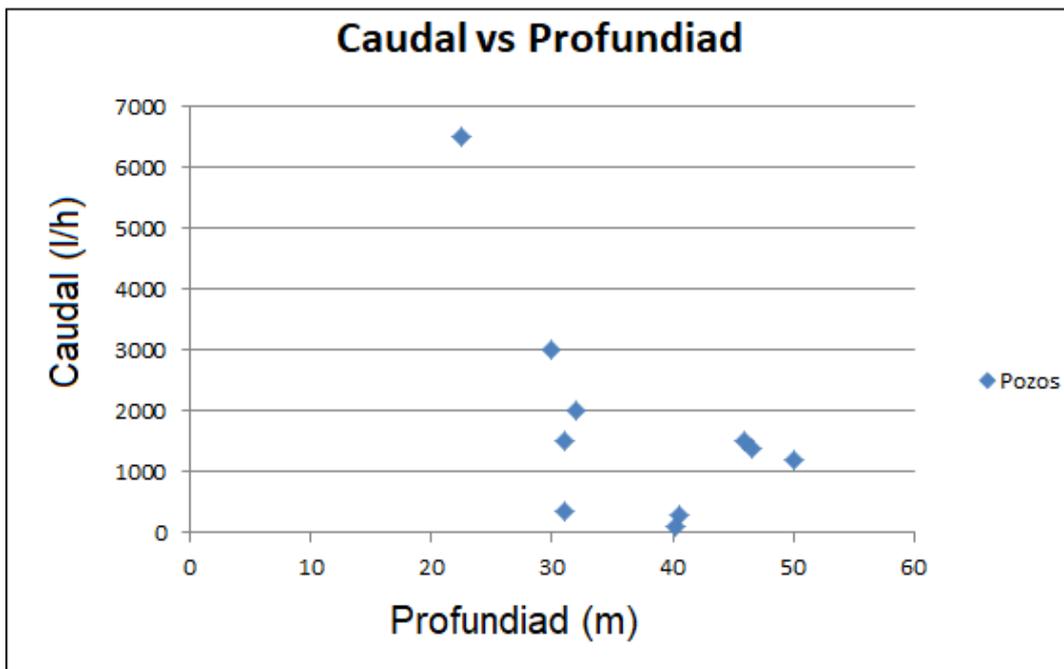


Figura 41. Caudal vs Profundidad.

Nivel Estático.

Se realizó una campaña en el periodo de Julio 2017, en el cual se incluyó la medida de nivel estático. A partir de estos valores, se determinó que el rango de mayor frecuencia es 5 entre y 10m de profundidad, el valor medio es 9.1m, el máximo es 16,5m en el pozo N°1788 y el valor mínimo es 2,72m en el pozo N°1810. (Figura 42).

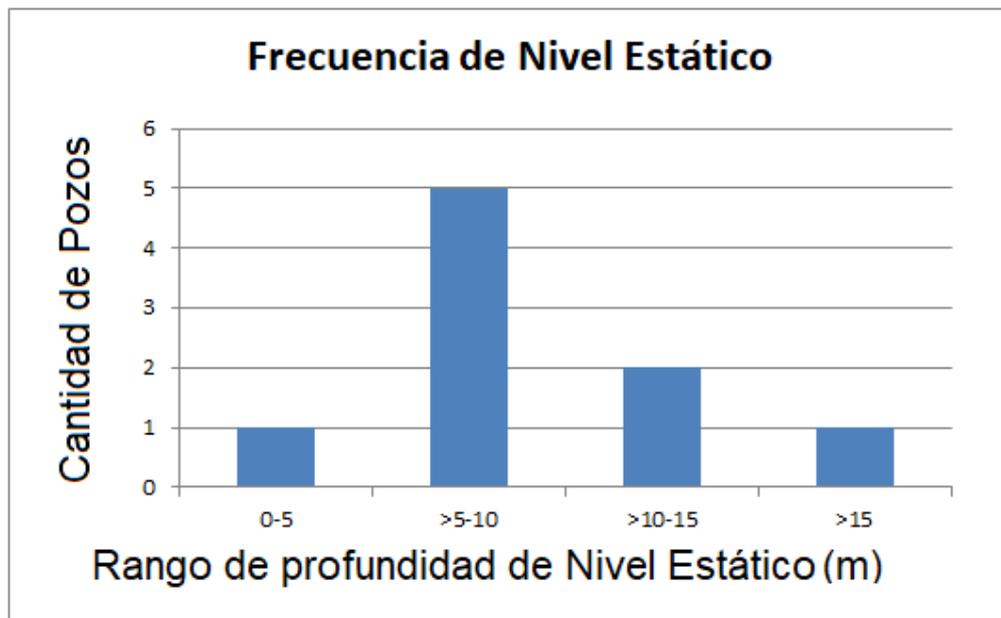


Figura 42. Frecuencia de rango de profundidad de nivel estático de la unidad acuífera Migues.

9.2.2 Piezometría

A partir de las campañas de monitoreo de octubre 2016 y julio 2017 se midieron valores de niveles estático para la construcción de los mapas piezométricos para cada campaña y en busca de diferencias que indiquen cambios en la dinámica del acuífero. (Figura 43, 44, 45).



Figura 43. Imagen de medida del nivel estático del agua.

Piezometría Octubre 2016

A partir de las medidas de niveles estaticos para octubre 2016 se realizo el trazado de las isopiezas como se muestra en el mapa. (Figura 44).

Se interpreta que existen dos zonas diferentes en el tipo de superficie piezometrica. La primera esta ubicada al norte de la zona de estudio en donde se observa una superficie tipo radial convergente, ya que las lineas de flujo tienden a converger aguas abajos (al sur de la zona de estudio).

En la zona sur se observa un comportamiento distitnos de las isopiezas, practicamente paralelas, clasificándolas a las superficies piezometrica como superficies planas, ya que tienden a tener una separación constante.

En lo que respecta a la dinámica del acuífero, se observa que la zona de estudio es una zona de transición de flujo, no habiendo zonas de recarga ni de descarga.

Mapa Piezométrico Octubre 2016

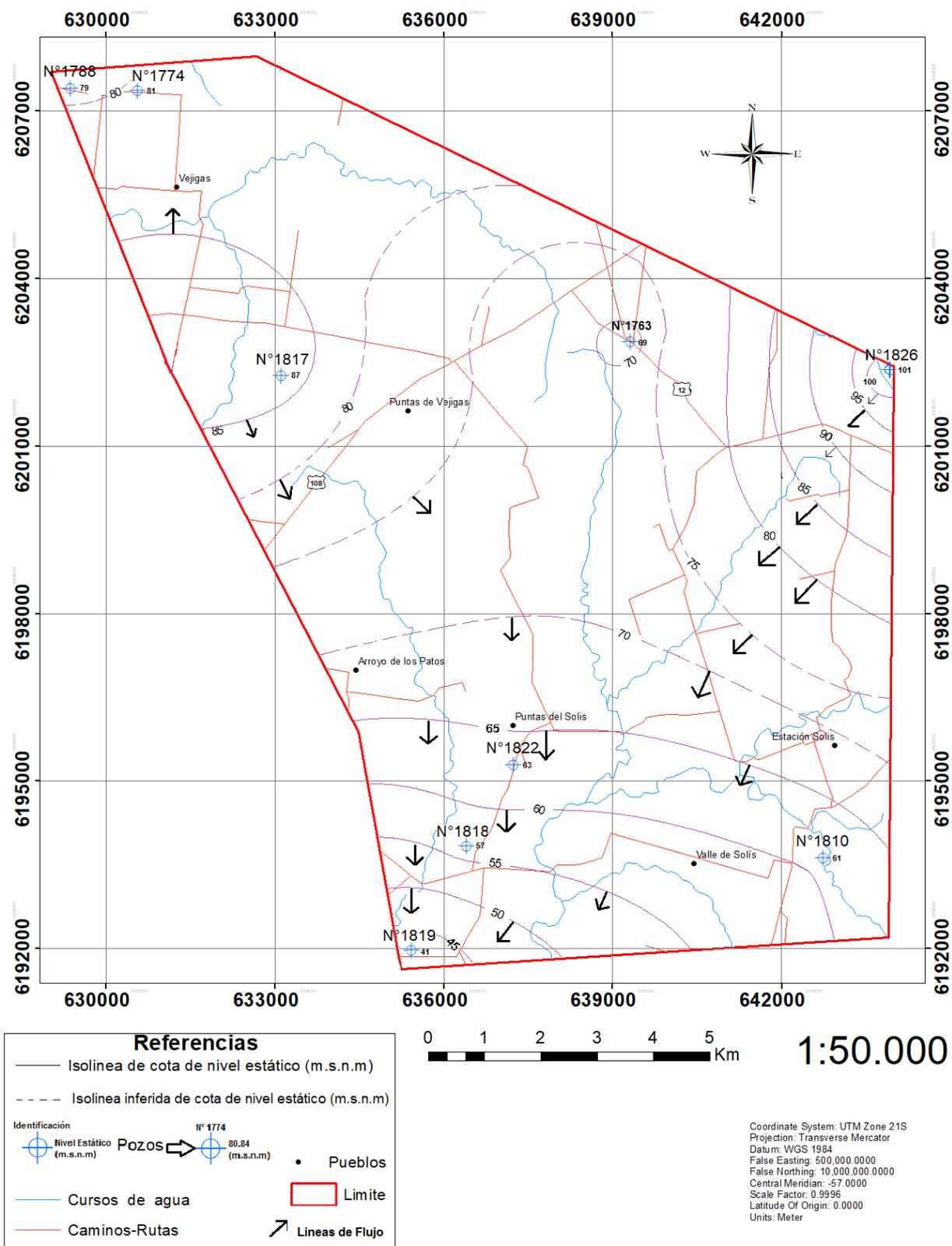


Figura 44. Mapa Piezométrico correspondiente a Octubre del 2016. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Piezometría Julio 2017

Para la campaña de julio 2017, no se observa ningún cambio en el tipo de superficies piezométricas con respecto a la campaña 2016. Indicando muy poca variación en la dinámica del acuífero.

Mapa Piezométrico Julio 2017

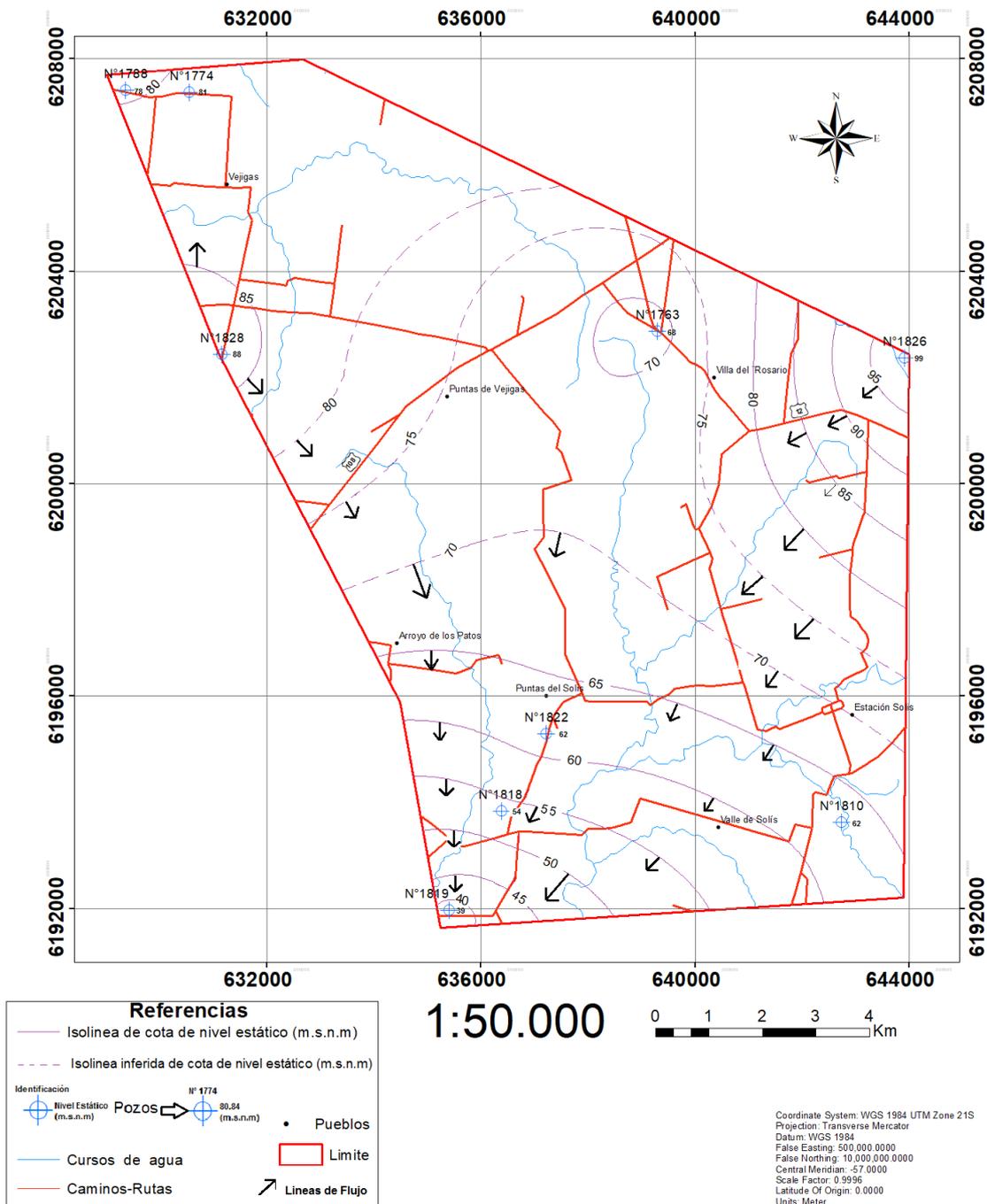


Figura 45. Mapa de Nivel Piezométrico correspondiente a Julio del 2017. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Diferencia de Nivel Estático

Del análisis de la piezometría en 2016 y 2017 se observa que prácticamente en toda la zona de estudio tenemos un descenso de los niveles, no superando los 3.5m y siendo el mayor rango entre los 0.3 y 2.3m de descenso (Figura 44). En todo los pozos medidos se observó un descenso salvo en el pozo N°1810 se observa una recuperación de nivel. Estas variaciones no requerirían especial atención ya que dichos descensos pueden estar dados por la propia fluctuación del acuífero, o variaciones en la precipitación, evapotranspiración y el uso del pozo. A partir de la gráfica de precipitación anual de las estaciones pluviométricas Solís y Villa del Rosario (Figura 46), se observa que en el año 2016 hubo más precipitaciones que en el 2017, pudiendo explicar a los descensos de niveles estáticos ya mencionados, por la menor recarga debido a la menor precipitación relativa.

Diferencia de Nivel Estático Octubre 2016-Julio 2017

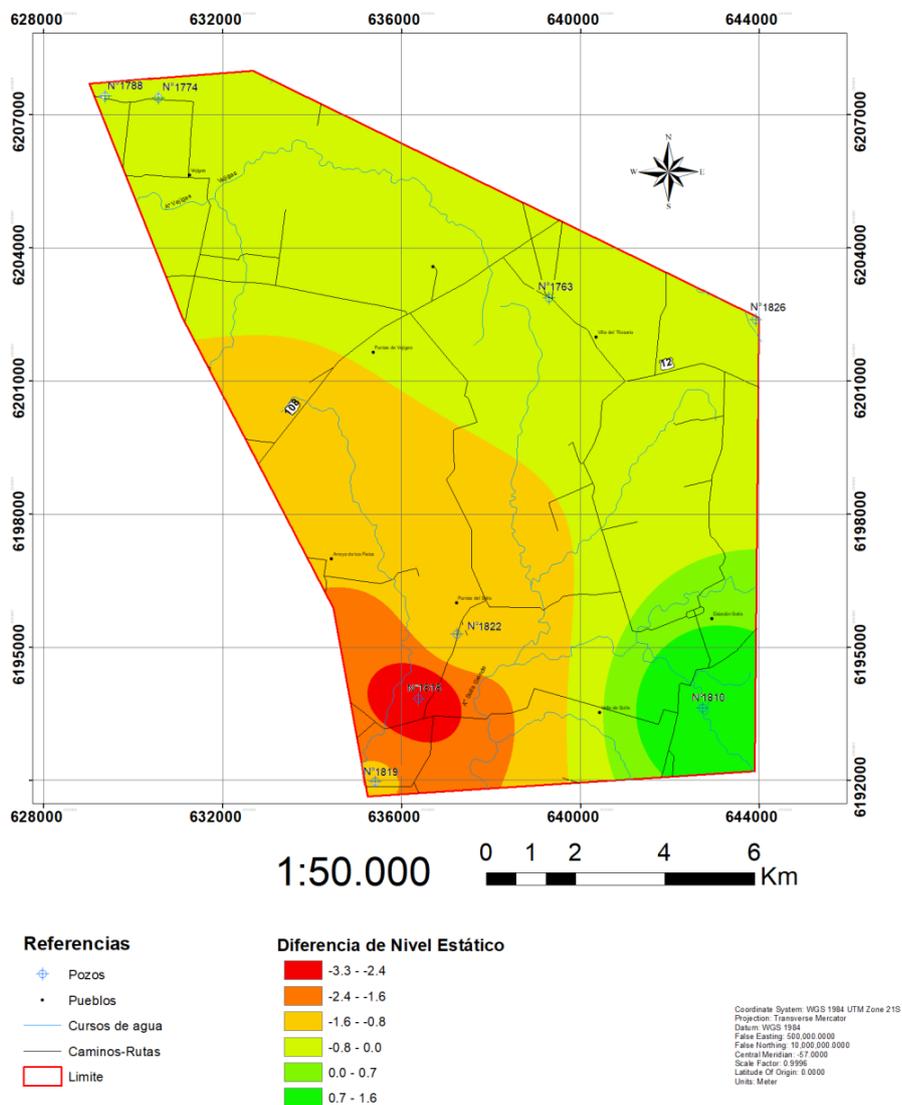


Figura 46. Mapa de diferencia de niveles estáticos para el periodo entre Octubre de 2016 y Julio de 2017. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

9.2.3 Parámetros Hidráulicos

Se determinó la porosidad eficaz y la conductividad hidráulica a través del análisis granulométrico presentado en el capítulo 6, de tablas y de la fórmula de Hazen.

Porosidad eficaz

Se realizó el análisis granulométrico de los intervalos permeables de 7 pozos que captan agua de la unidad acuífera Migués y en todo los casos se los comparo con la tabla de porosidades de Custodio y Lamas (1983) (Figura 33).

N°1826: De acuerdo al resultado del análisis granulométrico, la fracción dominante es Arena muy gruesa, teniendo una fracción secundaria de grava fina y una mal selección a pobre selección. De acuerdo a este resultado se estimó una porosidad eficaz (%) de 22.5.

N°1832: De acuerdo al resultado del análisis granulométrico, la fracción dominante es Arena muy gruesa, teniendo una fracción secundaria de grava fina y una selección pobre. De acuerdo a este resultado se estimó una porosidad eficaz (%) de 25.

N°1828. De acuerdo al resultado del análisis granulométrico, la fracción dominante es Arena muy gruesa, teniendo una fracción secundaria de grava fina y un mal seleccionado. De acuerdo a este resultado se estimó una porosidad eficaz de 17.5%.

N°1817. De acuerdo al resultado del análisis granulométrico, la fracción dominante es Arena fina a gruesa, teniendo una fracción secundaria de arena muy gruesa a arena media y una selección pobre a mal seleccionado. De acuerdo a este resultado se estimó una porosidad eficaz de 20.7%.

N°1778. De acuerdo al resultado del análisis granulométrico, la fracción dominante es Arena gruesa, teniendo una fracción secundaria de arena muy gruesa y una selección pobre. De acuerdo a este resultado se estimó una porosidad eficaz de 25.5%.

N°1810. De acuerdo al resultado del análisis granulométrico, la fracción dominante es Arena fina teniendo una fracción secundaria de arena media y una selección pobre. De acuerdo a este resultado se estimó una porosidad eficaz de 21%.

N° 1819. De acuerdo al resultado del análisis granulométrico, la fracción dominante es Arena media teniendo una fracción secundaria de arena gruesa y una selección pobre. De acuerdo a este resultado se estimó una porosidad eficaz de 21%.

A partir de los resultados presentados anteriormente, se obtiene una porosidad eficaz media de 21.8%.

Conductividad hidráulica (K)

A partir de la formula $K_0 = 8.64 C d_{10}^2$, se estimó una conductividad hidráulica de 1382 m/día, considerando un valor de $C = 40$ (Figura 37). y d_{10} de 2mm a partir del análisis granulométrico (Capítulo 8).

El otro método que se utilizo fue el de Kasenow (2002), a partir de la formula $K = 311 \cdot d_{20}$, donde d_{20} es 1.5mm a partir del análisis granulométrico (Capítulo 8), dando un valor de 466.5m/d. Siendo este último el que más se ajusta con la realidad del acuífero.

10 Hidrogeoquímica

10.1 Marco Teórico

El conocer los distintos componentes disueltos en las aguas subterráneas nos permite caracterizar y diferenciar las aguas subterráneas unas de otras y evaluar su calidad.

Los procesos y factores que influyen en la evolución de la calidad del agua subterránea pueden ser tanto intrínsecos o extrínsecos al acuífero. Tiende a aumentar la concentraciones de sustancias disueltas a medida que se aumenta su recorrido en los diferentes acuíferos, además de los factores externos como lo es el clima, la composición del agua de recarga, el tiempo en contacto del agua y la actividad humana.

10.1.1 Características de la Calidad del Agua

Características Físicas

Las características físicas son: temperatura, color, olor, sabor, turbidez, sólidos en suspensión, conductividad eléctrica y salinidad.

Temperatura: Es poco variable y responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas, en cuanto a la profundidad la temperatura va aumentando 1°C cada 30m en promedio debido al gradiente geotérmico. En relación a la calidad de agua es importante por acelerar las reacciones químicas y reducir la solubilidad de los gases.

Conductividad eléctrica: Es uno de los parámetros físicos más importantes, ya que nos permite saber la facilidad del agua para conducir la corriente eléctrica, su valor va aumentando con el contenido de sales disueltas en forma de iones. En las aguas subterráneas los valores rondan entre el orden de 10^{-6} mhos/cm, (mhos/cm a 25°C).

Turbidez: Es la dificultad del agua para transmitir la luz, provocada por los sólidos en suspensión, (limos, arcillas, arenas finas, materia orgánica, etc) es medido a través de un turbidímetro y nos dan valores en NTU.

Características Químicas

Las características químicas son el pH que es la medida de la concentración de hidrogeniones del agua. Están controladas por las reacciones químicas y por el equilibrio entre los iones presentes. Los valores en las aguas subterráneas varían entre 6.5 y 8.5.

Los iones principales presentes en el agua subterránea son:

Aniones: Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{-2}), Bicarbonato (HCO_3^-), Carbonato (CO_3^{-2}), Nitrato (NO_3^-).

Cationes: Sodio (Na^+), Potasio (K^+), Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}).

También encontramos a constituyentes iónicos secundarios que se encuentran en concentraciones menores a 1% en relación con los principales, Boro (B^{+3}); Bromuro (Br^-); Fosfato (PO_4^{-3}). Manganeseo (Mn^{+2}); Sílice (Si^{+4}); Zircón (Zr^{+2}); Cobre (Cu^+); Hierro (Fe^{+2}).

10.1.2 Clasificación del Tipo de agua

Para la clasificación del tipo de agua se utilizaran diagramas que representan la distribución de los aniones y cationes principales del agua. Los diagramas a utilizar son de Stiff, Piper y Schöeller-Berkaloff.

Diagrama de Stiff

Consiste en 3 rectas paralelas equidistantes (Figura 47), cada una dividida en dos segmentos por una perpendicular indicando de un lado los aniones y otro los cationes. La longitud es proporcional a la concentración en meq/L.

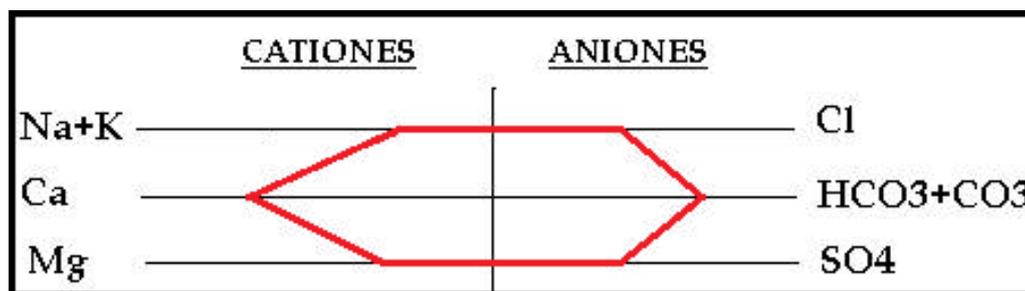


Figura 47. Imagen del diagrama de Stiff.

Diagrama de Piper

Es un diagrama triangular que se utiliza para representar la proporción de tres componentes en la composición de una sustancia, los tres componentes deben representar el 100% de lo que se considera, entonces el diagrama de Piper utiliza un triángulo para los cationes principales y otro para los aniones principales (Figura 48). Además tiene un rombo que recoge la información de ambos triángulos donde se puede clasificar a las aguas según sus iones (bicarbonatada, sulfatada, sódica, etc.)

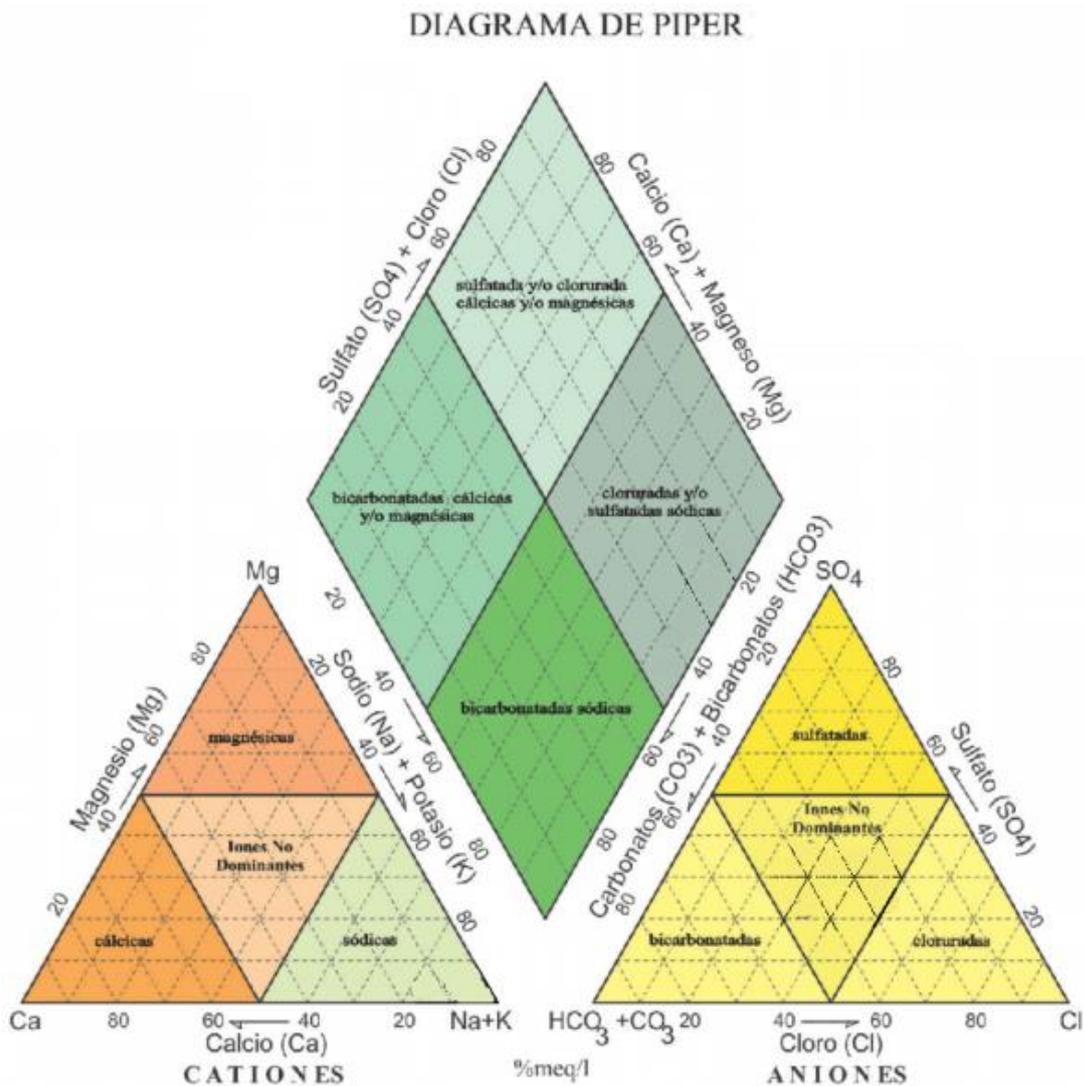


Figura 48. Imagen del diagrama de Piper.

El diagrama de Schöeller-Berkaloff.

Permite visualizar fácilmente mezclas de aguas (Figura 47), que aparecen como líneas intermedias entre las aguas de origen, además visualizan las disminuciones o aumentos en un determinado compuesto.

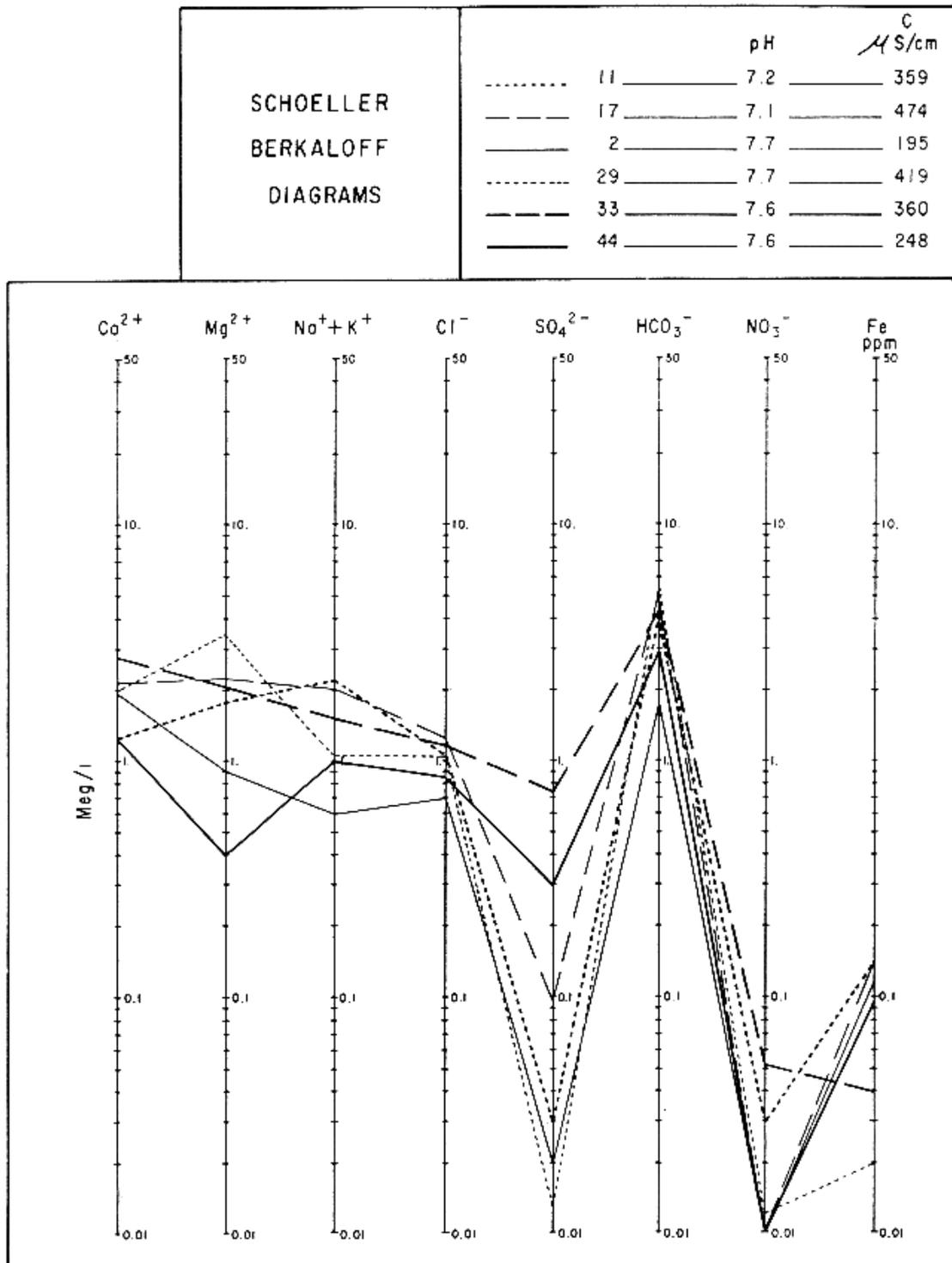


Figura 49. Imagen del diagrama de Schöeller Berkaloff.

Agua subterránea destinada al riego

La disposición del agua subterránea para la actividad agrícola varía. De manera general y para determinar la aptitud del agua para el riego se utiliza el diagrama de U.S Laboratory Staff (1954). (Figura 50), que relaciona el índice SAR concentración relativa de sodio con respecto al calcio y magnesio y la conductividad eléctrica en mmhos/cm a 25°C del agua. Entonces la relación de absorción de sodio (RAS o SAR) es un parámetro que refleja la influencia del ion sodio (Na⁻), sobre las propiedades del suelo, basándose en una fórmula que relaciona los contenidos de los cationes sodio magnesio y calcio, expresando el porcentaje de sodio intercambiable en el suelo en situación de equilibrio.

$$RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

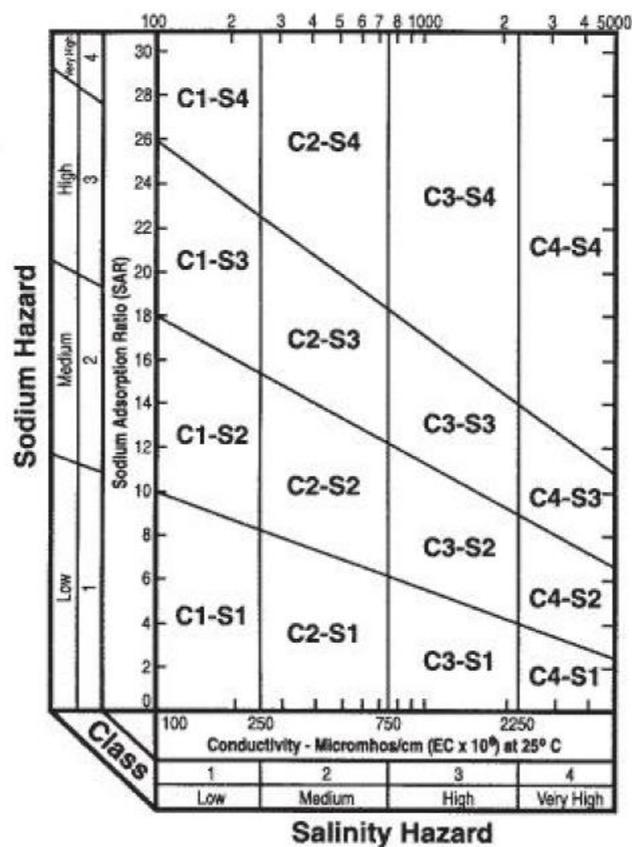


Figura 50. Diagrama para clasificar las aguas de riego. U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).

El diagrama del (SAR) (Figura 48), está representado en 16 campos, donde en el eje x está representado por la conductividad eléctrica dividiéndose en (bajo, medio, alto y muy alto) y el eje y correspondiente al índice SAR dividiéndose de igual forma. Conformando así una tabla de 16 campos correspondientes a la clase de agua según el diagrama del SAR. (Tabla 9).

C1 Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Inconvenientes en suelos de muy baja permeabilidad.
C2 Agua de salinidad media, apta para el riego. Cultivos tolerantes a la salinidad.
C3 Agua de salinidad alta, puede utilizarse en suelos con buen drenaje. Cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C4 Agua de salinidad muy alta, que en muchos casos no es apta para el riego. Solo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje.
S1 Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos.
S2 Agua con contenido medio en sodio, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo (especialmente en los de textura fina) y de baja permeabilidad.
S3 Agua con contenido alto en sodio, con alto peligro de acumulación de sodio en el suelo
S4 Agua con contenido muy alto en sodio, no se aconseja para el riego en general

Tabla 9. Clase de agua correspondiente al diagrama de SAR.

10.2 Hidrogeoquímica del Área

Para caracterizar el agua subterránea de la unidad acuífera Migues de la zona de estudio, se realizaron dos campañas, en años consecutivos octubre de 2016 y julio de 2017. La segunda campaña realizada en el año 2017 se debió a la realización a las nuevas perforaciones por parte de DINAMIGE.

En el campo se midieron parámetros físico-químicos como pH, temperatura conductividad eléctrica y turbidez. Asimismo se tomaron muestras de agua para llevar al laboratorio y poder realizar los análisis químicos correspondientes. (Figura 51 A y B). De los resultados de campo y laboratorio se realizaron las interpretaciones que se desarrollan a continuación.

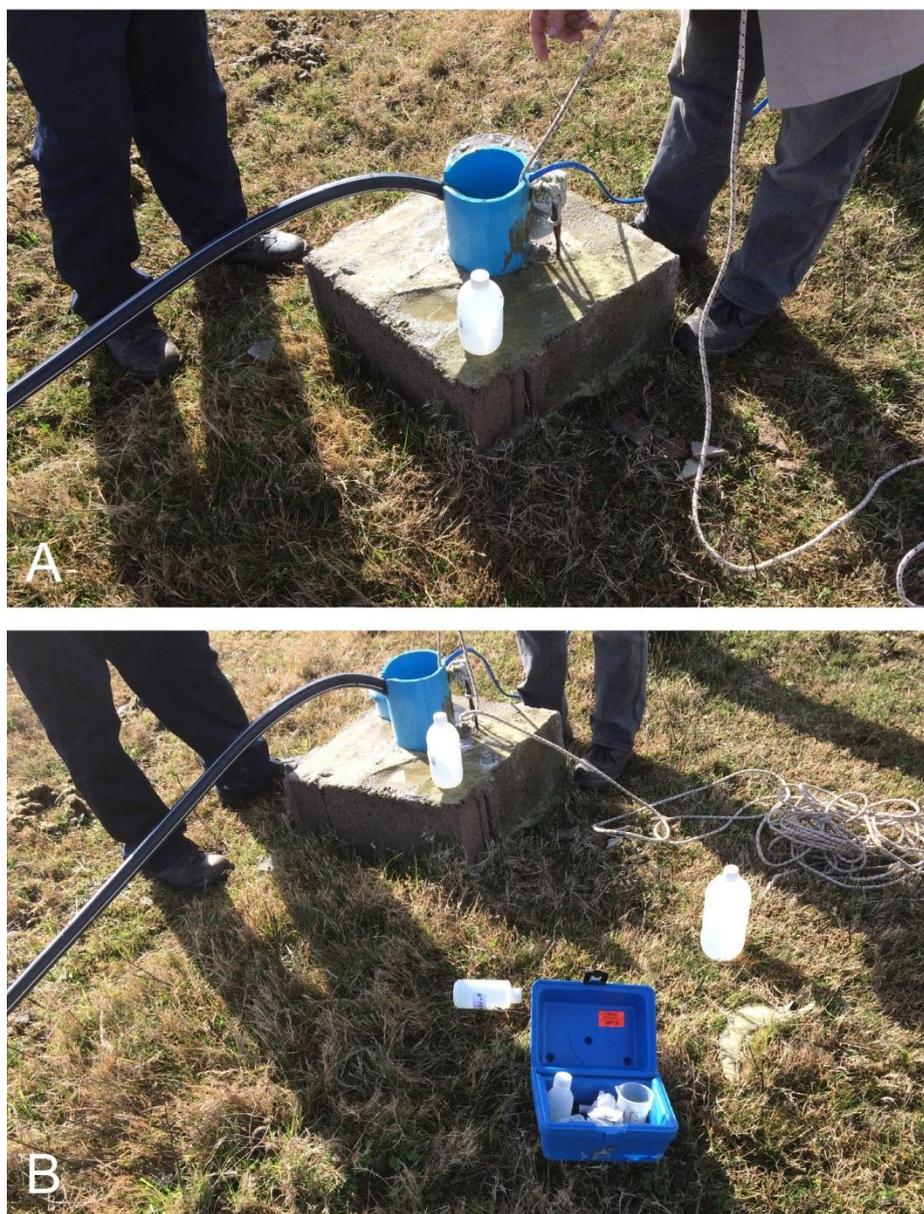


Figura 51: A y B. Muestreo para análisis de parámetros físico-químicos in situ y para laboratorio.

10.2.1 Parámetros Físico-químicos

Temperatura

A partir de las medidas de temperatura en campo y del análisis estadístico, surge que la temperatura media del agua subterránea es de 17,4°C, el valor mínimo es de 14,4°C en el pozo N° 1774 y el valor máximo de 19,25°C en el pozo N° 1826. Todos estos valores son consistentes con el rango normal de temperatura del agua subterránea. (Tabla 10).

A continuación se muestra la figura de temperatura de agua subterránea de la unidad acuífera principal, donde se pueden observar los máximos y mínimos. Se interpreta que las temperaturas más bajas coinciden con un comportamiento de semi confinamiento de la unidad acuífera principal, y las más altas en general con el comportamiento libre del acuífero principal. (Figura 52).

Nº Pozo	Coordenada UTM (X)	Coordenada UTM (Y)	Temperatura (°C)
1763	639306	6202864	15,2
1764	635252	6201997	16,2
1774	630554	6207369	14,4
1788	629366	6207403	17,6
1810	642744	6193612	17,6
1817	633100	6202249	17,1
1818	636395	6193829	18,2
1819	635417	6191963	18,9
1822	637233	6195277	18,6
1826	643927	6202366	19,25
1828	631163	6202427	19,4
1832	631318	6203739	16,7

Tabla 10. Tabla de datos de Temperatura en °C de los diferentes sondeos. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Mapa de Temperatura °C

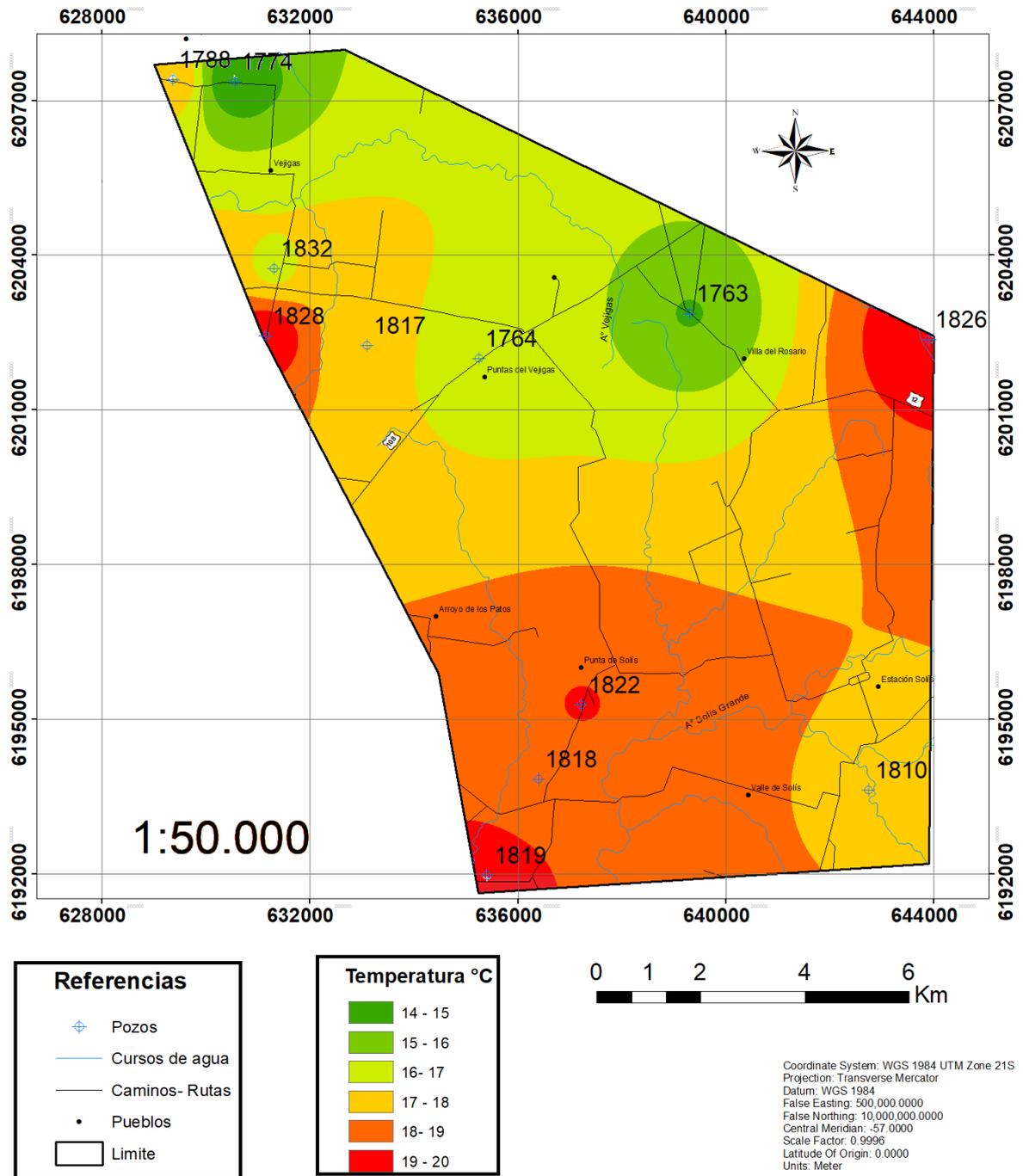


Figura 52. Mapa de Temperatura en °C. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Conductividad Eléctrica

A partir de las medidas in situ y el análisis estadístico, surge que la conductividad media del agua subterránea es de 941 $\mu\text{s}/\text{cm}$, teniendo un valor mínimo de 436 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en el pozo N°1774 y un valor máximo de 1467 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en el pozo N° 1763. Todas las muestras están por debajo del valor máximo permitido (VMP), de calidad del agua potable según la norma UNIT 883: 2008. Siendo este valor de 1600 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Tabla 11).

Nº POZO	Coordenada UTM (x)	Coordenada UTM (y)	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
1763	639306	6202864	1467
1764	635252	6201997	1062
1774	630554	6207369	436
1788	629366	6207403	722
1810	642744	6193612	790
1817	633100	6202249	727
1818	636395	6193829	858
1819	635417	6191963	1109
1822	637233	6195277	577
1826	643927	6202366	1130
1832	631318	6203739	1353

Tabla 11. Tabla de datos de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) de los diferentes sondeos. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

A continuación se presenta el mapa de conductividad eléctrica correspondiente a las aguas subterráneas de la zona de estudio, en donde se observan todos los valores mencionados. Se interpreta que los valores de conductividad eléctrica más alta coinciden con el comportamiento semi-confinado de la unidad acuífera principal. (Figura 53).

Conductividad Eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

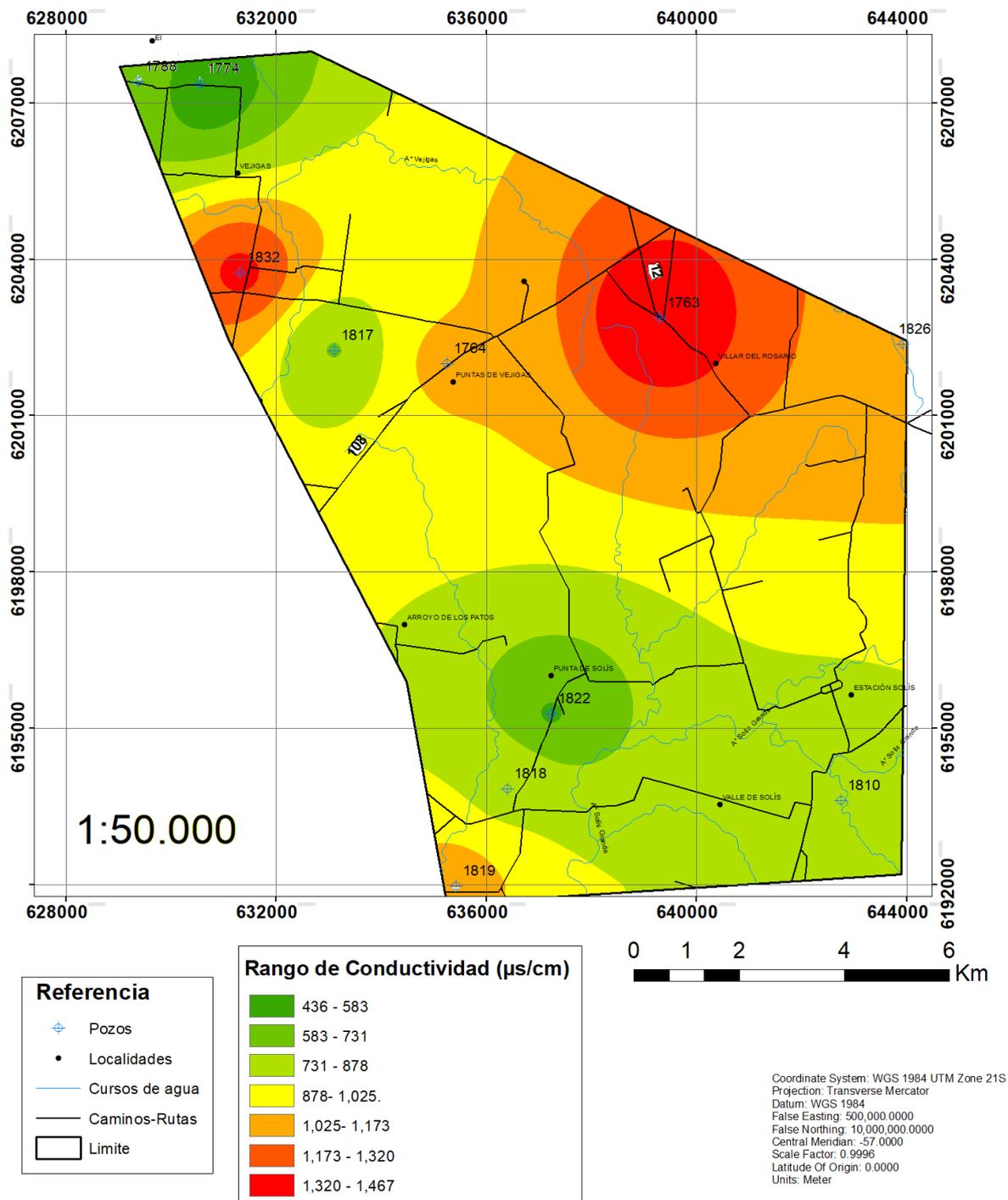


Figura 53. Mapa de Conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$). Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

pH

A partir de las medidas en campo y el análisis estadístico, surge que el valor medio del pH es de 7.6, teniendo un valor mínimo de 7.3 en el pozo N° 1818 y un valor máximo de 8.2 en el pozo N° 1828. Todos los valores entran en el rango de calidad del agua potable según la norma UNIT 883: 2008. Siendo este valor de 8.5. (Tabla 12).

A continuación se presenta el mapa de pH correspondientes a las aguas subterráneas de la unidad acuífera principal, en donde se observa que todos los valores se encuentran en el rango de las aguas subterráneas. (Figura 54).

Nº POZO	Coordenada UTM (X)	Coordenada UTM (Y)	pH
1763	639306	6202864	7,62
1764	635252	6201997	7,55
1774	630554	6207369	7,67
1788	629366	6207403	7,8
1810	642744	6193612	7,43
1817	633100	6202249	7,68
1818	636395	6193829	7,31
1819	635417	6191963	7,75
1822	637233	6195277	7,43
1826	643927	6202366	7,57
1828	631163	6202427	8,32
1832	631318	6203739	7,61

Tabla 12. Tabla de datos de pH de los diferentes sondeos. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

pH

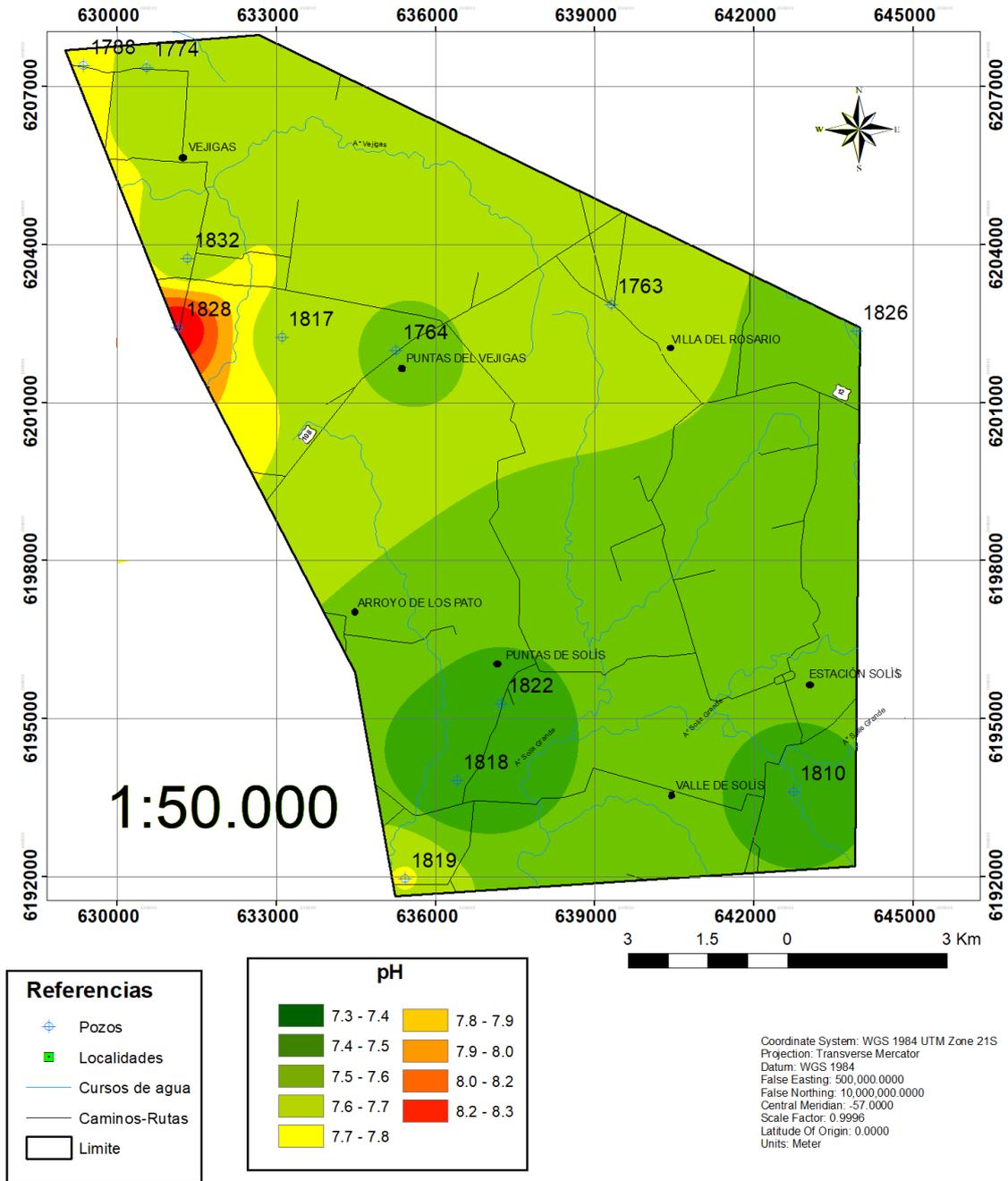


Figura 54. Mapa de pH. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Turbidez

A partir de las medidas en campo y el análisis estadístico, surge que el valor medio de turbidez de 12.7NTU, teniendo un valor mínimo de 2.61NTU en el pozo N° 1774 y un valor máximo de 46.2NTU en el pozo N° 1828. Siendo valores frecuentes para aguas subterráneas. (Tabla 13).

A continuación se presenta el mapa de turbidez correspondiente a las aguas subterráneas de la unidad acuífera principal, en donde se observa que todos los valores se encuentran en el rango de las aguas subterráneas. (Figura 55).

Nº POZO	Turbidez	Coordenada UTM (X)	Coordenada UTM (Y)
1763	3,19	639306	6202864
1764	2,61	635252	6201997
1774	2,88	630554	6207369
1810	4,18	642744	6193612
1818	16,1	636395	6193829
1819	13,5	635417	6191963
1822	15,8	637233	6195277
1826	10,4	643927	6202366
1828	46,2	631163	6202427

Tabla 13. Tabla de datos de Turbidez de los diferentes sondeos. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Turbidez

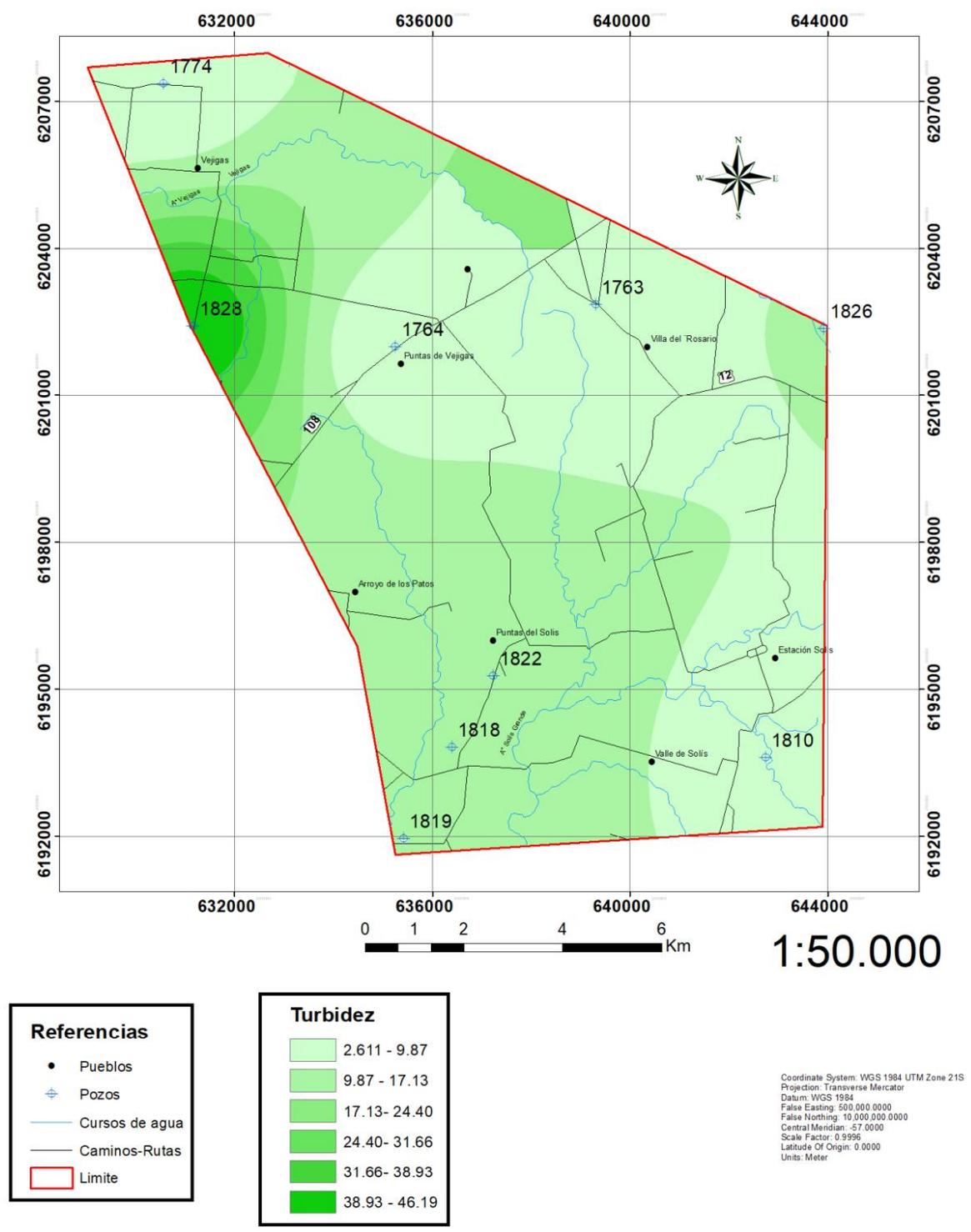


Figura 55. Mapa de Turbidez. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

10.2.2 Parámetros Químicos

Iones Principales

Se presentan a continuación el análisis y la interpretación de los resultados de los análisis químicos (Anexo VI) aportados por el laboratorio de Tecnogestión de Dinamige, de acuerdo a las dos campañas realizadas y mencionadas anteriormente se realizó una ponderación entre ellas.

Se detallan a continuación cada ion principal.

Cloruros (Cl⁻)

Habiendo analizado los resultados del laboratorio se determinó una concentración media del cloruro de 35mg/L, con un valor máximo de 91mg/L en el pozo N°1763 y un valor mínimo menor a 5mg/L en el pozo N°1828. Todas las muestras están por debajo del valor máximo permitido (VMP), de calidad del agua potable según la norma UNIT 883: 2008, siendo este valor de 250mg/l.

Calcio (Ca⁺²)

Con respecto a la concentración de calcio surge un valor medio de 120mg/L. El valor máximo de 206mg/l se encontró en el pozo N°1822 y el valor mínimo de 48mg/L en el pozo N° 1828. Siendo valores frecuentes para aguas subterráneas. Todas las muestras están por debajo del valor máximo permitido (VMP), de calidad del agua potable según la norma UNIT 883: 2008, siendo este valor de 300mg/l.

Potasio (K⁺)

Del análisis estadístico surge que la concentración media del potasio es de 3.1mg/L, con un valor máximo de 11.6mg/L en el pozo N° 1822 y un valor mínimo en el pozo 1810 de 1.4mg/L, siendo valores frecuentes para aguas subterráneas, encontrándose en pequeñas cantidades no siendo perjudicial para la salud humana.

Magnesio (Mg⁺²)

Con respecto a la concentración de este elemento se encuentra un valor medio de 18.5mg/L, teniendo un valor máximo de 39mg/L en el pozo N° 1818, y un valor mínimo de 8.8mg/L en el pozo N°1828, siendo valores frecuentes para aguas subterráneas, encontrándose en pequeñas cantidades no siendo perjudicial para la salud humana.

Bicarbonato (HCO₃⁻)

Se realizó a partir de los datos de alcalinidad, dando una concentración media del bicarbonato de 547.48 mg/L, un valor mínimo de 254,48mg/L en el pozo N°1774 y un valor máximo de 712.48mg/L en el pozo N°1826. Siendo los valores máximos de 2000 mg/L.

Sulfato (SO_4^{2-})

Con respecto a la concentración media dio un valor de 33mg/L, con un valor máximo de 128mg/L en el pozo N°1763, y un valor mínimo en el pozo N°1828 con una concentración menor a 10mg/L. Siendo el valor máximo permitido de 400mg/L según la norma UNIT 883: 2008.

El valor máximo de sulfato puede estar dado por la contaminación de una cámara séptica cercana al pozo de extracción, o uso de pesticidas y fertilizantes.

Nitratos (NO_3^-):

Del análisis se desprende una concentración media de nitratos de 15mg/L, con un valor máximo de 25mg/L en el pozo N°1763, y un valor mínimo a 10mg/L en los pozos N° (1817-1819-1826). Todas las muestras están por debajo del VMP de calidad del agua potable según la norma UNIT 883: 2008 Siendo este valor de 50mg/L.

Nitritos (NO_2^-)

Del análisis estadístico surge que todos los pozos tienen una concentración menor a 0.08mg/L. Todas las muestras están por debajo del valor máximo permitido (VMP) de calidad del agua potable según la norma UNIT 883:2008. Siendo este valor de 3mg/L.

Sodio (Na^+)

Las muestras analizadas en el laboratorio presentan una concentración media del sodio de 140mg/L, teniendo un valor máximo de 234mg/L en el pozo N°1826, y un valor mínimo de 29mg/L en el pozo 1822.

El valor máximo que arrojó el pozo N°1826 la muestra analizada supera los valores de calidad de agua potable según la norma UNIT 883:2008, siendo el (VMP) de 200mg/L.

10.2.3 Clasificación del tipo de agua

Diagrama de Piper

Se presentan los resultados del diagrama triangular de Piper, (Figura 56), en donde se interpreta que hay un intercambio iónico entre el Calcio y Sodio en lo que respecta a los cationes, y en los aniones se interpreta una ligera pérdida de concentración del HCO_3^- , ganando en concentración el SO_4^{2-} . Estas dos observaciones coinciden prácticamente con la evolución normal de las aguas subterráneas.

Se clasifican a las aguas subterráneas de la zona de estudio en dos clases:

Aguas Bicarbonatadas Cálcicas correspondientes a los pozos N° (1810-1818 y 1822).

Aguas Bicarbonatadas Sódicas en los pozos N° (1763- 1764- 1774- 1788- 1819 y 1826).

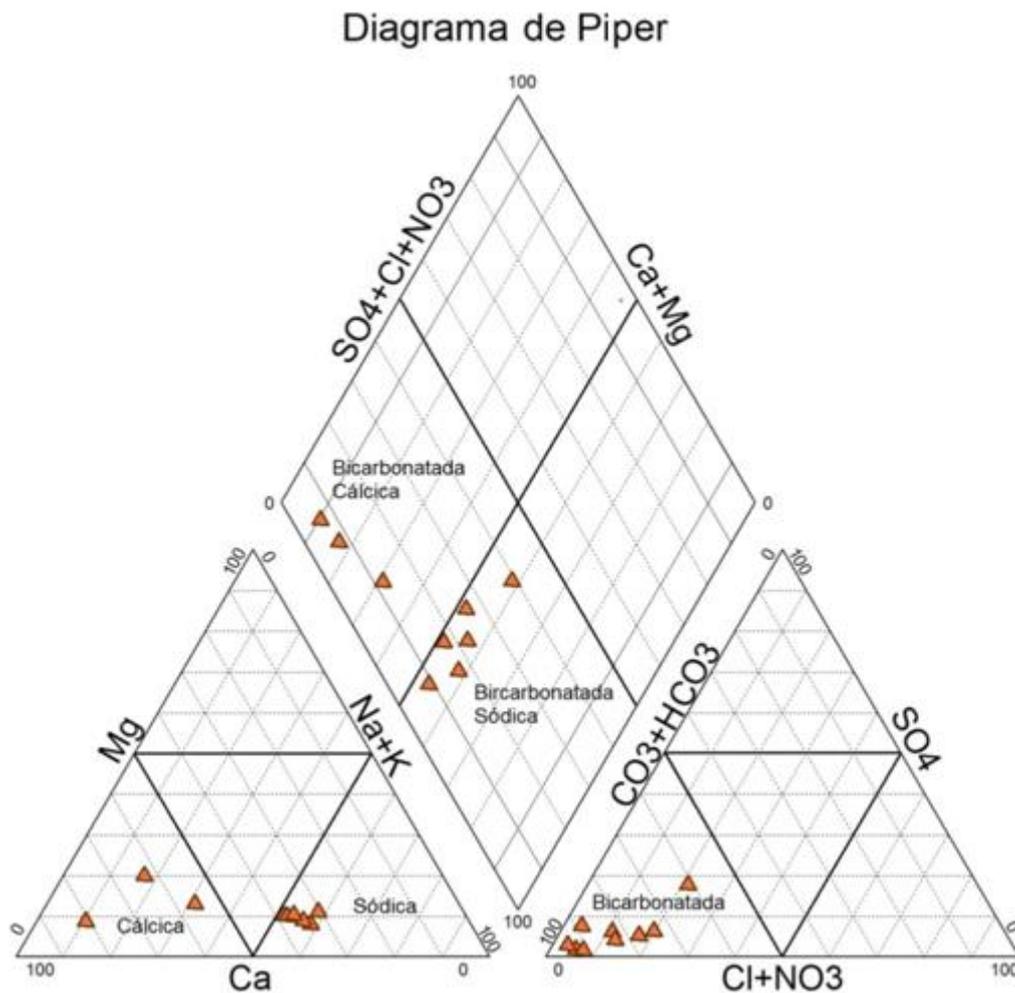


Figura 56. Diagrama de Piper correspondiente a la unidad acuífera Migues. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Diagrama de Stiff

A partir de los diagramas de Stiff de cada pozo, se realizó un mapa hidrogeoquímico para conocer la distribución de las aguas en la zona de estudio. Se observa que las aguas bicarbonatadas sódicas se encuentran en el norte del área principalmente, coincidiendo con el comportamiento semiconfinados del acuífero, debido que hay un intercambio catiónico entre la formación confinante y el acuífero es que tenemos este tipo de aguas.

La otra muestra de pozo que dio el mismo tipo de agua se encuentra en el sur de la zona del área de estudio, se interpreta que hay un intercambio catiónico debido a las a los granitos que hay en los alrededores.

En cambio las aguas bicarbonatadas cálcicas se encuentran en la zona centro sur del área, coincidiendo con el comportamiento libre del acuífero, lo que indicaría que son aguas más jóvenes y no hubo intercambio catiónico. (Figura 57).

MAPA HIDROGEOQUÍMICO

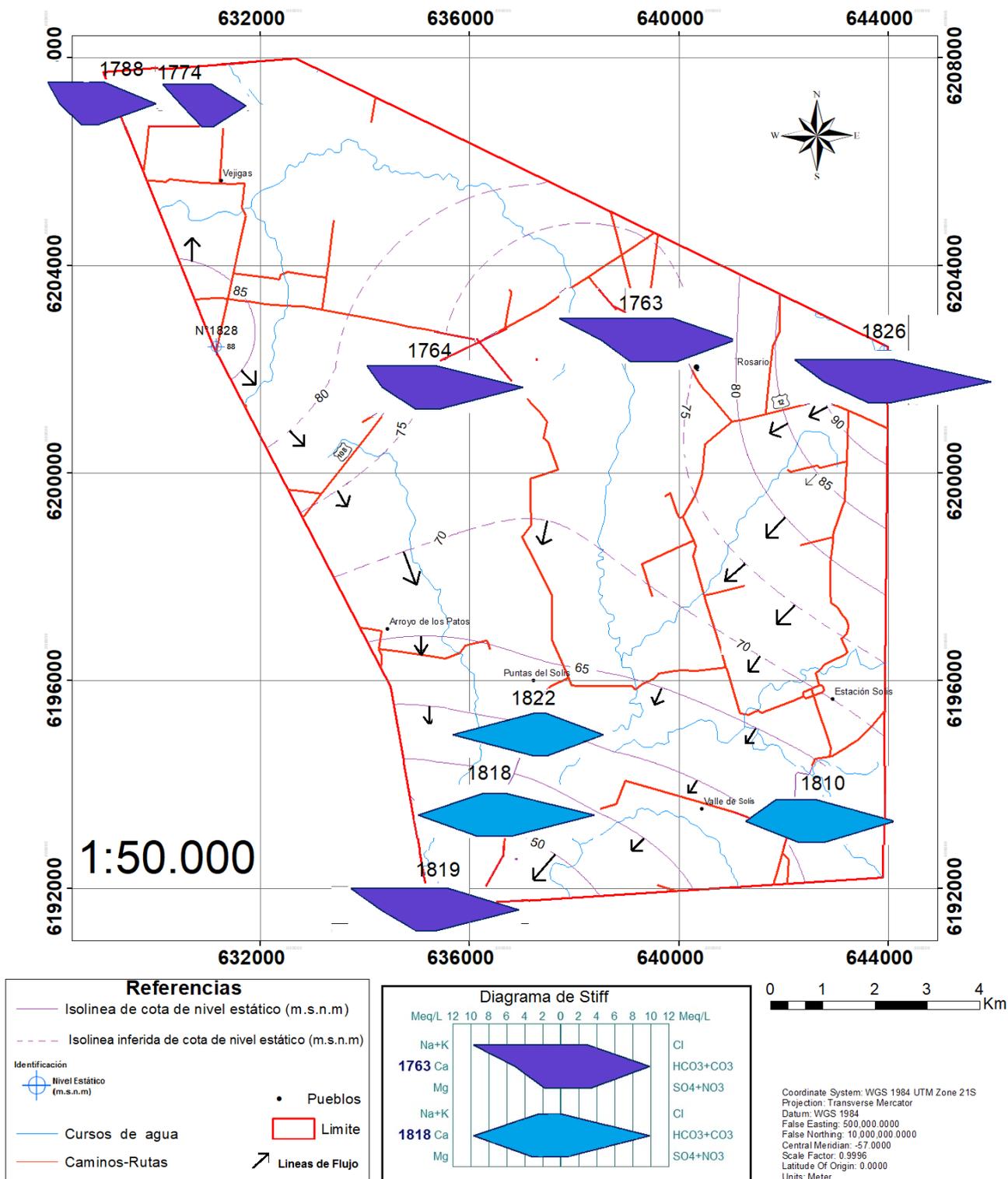


Figura 57. Mapa Hidrogeoquímico a partir de los diagramas de Stiff. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Diagrama de Schöeller-Berkaloff

A partir del diagrama logaritmico de Schöeller-Berkaloff, se observa que hay una reducción del Cl⁻ y SO₄⁻, y un aumento en paralelo del HCO₃⁻ en todas las muestras analizadas, interpretando que las aguas son jóvenes, observándose dos sub grupos indicados por el SO₄⁻ en los que respecta a los pozos N°(1810-1788-1819 y 1764) y N°(1822-1818-1774 y 1826).

Además se identifica que hay una reducción del Mg y un aumento del Na en todas las muestras excepto en el pozo N°1818. (Figura 58).

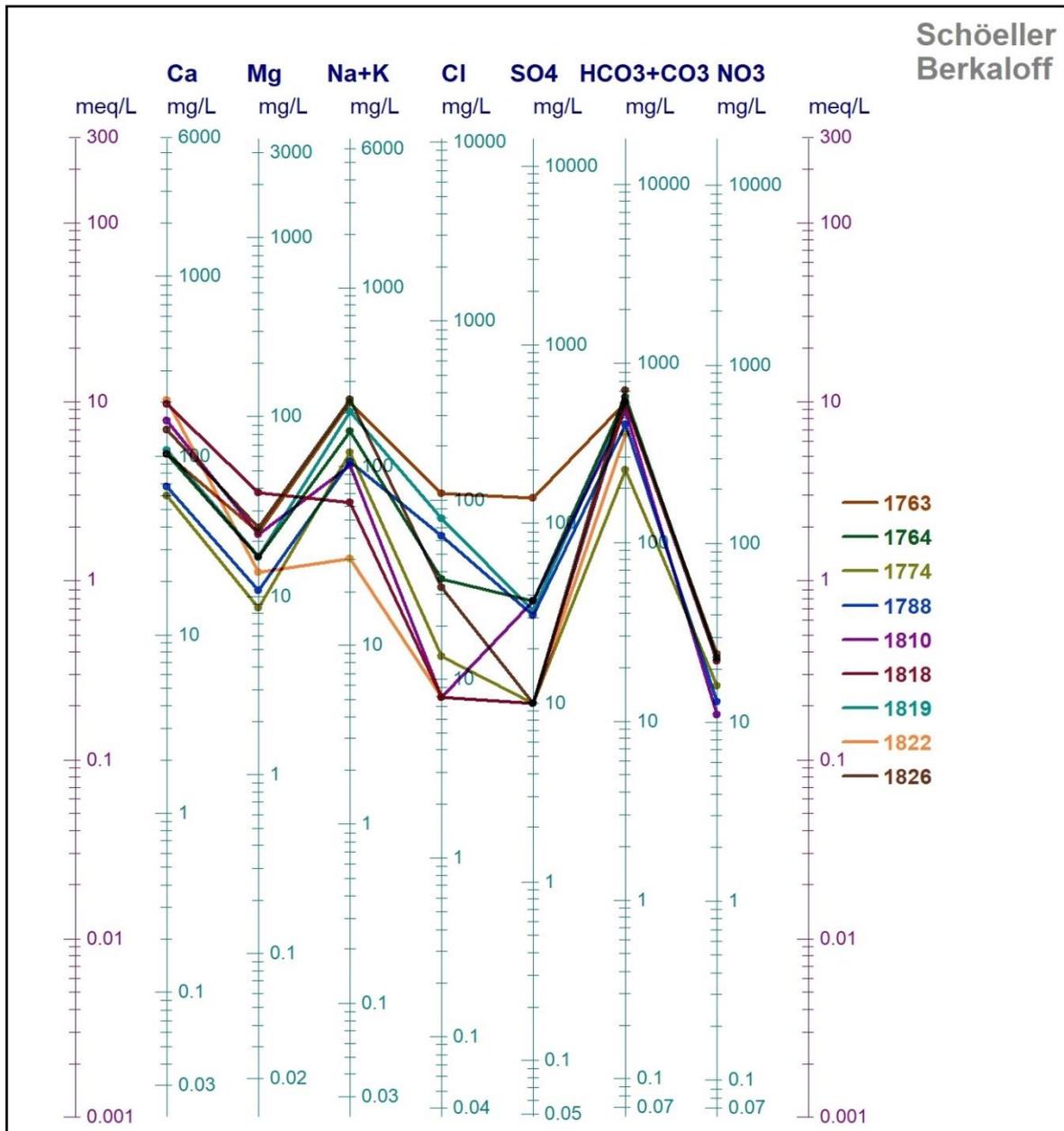


Figura 58. Diagrama de Schöeller-Berkaloff correspondiente a la unidad acuífera Migues. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

8.2.4 Aptitud del Agua para Riego

La zona de estudio está caracterizada por ser de pequeños productores, en donde necesitan el agua subterránea para su producción. Es entonces que se realiza un estudio de aptitud del agua para el riego por el método del RAS (Reducción absorción Sodio).

Los resultados del RAS indican que la mayoría de las muestras analizadas de los diferentes pozos se califican en clases C3-S1, (Figura 45), excepto los pozos N°1826 y N°1763 que se califican en clases C3-S2 y el pozo N° 1822 en la clase C2-S1. (Figura 59). Indicando que las aguas son de salinidad alta a media y con bajo y medio contenido en sodio. Pudiendo utilizarse las aguas para riego en cultivos tolerantes a la salinidad.

A partir del mapa de salinización para la zona de estudio, se interpreta que toda el área tiene un riesgo medio a alto de salinización, provocado por la acción antrópica y/o deberse a ser aguas someras. (Figura 60).

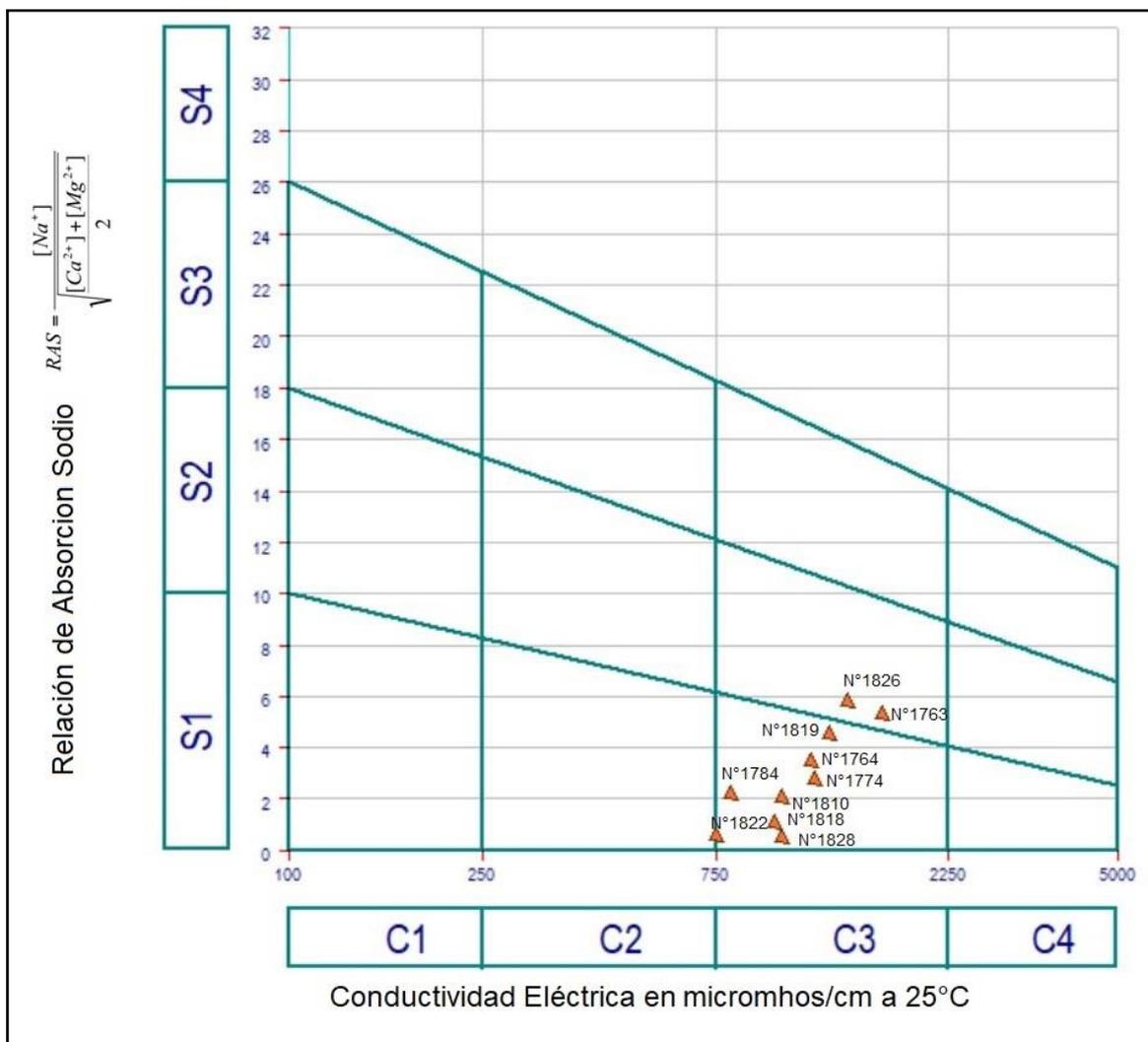


Figura 59. Diagrama para clasificar las aguas de riego. Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

Mapa de Riego de Salinización

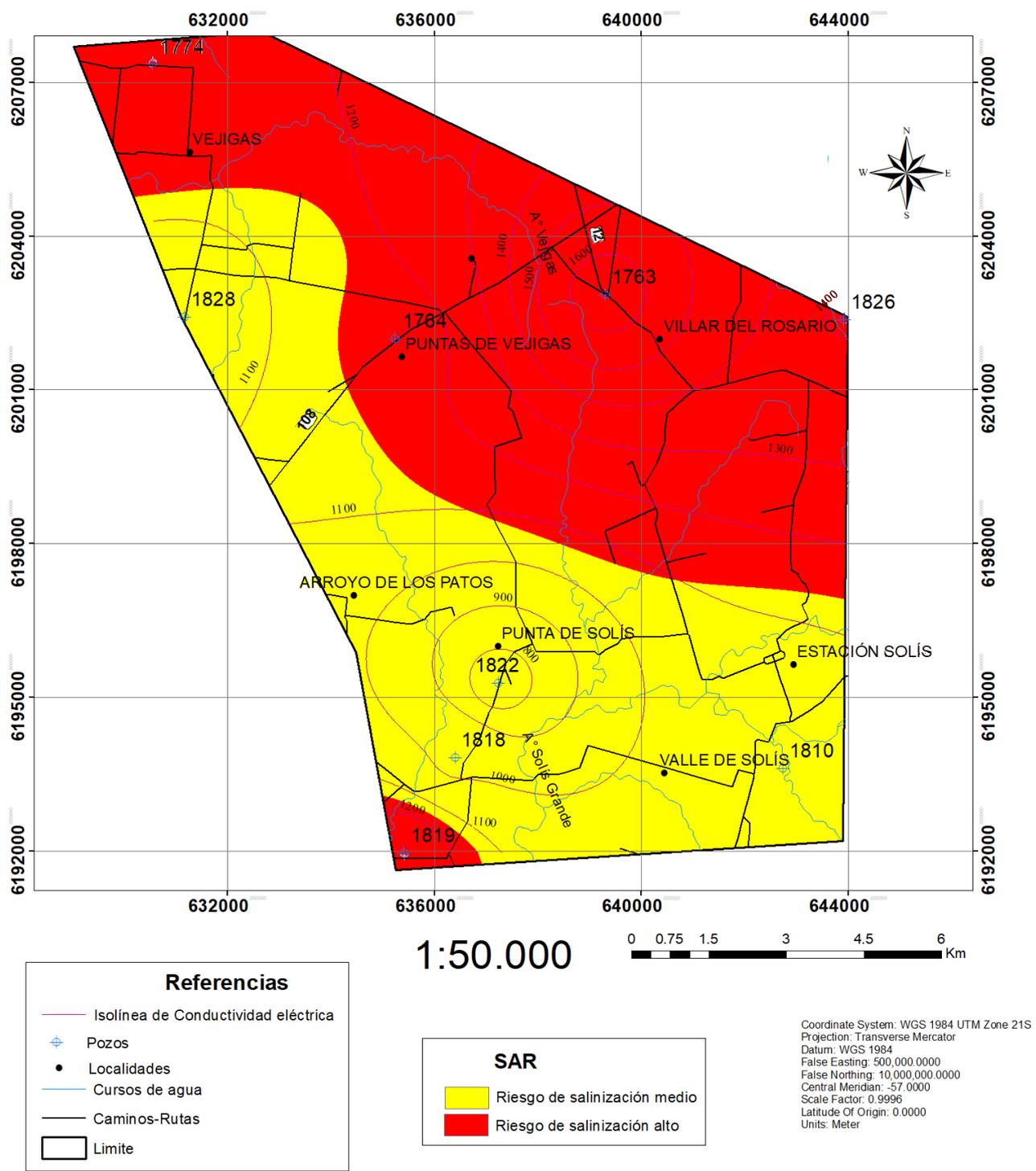


Figura 60. Mapa de Riesgo de Salinización (SAR). Sebastián Pérez Tesis de Grado 2019.

11. Conclusiones

Balance Hídrico

- El balance hídrico edáfico calculado para la unidad acuífera Migues en el periodo de 1994 a 2107, nos muestra que el 58% de las precipitaciones es evapotranspiración y el 42% es excedente, estimando de este un 21% de infiltración y un 21% de escorrentía.

Geología

- A partir de la descripción de campo y el mapa geológico a escala 1:100.000 proporcionado por Spoturno et al. Inédito 2019, se reconocen a las Formaciones Libertad y Migues como las de mayor área, siendo del 39% y 23% respectivamente.
- En cuanto a la descripción de muestras de los diferentes pozos, se identifica a la Formación Migues como la principal del área, encontrándose en los pozos N° (1832,1826, 1822, 1784, 1788, 1819, 1828, 1817, 1810 y 1763.), teniendo un espesor máximo de 46.5m en el pozo N° 1810. Se conforma por ser una arenisca heterogénea rojiza con clastos que varían entre los 0.062mm hasta superando el centímetro, siendo de composición cuarzo feldespática principalmente y de forma angulosa a sub redondeada.
- Se reconoce a los basaltos correspondientes a la Formación Puerto Gómez en el pozo N°1770, entre los 19 y 34m donde se identifica una roca masiva de color gris y material arcilloso de color marrón producto de la alteración de la roca, en el mismo pozo se identifica a su vez a la Formación Cañada Solís, entre los 3 y 19m, correspondiente a sedimentos medios a gruesos cuarzo feldespáticos de color pardo claro a gris, variando el tamaño del cuarzo entre los 0.25mm a 20mm de forma sub angulosa a angulosa y el feldespato de similares tamaños.
- Las ultimas Formaciones que se reconocieron en la descripción de las perforaciones son la Formación Raigón que se encontró en el pozo N°1784 entre los 6 y 9.2m, en donde se observa un sedimento de gran variedad de tamaño desde el limo hasta grava, siendo los clastos principalmente de cuarzo de color blanco alcanzado los 2cm, con forma angulosa a sub angulosa. Por último se reconoció los sedimentos limoso-arcillosos de edad cuaternaria correspondientes a la Formaciones Libertad y Dolores en los pozos N° (1826, 1828, 1784, 1770 y 1763) y N° (1832, y 1817) respectivamente.
- A partir de las descripciones de las perforaciones es que se descartan a los pozos N°1770 y N°1784 para el análisis granulométrico y el estudio químico e hidráulico de la unidad acuífera Migues, ya que las napas de dichas perforaciones corresponden a las Formación Puerto Gómez y Formación Raigón respectivamente.

Análisis Granulométrico

- A partir del análisis granulométrico de las diferentes muestras para la Formación Migueles, muestran que la clase dominante es arena muy gruesa y la clase secundaria es grava fina, teniendo un grado de selección que varía entre mal seleccionado a selección pobre.
La mala selección coincide con la gran variedad de tamaños de clastos que se encuentran en la formación.

Hidrogeología

- Según los datos de niveles estático se observa que el rango de profundidad de los pozos varían entre los 20 y 50m de profundidad, siendo el pozo N°1763 con una profundidad máxima de 50m y el pozo N° 1826 de 22.5m como el de menor profundidad
- Los datos de caudal de los diferentes pozos da un promedio de 2.6m³/h, teniendo el mayor caudal en el pozo N°1826 de 6.5m³/h y el de menor caudal de 0.1m³/h en el pozo N° 1819. A su vez se observa que hay una tendencia de disminución del caudal al ir aumentado la profundidad concordando con un aumento en la matriz.
- Piezometría: a partir de las dos campañas realizadas (octubre 2016 y julio 2017), la zona de estudio se refiere a una zona de transición de flujo. No habiendo cambios en la dinámica del acuífero entre un año y otro.
En cuanto a la diferencia de niveles estático entre las campañas mencionadas, no hay descensos de niveles mayores a los 3.5m, y en un único pozo (N°1810) se observó recuperación de nivel estático.
Estas variaciones pueden estar dadas por la propia fluctuación del acuífero, uso en exceso del pozo, o variaciones en la precipitaciones ya que a partir de la gráfica de precipitación anual de las estaciones pluviométricas Solís y Villa del Rosario (Figura 5), se observa que en el año 2016 hubo más precipitaciones que en el 2017, pudiendo explicar a los descensos de niveles estáticos ya mencionados.
- A partir del análisis granulométrico se realizaron métodos indirectos para determinar los parámetros de porosidad eficaz y conductividad hidráulica de la unidad acuífera Migueles dando valores de 21.8% en la porosidad eficaz, 1382m/d y 466,5 m/d, siendo este último el que más se ajusta a la realidad del acuífero.

Hidrogeoquímica

- A partir de los datos obtenidos in situ, la temperatura dio valores normales para las aguas subterráneas que varían entre los 14 y 20°C, el pH, dio valores entre 7.3 y 7.8 en todo los pozos excepto en el N°1828 que dio un valor de 8.3 el cual se encuentra en el límite pero dentro de los parámetros permitidos por OSE, según la norma UNIT 883:2008. En cuanto a la turbidez todos los valores son bajos no superando los 46NTU. Por último la conductividad eléctrica dio valores entre los 440 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 1460 $\mu\text{s}/\text{cm}$ siendo este último en el pozo N°1763.
- En cuanto a los iones principales se encuentran todos por debajo de lo permitido según la norma UNIT 883:2008, excepto el ion Na^+ , que en el pozo N°1826 se encuentra con un valor que supera el VMP de la norma mencionada, esto se puede deber por el intercambio catiónico entre el Ca^{+2} y el Na^{+1} .
- Analizando los datos del SAR (Figura 54), los pozos N°1763 y N°1826 se califican en la clase C3-S2 siendo aguas de salinidad alta con contenido medio en sodio, pudiendo utilizarse en suelos con buen drenaje, para cultivos tolerantes a la salinidad y cierto peligro en acumulación del sodio en el suelo. El pozo N°1822 se califica en la clase C2-S1 con salinidad media y con bajo contenido en sodio siendo apto para el riego en la mayoría de los casos. Los restantes pozos se califican en C3-S1, calificándose en aguas de salinidad alta y bajo contenido en sodio. En cuanto al mapa de salinización (figura 55) se muestra en toda el área de estudio un alto riesgo de salinización, siendo esto perjudicial para el cultivo de la zona y el suelo.

12 Recomendaciones

Como todos los pozos estudiados corresponden a pequeños productores para consumo humano y riego, se recomienda seguir estudiando la calidad del agua con el fin de obtener las concentraciones de iones que son perjudiciales para la salud (As, F entre otros).

Otro estudio serían las causas de la alta salinización que se encuentran en la zona de estudio, siendo perjudicial para los cultivos y sobre todo los suelos.

Por último se recomienda estudiar la vulnerabilidad del acuífero, ya que en la zona de estudio se encuentran tambos y producciones ganaderas.

13 Bibliografía

- ♦ A.P.H.A., A.W.W.A. y W.P.C.F., (1999). Standard methods for the examination of water and waste water, 20ª.
- ♦ Bossi, J., (1966). Geología Del Uruguay. Departamento Publicaciones Universidad de la República. Montevideo.
- ♦ Bossi, J. Umpierre M., (1975). Magmatismo mesozoico del Uruguay y Rio Grande del Sur: sus recursos minerales asociados y potenciados. Anules Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Buenos Aires.
- ♦ Bossi, J & Navarro (1988). Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la Republica. Montevideo.
- ♦ Bossi, J & Schipilov, A (1998). Rocas Ígneas Básicas del Uruguay. Volumen I. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay
- ♦ Bossi J, Ferrando, L. Carta geologica del Uruguay a escala 1/500.00, version digital 2.0. Facultad de Agronomia. Uruguay.
- ♦ Bossi, J. Schipilov A. (2007). Rocas Ígneas Básicas del Uruguay. Facultad de Agronomía, Montevideo.
- ♦ Bossi, J. Gaucher, C., (2014). Geología del Uruguay, pre Devónico. Montevideo. Dirac.
- ♦ Campos et al., (1997). Registro de palinomorfos en Formación Migués (Pozo SL11-SP1), Cuenca Santa Lucía. Uruguay. Revista UNG.
- ♦ Caorsi, J & Goñi, J., (1958): Geología uruguaya. Instituto Geológico del Uruguay.
- ♦ Cernuchi, F. et al (2014). Geología, geoquímica y geocronología del complejo intrusivo Lascano Este del Cretácico y evolución magmática de la cuenca de la Laguna Merín, Uruguay.
- ♦ Collazo. P; Montañó J., (2012): Manual de Agua Subterránea. M.G.A.P Montevideo Uruguay.
- ♦ Custodio, E. & Llamas, E., (1983). Hidrogeología Subterránea. Tomo 1 y 2. Ed. Omega. España.
- ♦ De Santa Ana, H. & Ucha, N. (1994). Exploration perspectives and hydrocarbon potential of the Uruguayan sedimentary basin. ANCAP. Montevideo.
- ♦ Dura A. et al. (1976): Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, Escala 1:1.000.000. MGAP, Dirección de Suelos y Fertilizantes, Uruguay.
- ♦ Feitosa F.A.C. & Manoel Filho J. (1998): Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. 2ª Edição. Serviço Geológico do Brasil CPRM – Laboratorio de Hidrogeología da UFPE LABHID. Fortaleza.

- ♦ Feitosa F, Filho J, Feitosa E, Demetrio J, (2008). Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. 3ª Edición. CPRM Serviço Geológico do Brasil.
- ♦ Féraud et al (1999). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age and geochemistry of the southern extension of Paraná traps in Uruguay. Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Cordoba. Argentina.
- ♦ Folk, R.L y Ward, W.C. (1957). "Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters". Jour. Sed. Petr. Vol'27.
- ♦ Gozo H (1965): El Cenozoico en el Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay. Informe Interno.
- ♦ Goso H, Bossi J (1966). Cenozoico, en Bossi J. de Geologia del Uruguay, Universidad de la Republica. Montevideo.
- ♦ Goso H, (1972). El cuaternario uruguayo. Edición Mimeográfica PELS-MGA. Montevideo.
- ♦ Hazen, A., 1911. Discussion of "Dam on Sand Foundation" by A. C. Koenig. Transaction American Society of Civil Engineers. Vol. 73
- ♦ Heinzen, W. et al., (1986). Carta Hidrogeológica a escala 1:2000.000 Texto Explicativo. Dirección Nacional de Geología y Minería. Montevideo, Uruguay.
- ♦ Heinzen, W., et al., (2003). Mapa Hidrogeológico del Uruguay Escala 1/1.000.000. Dirección Nacional de Geología y Minería. Montevideo, Uruguay.
- ♦ IGM Instituto Geografico Militar. Cartas Topograficas escala 1:50.000 de Tala, Minas y Migues.
- ♦ INUMET Instituto Uruguayo de Meteorología. Precipitaciones media mensuales-temperatura media mensuales. Estación Florida y Carrasco. Precipitaciones media mensuales Estaciones pluviométricas de: Estación Solís, Tala y Villa del Rosario.
- ♦ Jones, G., (1956). Some Deep Mesozoic basins, recently discovered in southern Uruguay. Congreso Geológico Internacional, Mexico.
- ♦ Kasemow, M. (2002).- Determination of Hydraulic Conductivity From Grain Size Analysis. Water Resources Pup.
- ♦ Krumbein, W. C. (1934). Size frequency distribution of sediments.
- ♦ Leeder MR & Gawthorpe RL (1987): Sedimentary models for extensional tilt-block/half-tectonics. Geological Society Special Publication 28.
- ♦ Muzio R., (2000). Evolução petrológica e geocronologia do Maciço Alcalino Valle Chico Uruguai. Tese de Doutorado. Universidad Estadual Paulista. San Pablo.

- ♦ Panario, D., (1986): Geomorfología del Uruguay. Memoria Explicativa de la Carta Hidrogeológica, escala 1:2.000.000. DINAMIGE, Montevideo, Uruguay.
- ♦ Panario D., (1988): Geomorfología del Uruguay, Propuesta de un marco estructural y un esquema de evolución del modelado del relieve uruguayo. Departamento Publicaciones
- ♦ Panario, D y Gutierrez, O., (1999): The Continental uruguayan Cenozoic: an overview. Quaternary International.
- ♦ Preciozzi, F, et al. (1985). Carta Geológica del Uruguay. Escala 1:500.000. Dirección Nacional de Minería y Geología. Montevideo, Uruguay.
- ♦ Ribot et al. (2005). Caracterización petrográfica de la faja miloítica Colonia-Arroyo Pavón en el Sur del Terreno Piedra Alta, Uruguay: Zona de Cizalla principal en basamento precámbrico? Actas 16° Congreso Geológico Argentino, La Plata.
- ♦ Rosello E.A, et .al. (1999a). Rasgos Trasntesivos Dextrales Juro-Cretácicos en la Cuenca Santa Lucia (Uruguay) y sus posibles reactivaciones Andinas. In: AGA, Salta-Argentina, Acatas XIVº Congreso Geológico Argentino.
- ♦ Rosello E.A., Santa Ana H. de, Verovsalsky G.(1999b). El Lineamiento Santa lucia-Aigua-Merin (Uruguay): Un rifting Transtensivo Mesozoico abortado durante la apertura Atlántica I: UNESP/SBG, Serra Negra Brasil, 5º Simposio sobre o Cretaceo do Brasil y 1º Simposio sobre Cretácico de América del Sur.
- ♦ Rosello E.A., Santa Ana H. de, Verovsalsky G. (2000). El lineamiento Santa Lucia-Aigua (Uruguay): Un corredor tectónico extensivo y transcurrente distal precursor de la apertura Atlántica.
- ♦ Rossello E, Veroslavsky G & de Santa Ana H. (2001). La Cuenca Santa Lucía (Uruguay): un pull a part Juro-Cretácico Transtensivo Dextral. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Argentina.
- ♦ Serra, N. (1944). Memoria explicativa del mapa geológico del Departamento de Treinta y Tres. Boletín del Instituto Geológico.
- ♦ Spoturno, J; de Santa Ana H, Goso C & de Souza S., (1993). Analisis faciologicas e paleogeografica da sequencia mio-pliocenicos do setor occidental da bacia de Santa Lucia (Uruguai). Boletim de Resumos e Progama do V Simposio sul-brasileiro de Geología. Curitiba.
- ♦ Spoturno, J; Oyhantçabal P; Goso C; Aubet N; Cazaux S. 2004. Memoria Explicativa del Mapa Geológico y de Recursos Minerales del Departamento de Canelones a Escala 1/100.000. Proyecto CONICYT 6019 Departamento de Geología (Facultad de Ciencias- Udelar) Dinamige (MIEM). Montevideo, Uruguay.

- ♦ Spoturno, J; Oyhantçabal P; Aubet N; Cazaux S. 2004. Memoria Explicativa del Mapa Geológico y de Recursos Minerales del Departamento de San José a Escala 1/100.000. Proyecto CONICYT 6019 Departamento de Geología (Facultad de Ciencias- Udelar) Dinamige (MIEM). Montevideo, Uruguay.
- ♦ Spoturno, J; Faraone M, Oyhantçabal P., (2019). Inédito. Mapa Geológico del Departamento de Lavalleja escala 1:100.000. Convenio de CONICYT (Facultad de Ciencias – Dinamige).
- ♦ Stewart et al (1996): Geochronology in the Paraná continental flood basalt province. Earth and Planetari Science Letters.
- ♦ Thornthwaite, C., (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, Vol. 38, Estados Unidos.
- ♦ Thornthwaite, C. & Mather, J., (1957): Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. Climatology Drexel Institute of Technology. Vol. 10. Estados Unidos.
- ♦ Udden, J. A. (1898). Mechanical composition of wind deposits.
- ♦ United States Salinity Laboratory Staff (1954). Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook No.60. Department of Agriculture. United States.
- ♦ Veroslavsky G., (1999). Geología de Bacia de Santa Lucía-Uruguai. Tese de Doutoramento, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. San Pablo.
- ♦ Veroslavsky, G; Ubilla M; Martínez S., (2004) Cuencas Sedimentarias del Uruguay, Mesozoico, Segunda Edición. Montevideo; Dirac.
- ♦ Veroslavsky, G; M. Ubilla; S. Martínez. 2004. Cuencas Sedimentarias del Uruguay Cenozoico. Montevideo; Dirac.
- ♦ Vieira, N. (1985). Petrologia e geoquímica do vulcanismo mesozóico de Jaguarao. R.S. Brasil Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociencias, Universidade Federal de Rio Grande do Soul. Porto Alegre.
- ♦ Wathler K., (1927). Contribución al conocimiento de las rocas basálticas de la Formación de Gondwana en la Sud-América. Boletín Instituto de Geología y Perforaciones.
- ♦ Weight, W. D (2008). Hydrogeology Field. Manual. Mc-Graw.
- ♦ Wentworth, C K.1992. A scale of grade and class terms for clastic sediments.
- ♦ Zarazua, I; Sanuy, J; De La Torre, L; Vera Torres, L; Minondo, L. 1977. Estratigrafía. Madrid España; Rueda.

12. Anexos

12.1 Anexo I. Tablas de Precipitación y Temperatura

Estación Meteorológica Aeropuerto Carrasco. (Precipitaciones mm)												
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1994	39.2	108.6	122.5	97.8	144.8	52.4	134.8	40.1	81.7	157.2	124.7	77.6
1995	46.2	83.3	136.3	144.3	69.5	108.0	48.6	19.3	36.1	59.4	132.5	51.9
1996	61.2	46.4	152.4	165.1	4.5	61.8	75.8	34.4	95.8	65.7	95.0	66.8
1997	49.4	111.3	59.6	40.4	84.0	116.7	38.3	127.2	29.9	83.9	61.4	307.5
1998	113.2	34.1	142.4	128.8	64.7	33.6	92.1	14.2	86.2	33.2	123.8	159.3
1999	210.8	102.3	137.2	61.9	51.0	102.8	101.0	101.0	102.5	61.4	43.9	76.2
2000	17.4	37.5	85.7	145.5	238.1	92.4	114.8	135.2	118.5	95.9	60.1	117.8
2001	164.5	146.3	237.0	53.2	73.3	162.3	100.8	91.4	68.8	206.1	174.2	48.4
2002	90.2	56.7	507.7	75.5	149.6	38.3	78.3	80.8	82.0	107.2	145.2	133.2
2003	76.3	159.5	27.7	47.9	140.6	119.8	81.2	70.5	154.2	66.0	163.1	97.6
2004	131.2	70.4	23.0	191.8	58.9	68.0	29.4	84.7	46.1	127.3	99.5	33.3
2005	253.8	64.6	56.4	179.8	154.2	170.8	170.0	73.9	108.8	65.3	37.5	30.2
2006	159.5	44.9	161.7	25.9	14.4	251.4	76.0	42.5	58.6	121.7	90.1	116.2
2007	33.8	143.1	239.7	197.3	87.9	72.0	22.9	92.7	165.0	185.5	70.7	30.7
2008	65.9	162.0	54.7	44.6	51.3	94.6	77.1	60.0	31.6	28.9	25.6	22.5
2009	70.6	149.7	161.3	8.5	94.7	127.5	108.3	61.6	113.1	186.9	165.9	37.7
2010	124.9	190.7	68.3	85.6	89.5	80.3	187.0	98.5	190.1	45.3	33.4	30.3
2011	43.2	45.7	75.6	80.3	42.6	138.5	149.8	99.0	23.8	63.2	107.8	120.2
2012	33.4	109.6	103.0	45.9	56.0	78.5	35.3	183.9	116.5	236.1	34.5	158.1
2013	37.4	117.1	38.0	117.6	94.0	15.0	61.5	32.6	173.3	6.5	176.2	16.1
2014	288.0	275.9	89.8	126.4	48.8	50.0	108.0	47.1	185.0	110.0	195.9	123.1
2015	112.6	15.4	55.2	27.7	27.4	29.8	28.5	246.0	16.6	99.3	55.5	126.5
2016	19.7	91.6	122.2	228.4	67.3	11.6	203.2	106.2	69.3	107.2	49.6	102.8
2017	101.4	47.6	40.9	54.3	137.5	12.2	146.7	343.8	160.2	117.4	31.9	77.2

Tabla A1. Precipitaciones (mm) mensuales. Periodo 1994-2017. Estación Meteorológica Carrasco

Estación Meteorológica Aeropuerto Florida. (Precipitaciones mm)												
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1994	140.0	47.0	132.8	77.0	133.8	50.0	87.5	39.5	172.0	162.5	117.0	107.0
1995	38.0	161.8	247.2	80.0	38.5	65.0	104.0	12.2	44.3	100.5	120.0	11.0
1996	111.0	80.0	93.0	169.0	11.0	43.0	17.0	24.0	173.0	60.0	102.0	71.5
1997	78.0	150.0	52.0	72.6	76.6	90.6	40.0	101.0	14.8	127.1	69.0	331.8
1998	86.0	35.0	97.3	91.2	58.5	63.0	180.0	30.0	62.0	46.0	123.0	182.0
1999	237.9	189.0	249.0	73.5	36.0	174.7	158.0	92.0	37.0	38.0	39.0	74.0
2000	4.0	106.5	82.0	176.0	292.0	86.0	143.0	51.0	180.0	92.0	54.0	87.0
2001	174.0	205.0	131.0	26.0	114.5	156.5	51.5	146.0	50.0	192.1	174.0	55.0
2002	116.2	43.7	464.2	189.8	133.1	74.8	76.7	86.6	105.9	92.3	102.6	378.3
2003	44.3	111.7	45.0	35.3	121.5	165.7	61.7	83.5	196.0	89.6	204.5	68.0
2004	55.7	41.8	60.5	162.2	74.7	95.6	24.6	70.5	112.1	152.2	95.5	38.2
2005	124.8	91.6	31.0	218.3	145.0	180.1	67.5	30.2	94.5	39.3	23.6	59.0
2006	323.0	17.0	138.6	66.7	10.2	245.6	77.6	43.8	34.7	167.6	138.5	116.0
2007	27.0	134.3	458.1	153.0	160.5	38.3	12.9	78.4	134.0	207.3	45.4	42.6
2008	108.5	79.7	44.3	17.2	29.9	51.2	118.2	74.6	39.2	19.3	18.3	13.2
2009	65.3	181.0	163.1	24.2	110.1	95.7	133.3	69.0	86.0	292.6	181.9	104.5
2010	77.5	322.4	43.0	129.2	102.9	137.6	146.6	152.0	170.2	27.6	53.0	40.8
2011	55.0	97.1	92.1	93.0	82.7	129.1	164.7	116.5	45.1	73.1	139.2	70.0
2012	50.5	144.9	112.9	40.7	53.5	72.5	25.8	202.1	98.4	312.6	30.2	292.4
2013	32.2	90.9	78.0	156.5	129.1	14.5	115.6	82.0	204.7	48.1	137.2	18.3
2014	306.3	170.0	99.9	117.3	87.3	61.0	129.0	22.5	285.2	148.5	223.8	43.1
2015	118.7	9.1	62.5	41.2	11.8	16.8	21.0	249.7	38.7	95.0	46.0	205.6
2016	11.6	91.9	76.4	411.2	65.8	19.0	193.4	101.8	76.3	59.2	62.0	109.0
2017	52.1	120.5	69.8	40.0	167.2	8.1	105.5	205.2	180.9	108.0	53.2	58.9

Tabla A2. Precipitaciones (mm) mensuales. Periodo 1994-1961. Estación Meteorológica Florida

Estación Pluviométrica Tala												
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1994	65.0	41.0	100.0	74.5	178.0	67.5	162.5	67.5	125.5	112.0	102.5	66.0
1995	38.0	95.5	153.0	49.5	28.5	58.0	95.0	16.0	40.0	59.5	113.0	14.0
1996	73.0	48.5	95.0	92.5	6.0	48.0	27.0	38.3	180.5	92.5	86.5	29.0
1997	26.0	109.0	56.0	49.2	50.0	133.5	25.0	126.0	19.5	119.0	80.0	292.0
1998	80.0	36.0	96.0	91.0	49.0	58.0	88.0	42.0	78.0	25.0	160.0	207.0
1999	391.0	147.0	279.0	44.0	72.0	160.0	138.5	76.0	63.0	17.5	50.5	107.0
2000	34.5	59.5	143.0	227.0	230.1	111.5	180.0	125.0	120.0	106.0	73.2	107.0
2001	171.0	284.0	118.0	30.0	175.0	181.0	54.0	162.0	69.0	222.5	94.0	36.5
2002	35.3	77.0	463.0	171.0	185.0	72.0	106.0	88.0	71.0	106.0	143.5	247.0
2003	39.0	136.0	21.5	38.0	109.0	194.0	73.0	84.0	190.0	63.0	231.0	67.0
2004	44.0	37.0	36.0	202.0	66.0	91.0	22.0	58.0	112.0	136.0	128.0	41.0
2005	185.0	65.0	42.5	364.0	162.0	330.3	41.0	44.0	82.0	8.0	10.0	6.0
2006	44.0	52.0	101.0	11.0	17.0	246.0	110.0	51.0	50.0	57.0	126.0	150.5
2007	8.0	99.0	377.0	147.0	152.0	49.6	49.5	113.5	171.0	159.0	62.0	105.5
2008	98.6	120.5	96.5	22.0	83.7	89.3	62.2	122.0	34.0	37.0	31.0	19.0
2009	24.0	135.0	93.9	0.0	45.0	149.0	148.3	54.0	82.0	249.0	132.3	67.5
2010	94.0	256.5	73.5	107.5	89.0	134.0	187.0	152.5	152.0	15.0	2.0	23.0
2011	3.0	51.0	67.0	81.0	38.0	81.0	115.0	115.0	61.0	62.0	82.0	35.0
2012	75.0	107.0	64.1	37.0	40.0	96.0	30.0	219.0	53.7	249.0	70.0	322.0
2013	30.0	62.0	77.0	101.0	75.0	8.0	106.0	109.5	109.5	2.0	89.0	1.5
2014	194.0	156.0	34.5	36.5	26.5	55.0	96.0	13.0	289.0	152.0	230.0	17.0
2015	20.0	6.0	11.0	33.5	4.0	9.5	17.5	244.0	17.0	53.0	59.0	81.0
2016	16.0	32.0	72.5	254.0	23.0	18.5	112.0	80.0	100.0	44.0	27.0	51.0
2017	129.0	45.0	48.0	44.2	152.1	11.3	179.0	254.4	189.4	114.5	34.7	85.6

Tabla A3. Precipitaciones (mm) mensuales. Periodo 1994-2017. Estación Pluviométrica Tala.

Estación Pluviométrica Solís												
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1994	60.0	22.0	122.0	56.0	167.5	64.5	214.5	62.5	124.0	126.0	121.0	50.0
1995	15.0										71.0	18.0
1996	31.0	32.5	106.0	162.5	7.5	45.5	12.0	40.5	171.0	111.0	86.0	38.0
1997	75.0	158.0	57.5	63.5	89.5	152.0	37.0	131.0	21.0	126.0	62.0	219.0
1998	99.0	22.0	112.0	98.0	58.0	93.0	107.0	35.0	26.0	24.0	154.0	194.0
1999	227.0	275.5	192.0	98.0	58.0	161.0	147.0	0.0	0.0	17.0	45.0	69.5
2000	59.5	117.0	132.0	244.0	250.0	83.5	118.5	195.0	202.5	107.0	65.8	102.0
2001	173.5	198.0	216.0	42.5	126.0	239.0	73.0	170.0	81.5	228.0	92.0	35.0
2002	50.0	131.0	574.5	173.0	157.0	115.0	103.5	99.5	66.0	92.0	120.0	299.0
2003	61.5	246.0	66.5	30.5	123.0	281.0	66.5	110.0	279.0	86.0	120.0	91.0
2004	111.0	41.5	43.0	223.5	73.0	102.0	40.0	62.0	248.0	144.0	104.0	41.0
2005	182.0	93.0	59.0	376.0	239.0	280.0	121.0	32.0	86.0	51.0	33.0	46.0
2017						10.0	202.5	401.0	40.0	57.5	14.0	60.0

Tabla A4. Precipitaciones (mm) mensuales. Periodo 1994-2005, y 2017. Estación Pluviométrica Solís.

Estación Pluviométrica Villa del Rosario												
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005				323.0	190.3	59.0	108.0	39.0	101.5	44.0	44.0	44.5
2006	257.5	49.0	123.0	54.0	34.5	266.5	105.5	57.5	55.0	131.0	145.0	92.0
2007		96.0	410.0	131.0	151.0	126.0	18.0	110.5	157.0	180.0	58.0	31.5
2008	72.0	225.5	50.0	30.0	60.5	66.0	99.0	80.5	27.0	42.0	90.5	20.5
2009	51.0	117.0	139.0	7.0	138.5	133.0	158.0	62.5	76.9	244.0	89.5	100.0
2010	134.5	327.0	79.0	78.0	68.0	93.0	171.0	213.5	125.0	15.0	71.5	58.0
2011	45.0	56.0	70.0	113.0	109.0	159.0	126.0	88.0	35.0	67.0	97.0	64.0
2012	30.0	68.0	73.0	42.0	29.0	53.0	47.0	153.0	80.0	261.0	59.0	375.0
2013	79.0	117.9	33.0	113.0	109.0	31.0	97.0	118.0	242.0	12.0	152.0	24.0
2014	285.0	292.0	83.0	137.0	105.0	64.0	170.0	26.0	249.0	169.0	271.0	44.0
2015	122.0	44.0	84.0	8.0	24.0	8.0	31.0	306.0	38.0	80.0	94.0	217.0
2016	30.0	133.0	159.0	281.0	76.0	41.0	260.0	150.0	96.0	92.0	126.0	120.0
2017	151.0	14.5	118.0	67.0	203.0	3.0	289.5	110.1	209.0	139.0	70.0	65.0

Tabla A5. Precipitaciones (mm) mensuales. Periodo 2005-2017. Estación pluviométrica Villa del Rosario.

ESTACION METEOROLOGICA CARRASCO TEMPERATURA °C MEDIA MENSUAL												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	21.2	21.9	20.7	16.8	15.5	12.6	10.4	11.2	14.5	15.2	18.5	22.3
1995	21.9	21.0	20.0	17.4	13.2	9.8	10.0	10.0	13.1	14.9	19.0	21.4
1996	21.5	21.9	21.1	17.2	12.8	9.9	8.1	13.4	12.3	16.6	19.5	21.9
1997	23.8	22.0	20.2	18.6	15.2	11.7	12.9	13.7	12.5	16.0	18.2	19.3
1998	20.9	20.6	18.9	17.6	14.4	11.4	12.2	11.5	12.4	16.4	17.8	20.9
1999	20.8	21.4	21.4	15.9	13.3	10.6	10.4	12.3	13.5	15.6	17.9	21.2
2000	22.8	22.9	20.2	18.0	14.2	13.1	8.8	10.9	12.6	15.7	17.5	21.3
2001	23.5	23.5	22.5	17.7	14.5	13.1	11.5	14.9	13.7	17.1	18.2	20.2
2002	22.3	22.1	21.8	17.0	16.0	10.7	10.9	13.9	13.2	17.7	19.3	20.8
2003	23.3	22.0	21.3	16.7	15.1	12.1	9.9	11.0	13.0	16.7	17.9	19.4
2004	22.3	21.3	21.4	19.2	13.4	12.0	11.3	13.0	13.6	15.1	17.6	21.1
2005	23.5	21.7	20.2	16.2	14.3	13.5	11.8	12.6	12.7	15.1	19.8	19.1
2006	21.6	21.8	19.8	17.6	13.1	12.1	13.6	10.6	13.1	17.1	18.3	22.4
2007	22.6	23.4	21.9	18.7	12.1	9.9	8.1	9.5	15.8	17.3	16.6	21.0
2008	22.7	22.8	20.6	17.2	14.4	10.0	13.1	11.7	12.3	16.1	21.6	21.4
2009	23.0	22.45	21.55	17.75	15.4	10.25	9	13.6	12	14.9	19.25	20.7
2010	23.6	23.4	21.0	16.6	15.5	12.2	10.5	11.2	13.5	15.3	17.4	22.35
2011	23.0	22.0	20.5	17.4	13.2	10.7	09.7	10.7	13.6	15.3	19.7	20.0
2012	23.1	23.6	20.7	16.9	16.0	10.7	07.9	13.3	13.8	16.5	20.1	22.8
2013	22.9	21.9	18.6	17.2	13.7	10.9	10.3	10.7	13.3	15.7	18.9	23.7
2014	23.5	21.9	19.5	17.2	13.8	11.4	11.8	13.0	14.8	18.5	19.2	21.7
2015	22.5	22.8	21.5	18.8	15.8	12.2	11.1	14.3	12.5	14.3	18.1	21.9
2016	23.4	24.1	19.8	17.3	11.9	09.7	10.6	11.9	12.7	15.7	18.6	22.1
2017	23.1	23.9	20.9	18.2	15.1	13.0	12.9	13.8	15.0	16.4	17.7	21.7

Tabla A6. Temperatura °C mensuales. Periodo 1994-2017. Estación meteorológica carrasco.

ESTACIÓN METEREOLÓGICA FLORIDATEMPERATURA °C MEDIA MENSUAL												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1994	21.9	19.6	20.9	16.1	15.2	11.8	10.5	11.2	14.3	15.9	18.6	23.4
1995	23.1	19.7	20.5	16.6	13.7	9.6	10.8	11.3	13.2	15.3	18.7	23.0
1996	23.0	22.4	*	*	11.6	8.7	7.7	14.4	12.6	17.2	20.2	23.2
1997	25.7	22.6	21.1	18.4	15.4	11.4	13.8	13.4	13.2	16.7	19.3	20.8
1998	21.6	21.4	19.6	17.1	14.0	11.0	12.3	11.9	12.5	17.5	19.0	19.0
1999	18.5	21.9	21.7	15.2	12.6	10.6	10.4	12.5	14.0	16.3	19.1	22.6
2000	25.4	23.8	20.6	18.3	14.1	12.4	8.8	11.4	13.1	16.4	18.0	22.2
2001	23.9	23.5	22.8	18.6	13.7	13.3	11.8	15.6	13.8	*	18.7	20.4
2002	22.6	21.9	22.5	16.8	15.8	10.2	10.1	13.2	13.1	18.3	19.2	20.3
2003	22.8	21.9	20.7	15.4	13.9	11.2	9.8	10.4	12.4	16.9	18.7	19.4
2004	23.3	21.4	21.5	19.2	12.3	11.6	10.4	12.6	13.8	15.1	17.7	21.9
2005	15.9	22.5	19.6	15.6	13.7	13.6	11.4	12.6	12.7	14.9	20.3	20.4
2006	23.2	22.4	20.3	17.3	12.0	11.3	13.8	10.7	12.3	17.4	18.2	22.7
2007	23.6	24.2	21.0	18.2	11.2	9.6	7.2	9.5	15.8	17.5	17.2	21.7
2008	23.6	23.8	20.7	17.0	14.1	9.7	13.1	10.9	13.0	16.0	22.0	22.8
2009	24.2	23.0	21.4	16.9	14.4	9.4	8.4	13.1	11.9	15.1	19.9	20.8
2010	23.9	23.1	21.2	16.3	14.7	11.0	10.3	10.9	13.9	14.9	17.8	22.4
2011	25.8	23.3	20.9	17.6	12.4	10.2	09.2	10.5	13.7	16.3	21.1	21.4
2012	24.8	24.2	20.7	16.7	15.8	10.3	07.4	15.0	15.5	18.6	23.0	25.2
2013	25.5	24.1	20.1	18.9	14.4	11.6	11.4	11.4	15.0	18.4	21.1	27.5
2014	25.5	23.3	21.1	18.3	14.1	11.5	12.5	14.2	16.3	20.3	21.2	24.4
2015	24.6	25.2	23.3	20.6	16.3	13.2	12.3	15.3	13.7	15.9	20.1	24.4
2016	25.8	26.2	20.9	18.1	12.1	09.2	10.7	13.2	13.9	18.1	21.8	25.0
2017	25.7	25.6	22.4	19.4	15.5	13.5	13.3	14.3	16.5	18.0	20.6	25.3

Tabla A7. Temperatura (°C) mensuales. Periodo 1994-2017. Estación Metrológica Florida.

12.2 Anexo II Tablas del cálculo del Balance Hídrico.

	P (mm)	T (°C)	ETP	P-ETP	Alm	Δ alm	Etr	Ex	Def
Ene-94	76	22	116	-39	65	-39	116	0	0
Feb-94	25	21	93	-69	0	-65	89	0	-4
Mar-94	37	21	95	-58	0	0	37	0	-58
Abr-94	140	16	56	84	84	84	56	0	0
May-94	106	15	47	59	104	20	48	38	0
Jun-94	121	12	29	92	104	0	29	92	0
Jul-94	232	10	24	207	104	0	24	207	0
Ago-94	135	11	30	105	104	0	30	105	0
Set-94	122	14	48	74	104	0	48	74	0
Oct-94	189	16	62	127	104	0	62	127	0
Nov-94	129	19	86	42	104	0	86	42	0
Dic-94	95	23	128	-33	71	-33	128	0	0
Ene-95	40	23	126	-86	17	-87	125	0	0
Feb-95	114	20	92	23	39	21	91	0	0
Mar-95	163	20	92	71	104	65	91	4	0
Abr-95	104	17	61	43	104	0	60	41	0
May-95	52	13	39	13	104	0	38	10	0
Jun-95	83	10	20	63	104	0	19	60	0
Jul-95	75	10	25	49	104	0	24	47	0
Ago-95	16	11	29	-13	90	-14	28	0	0
Set-95	40	13	43	-4	86	-4	42	0	0
Oct-95	73	15	61	13	98	11	59	0	0
Nov-95	72	19	90	-18	78	-19	89	0	0
Dic-95	19	22	123	-104	0	-78	95	0	-27
Ene-96	31	22	122	-91	13	-91	122	0	0
Feb-96	33	22	104	-72	0	-13	45	0	-59
Mar-96	106	21	98	8	8	8	98	0	0
Abr-96	163	17	61	102	104	96	61	6	0
May-96	8	12	32	-25	79	-25	32	0	0
Jun-96	46	9	18	27	104	25	18	3	0
Jul-96	12	8	15	-3	101	-3	15	0	0
Ago-96	41	14	43	-3	98	-3	43	0	0
Set-96	171	12	38	133	104	6	38	127	0
Oct-96	111	17	71	40	104	0	71	40	0
Nov-96	86	20	97	-11	93	-11	97	0	0
Dic-96	38	23	125	-87	6	-84	125	0	0
Ene-97	75	25	146	-71	33	-71	146	0	0
Feb-97	158	22	104	54	87	54	104	0	0
Mar-97	58	21	92	-35	53	-35	92	0	0
Abr-97	64	19	67	-3	50	-3	67	0	0
May-97	90	15	45	44	94	44	45	0	0
Jun-97	152	12	24	128	104	10	24	117	0
Jul-97	37	13	35	2	104	0	35	2	0
Ago-97	131	14	39	92	104	0	39	92	0
Set-97	21	13	38	-17	87	-17	38	0	0
Oct-97	126	16	65	61	104	17	65	45	0
Nov-97	62	19	85	-23	81	-23	85	0	0
Dic-97	219	20	100	119	104	23	100	96	0

Tabla A8. Balance Hídrico Edáfico- Zona de estudio.

	P (mm)	T (°C)	ETP	P-ETP	Alm	Δ alm	Etr	Ex	Def
Ene-98	99	21	114	-15	89	-15	114	0	0
Feb-98	22	21	96	-74	15	-74	96	0	0
Mar-98	112	19	85	27	42	27	85	0	0
Abr-98	98	17	63	35	77	35	63	0	0
May-98	58	14	43	15	92	15	43	0	0
Jun-98	93	11	26	67	104	12	26	56	0
Jul-98	107	12	33	74	104	0	33	74	0
Ago-98	35	12	33	2	104	0	33	2	0
Set-98	26	12	39	-13	91	-13	39	0	0
Oct-98	24	17	73	-49	42	-49	73	0	0
Nov-98	154	18	86	68	104	62	86	6	0
Dic-98	194	20	103	91	104	0	103	91	0
Ene-99	227	20	100	127	104	0	100	127	0
Feb-99	276	22	101	174	104	0	101	174	0
Mar-99	192	22	102	90	104	0	102	90	0
Abr-99	98	16	52	46	104	0	52	46	0
May-99	58	13	37	21	104	0	37	21	0
Jun-99	161	11	23	138	104	0	23	138	0
Jul-99	147	10	25	122	104	0	25	122	0
Ago-99	0	12	37	-37	67	-37	37	0	0
Set-99	0	14	46	-46	21	-46	46	0	0
Oct-99	17	16	66	-49	0	-21	38	0	-28
Nov-99	45	18	87	-42	0	0	45	0	-42
Dic-99	70	22	120	-50	0	0	70	0	-50
Ene-00	60	24	140	-80	24	-80	140	0	0
Feb-00	117	23	114	3	27	3	114	0	0
Mar-00	132	20	91	41	68	41	91	0	0
Abr-00	244	18	66	178	104	36	66	142	0
May-00	250	14	41	209	104	0	41	209	0
Jun-00	84	13	30	53	104	0	30	53	0
Jul-00	119	9	18	101	104	0	18	101	0
Ago-00	195	11	29	166	104	0	29	166	0
Set-00	203	13	39	163	104	0	39	163	0
Oct-00	107	16	64	43	104	0	64	43	0
Nov-00	66	18	79	-13	91	-13	79	0	0
Dic-00	102	22	117	-15	76	-15	117	0	0
Ene-01	174	24	146	28	104	0	146	27	0
Feb-01	198	24	104	94	104	0	104	94	0
Mar-01	216	23	92	124	104	0	92	124	0
Abr-01	43	18	67	-24	80	-24	67	0	0
May-01	126	14	45	81	104	24	45	57	0
Jun-01	239	13	24	215	104	0	24	215	0
Jul-01	73	12	35	38	104	0	35	38	0
Ago-01	170	15	39	131	104	0	39	131	0
Set-01	82	14	38	44	104	0	38	44	0
Oct-01	228	17	65	163	104	0	65	163	0
Nov-01	92	18	85	7	104	0	85	7	0
Dic-01	35	20	100	-65	39	-65	100	0	0

Tabla A8. Balance Hídrico Edáfico- Zona de estudio.

	P (mm)	T (°C)	ETP	P-ETP	Alm	Δalm	Etr	Ex	Def
Ene-02	50	22	123	-73	31	-71	123	0	0
Feb-02	131	22	102	29	60	54	102	0	0
Mar-02	575	22	105	470	104	-35	105	426	0
Abr-02	173	17	57	116	104	-3	57	116	0
May-02	157	16	49	108	104	44	49	108	0
Jun-02	115	10	21	94	104	10	21	94	0
Jul-02	104	10	23	80	104	0	23	80	0
Ago-02	100	14	40	60	104	0	40	60	0
Set-02	66	13	40	26	104	-17	40	26	0
Oct-02	92	18	77	15	104	17	77	15	0
Nov-02	120	19	90	30	104	-23	90	30	0
Dic-02	299	21	105	194	104	23	105	194	0
Ene-03	62	23	130	-69	35	-69	130	0	0
Feb-03	246	22	103	143	104	69	103	74	0
Mar-03	67	21	97	-31	73	-31	97	0	0
Abr-03	31	16	55	-24	49	-24	55	0	0
May-03	123	14	44	79	104	55	44	24	0
Jun-03	281	12	27	254	104	0	27	254	0
Jul-03	67	10	23	44	104	0	23	44	0
Ago-03	110	11	29	81	104	0	29	81	0
Set-03	279	13	40	239	104	0	40	239	0
Oct-03	86	17	71	15	104	0	71	15	0
Nov-03	120	18	85	35	104	0	85	35	0
Dic-03	91	19	98	-7	97	-7	98	0	0
Ene-04	111	23	123	-12	92	-12	146	0	0
Feb-04	42	21	107	-66	27	-66	104	0	0
Mar-04	43	21	97	-54	0	-27	92	0	-27
Abr-04	224	19	76	148	104	104	67	44	0
May-04	73	13	35	38	104	0	45	38	0
Jun-04	102	12	25	77	104	0	24	77	0
Jul-04	40	11	26	14	104	0	35	14	0
Ago-04	62	13	36	26	104	0	39	26	0
Set-04	248	14	46	202	104	0	38	202	0
Oct-04	144	15	56	88	104	0	65	88	0
Nov-04	104	18	81	23	104	0	85	23	0
Dic-04	41	21	115	-74	30	-74	100	0	0
Ene-05	182	20	97	85	104	0	97	85	0
Feb-05	93	22	115	-22	82	-22	115	0	0
Mar-05	59	20	86	-27	55	-27	86	0	0
Abr-05	376	16	56	320	104	49	56	271	0
May-05	239	14	42	197	104	0	42	197	0
Jun-05	280	14	33	247	104	0	33	247	0
Jul-05	121	12	30	91	104	0	30	91	0
Ago-05	32	13	36	-4	100	-4	36	0	0
Set-05	86	13	42	44	104	4	42	40	0
Oct-05	51	15	57	-6	98	-6	57	0	0
Nov-05	33	20	103	-70	28	-70	103	0	0
Dic-05	46	20	101	-55	0	-28	74	0	-27

Tabla A8. Balance Hídrico Edáfico- Zona de estudio.

	P (mm)	T (°C)	ETP	P-ETP	Alm	Δ alm	Etr	Ex	Def
Ene-06	258	22	119	139	104	0	119	139	0
Feb-06	49	22	113	-64	40	-64	113	0	0
Mar-06	123	20	86	37	77	37	86	0	0
Abr-06	54	17	64	-10	66	-10	64	0	0
May-06	35	13	33	1	68	1	33	0	0
Jun-06	267	12	25	242	104	36	25	205	0
Jul-06	106	14	38	68	104	0	38	68	0
Ago-06	58	11	26	31	104	0	26	31	0
Set-06	55	13	40	15	104	0	40	15	0
Oct-06	131	17	71	60	104	0	71	60	0
Nov-06	145	18	86	59	104	0	86	59	0
Dic-06	92	23	125	-33	71	-33	125	0	0
Ene-07	110	23	126	-16	88	-16	126	0	0
Feb-07	96	24	129	-33	55	-33	129	0	0
Mar-07	410	21	97	313	104	49	97	264	0
Abr-07	131	18	71	60	104	0	71	60	0
May-07	151	12	30	121	104	0	30	121	0
Jun-07	126	10	18	108	104	0	18	108	0
Jul-07	18	8	14	4	104	0	14	4	0
Ago-07	111	9	22	89	104	0	22	89	0
Set-07	157	16	59	98	104	0	59	98	0
Oct-07	180	17	72	108	104	0	72	108	0
Nov-07	58	17	76	-18	86	-18	76	0	0
Dic-07	32	21	114	-83	3	-83	114	0	0
Ene-08	72	23	125	-53	51	-53	125	0	0
Feb-08	226	23	123	102	104	53	123	49	0
Mar-08	50	21	89	-39	65	-39	89	0	0
Abr-08	30	17	61	-31	34	-31	61	0	0
May-08	61	14	40	20	54	20	40	0	0
Jun-08	66	10	18	48	103	48	18	0	0
Jul-08	99	13	34	65	104	1	34	64	0
Ago-08	81	11	28	53	104	0	28	53	0
Set-08	27	13	38	-11	93	-11	38	0	0
Oct-08	42	16	61	-19	74	-19	61	0	0
Nov-08	91	22	116	-25	49	-25	116	0	0
Dic-08	21	22	119	-99	0	-49	69	0	-50
Ene-09	51	24	130	-79	25	-79	130	0	0
Feb-09	117	23	119	-2	22	-2	119	0	0
Mar-09	139	21	97	42	64	42	97	0	0
Abr-09	7	17	64	-57	7	-57	64	0	0
May-09	139	15	45	94	101	94	45	0	0
Jun-09	133	10	19	114	104	3	19	111	0
Jul-09	158	9	18	140	104	0	18	140	0
Ago-09	63	13	39	24	104	0	39	24	0
Set-09	77	12	36	41	104	0	36	41	0
Oct-09	244	15	56	188	104	0	56	188	0
Nov-09	90	20	97	-8	96	-8	97	0	0
Dic-09	100	21	108	-8	88	-8	108	0	0

Tabla A8. Balance Hídrico Edáfico- Zona de estudio.

	P (mm)	T (°C)	ETP	P-ETP	Alm	Δ alm	Etr	Ex	Def
Ene-10	135	24	131	4	104	0	131	4	0
Feb-10	327	23	123	204	104	0	123	204	0
Mar-10	79	21	93	-14	90	-14	93	0	0
Abr-10	78	16	58	20	104	14	58	6	0
May-10	68	15	46	22	104	0	46	22	0
Jun-10	93	12	25	68	104	0	25	68	0
Jul-10	171	10	24	147	104	0	24	147	0
Ago-10	214	11	27	186	104	0	27	186	0
Set-10	125	14	45	80	104	0	45	80	0
Oct-10	15	15	56	-41	63	-41	56	0	0
Nov-10	72	17	79	-7	56	-7	79	0	0
Dic-10	58	22	122	-64	0	-56	114	0	-8
Ene-11	45	24	135	-90	14	-90	135	0	0
Feb-11	56	22	117	-61	0	-14	70	0	-44
Mar-11	70	21	91	-21	0	0	70	0	-21
Abr-11	113	17	65	48	48	48	65	0	0
May-11	109	13	36	73	104	56	36	17	0
Jun-11	159	11	22	137	104	0	22	137	0
Jul-11	126	10	21	105	104	0	21	105	0
Ago-11	88	11	27	61	104	0	27	61	0
Set-11	35	14	45	-10	94	-10	45	0	0
Oct-11	67	16	60	7	101	7	60	0	0
Nov-11	97	20	101	-4	97	-4	101	0	0
Dic-11	64	20	105	-41	55	-41	105	0	0
Ene-12	30	24	128	-98	6	-98	128	0	-54
Feb-12	68	24	127	-59	0	-6	74	0	-15
Mar-12	73	21	88	-15	0	0	73	0	-15
Abr-12	42	17	57	-15	0	0	42	0	-19
May-12	29	16	48	-19	0	0	29	0	0
Jun-12	53	11	19	34	34	34	19	0	0
Jul-12	47	8	13	34	68	34	13	0	0
Ago-12	153	14	39	114	104	36	39	78	0
Set-12	80	14	46	34	104	0	46	34	0
Oct-12	261	17	68	193	104	0	68	193	0
Nov-12	59	21	107	-48	56	-48	107	0	0
Dic-12	375	24	133	242	104	48	133	194	0
Ene-13	79	24	131	-52	52	-52	131	0	0
Feb-13	118	23	118	0	52	0	118	0	0
Mar-13	33	19	77	-44	8	-44	77	0	0
Abr-13	113	18	65	48	56	48	65	0	0
May-13	109	14	39	70	104	48	39	22	0
Jun-13	31	11	22	9	104	0	22	9	0
Jul-13	97	11	23	74	104	0	23	74	0
Ago-13	118	11	26	92	104	0	26	92	0
Set-13	242	14	45	197	104	0	45	197	0
Oct-13	12	17	64	-52	52	-52	64	0	0
Nov-13	152	20	95	57	104	52	95	4	0
Dic-13	24	25	147	-123	0	-104	128	0	-19

Tabla A8. Balance Hídrico Edáfico- Zona de estudio.

	P (mm)	T (°C)	ETP	P-ETP	Alm	Δ alm	Etr	Ex	Def
Ene-14	285	24	133	152	104	0	133	152	0
Feb-14	292	22	113	179	104	0	113	179	0
Mar-14	83	20	83	0	104	0	83	0	0
Abr-14	137	17	62	75	104	0	62	75	0
May-14	105	14	37	68	104	0	37	68	0
Jun-14	64	11	21	43	104	0	21	43	0
Jul-14	170	12	28	142	104	0	28	142	0
Ago-14	26	13	36	-10	94	-10	36	0	0
Set-14	249	15	51	198	104	10	51	188	0
Oct-14	169	19	80	89	104	0	80	89	0
Nov-14	271	20	95	176	104	0	95	176	0
Dic-14	44	22	122	-78	26	-78	122	0	0
Ene-15	122	23	124	-2	102	-2	124	0	0
Feb-15	44	23	124	-80	22	-80	124	0	0
Mar-15	84	22	98	-14	8	-14	98	0	0
Abr-15	8	19	73	-65	0	-8	16	0	-57
May-15	24	16	47	-23	0	0	24	0	-23
Jun-15	8	13	26	-18	0	0	8	0	-18
Jul-15	31	11	25	6	6	6	25	0	0
Ago-15	306	15	42	264	104	98	42	165	0
Set-15	38	13	37	1	104	0	37	1	0
Oct-15	80	15	51	29	104	0	51	29	0
Nov-15	94	18	85	9	104	0	85	9	0
Dic-15	217	22	122	95	104	0	122	95	0
Ene-16	30	24	134	-104	0	-104	134	0	0
Feb-16	133	25	136	-3	0	0	133	0	-3
Mar-16	159	20	86	73	73	73	86	0	0
Abr-16	281	18	65	216	104	31	65	185	0
May-16	76	12	30	46	104	0	30	46	0
Jun-16	41	10	17	24	104	0	17	24	0
Jul-16	260	11	24	236	104	0	24	236	0
Ago-16	150	12	33	117	104	0	33	117	0
Set-16	96	13	40	56	104	0	40	56	0
Oct-16	92	16	64	28	104	0	64	28	0
Nov-16	126	20	96	30	104	0	96	30	0
Dic-16	120	23	128	-8	96	-8	128	0	0
Ene-17	151	24	131	20	104	0	131	20	0
Feb-17	15	24	133	-118	0	-104	119	0	-14
Mar-17	118	21	92	26	26	26	92	0	0
Abr-17	67	19	67	0	25	0	67	0	0
May-17	203	15	43	160	104	79	43	82	0
Jun-17	3	13	27	-24	80	-24	27	0	0
Jul-17	290	13	31	258	104	24	31	234	0
Ago-17	110	14	37	73	104	0	37	73	0
Set-17	209	16	52	157	104	0	52	157	0
Oct-17	139	17	64	75	104	0	64	75	0
Nov-17	70	19	84	-14	90	-14	84	0	0
Dic-17	65	23	125	-60	31	-60	125	0	0

Tabla A8. Balance Hídrico Edáfico- Zona de estudio.

12.3 Anexo III. Censo de Pozos.

Nº POZO	PROPIETARIO	Departamento	X	Y	Empresa
1763	Seccional 13	Lavalleja	639306	6202864	Dinamige
1764	Escuela 79	Lavalleja	635252	6201997	Dinamige
1770	Parada Ortiz	Lavalleja	647300	6192512	Dinamige
1774	Marcela Hernández	Lavalleja	630554	6207369	Dinamige
1784	Cedrés	Lavalleja	627493	6210503	Dinamige
1788	Curcio	Lavalleja	629366	6207403	Dinamige
1810	Javier Umpierrez	Lavalleja	642744	6193612	Dinamige
1817	Bianchini	Lavalleja	633100	6202249	Dinamige
1818	Tambo Pérez	Lavalleja	636395	6193829	Dinamige
1819	Rosa Segade	Lavalleja	635417	6191963	Dinamige
1822	Brianza	Lavalleja	637233	6195277	Dinamige
1826	Quinteros	Lavalleja	643927	6202366	Dinamige
1828	Estévez	Lavalleja	631163	6202427	Dinamige
1832	Bon	Lavalleja	631115	6203767	Dinamige

Tabla A9. Censo de Pozos correspondientes al área de estudio.

12.4 Anexo IV. Mapa de distribución de puntos.



Figura A1. Mapa de distribución de puntos de Campo.

12.5 Anexo V. Perfiles de Pozos.

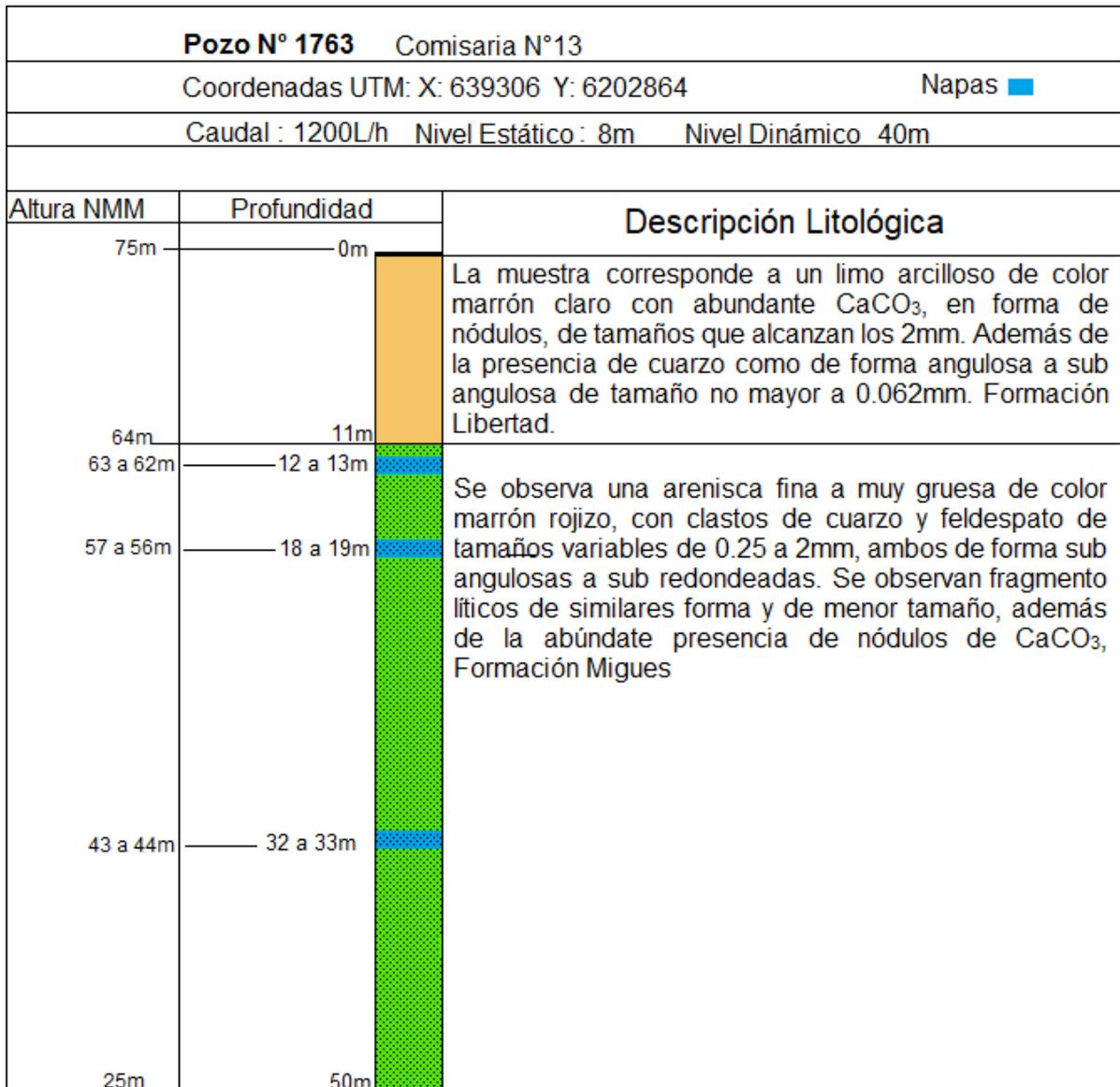


Figura A2. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1763.

Pozo N° 1770 Parada Ortiz			
Coordenadas UTM: X:647300 Y: 6192512		Napas ■	
Caudal: 4500 L/h. Nivel Estático :8.5m. Nivel Dinámico: 14.15m			
Altura NMM	Profundidad	Descripción Litológica	
102m	0m		La muestra corresponde a un limo-arcilloso de color gris claro a marrón claro, con clastos de cuarzo como principales no superando los 0.062mm de tamaño, con forma sub angulosa. Se observan nódulos de CaCO ₃ , del tamaño del centímetro. Formación Libertad.
99m	3m		
87 a 86m	15 a 16m		Se observa una arenisca conglomerádica de color marrón claro, con clastos de cuarzo y feldespato como principales, de tamaños que varían entre 0.25mm a 2.5cm, su formas son angulosa a sub angulosa. Formación Cañada Solís.
83m	19m		
78.5 a 76.5m	23.5 a 25.5m		Se observa una muestra de color marrón, con clastos de cuarzo y feldespato principalmente, además se encuentran clastos de rocas ígneas máficas de tamaños del centímetro aproximadamente. El color marrón es producto de la alteración de los minerales correspondientes a los clastos de las rocas máficas presentes. Formación Puerto Gómez
68m	34m		

Figura A3. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1770.

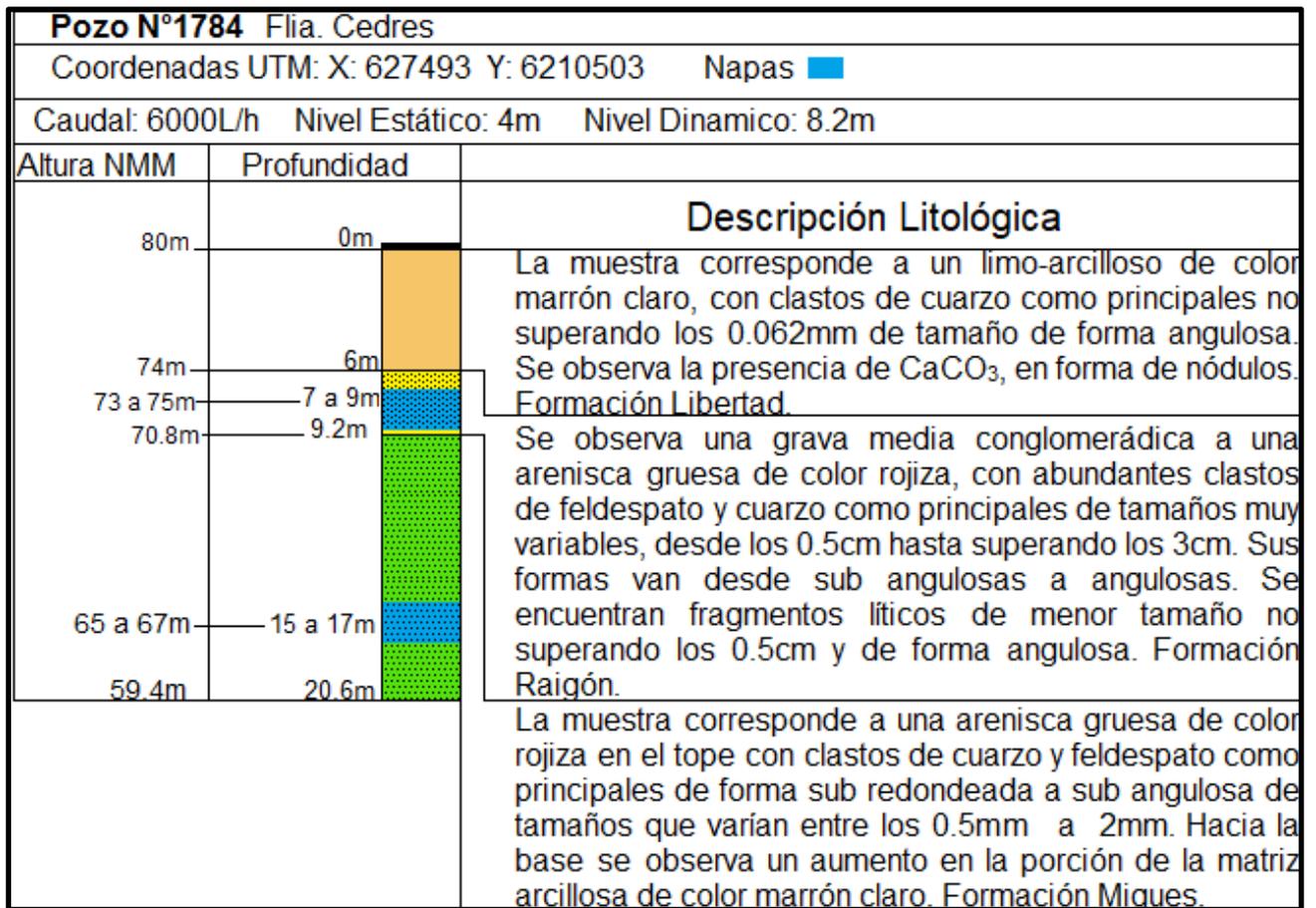


Figura A4. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1784.

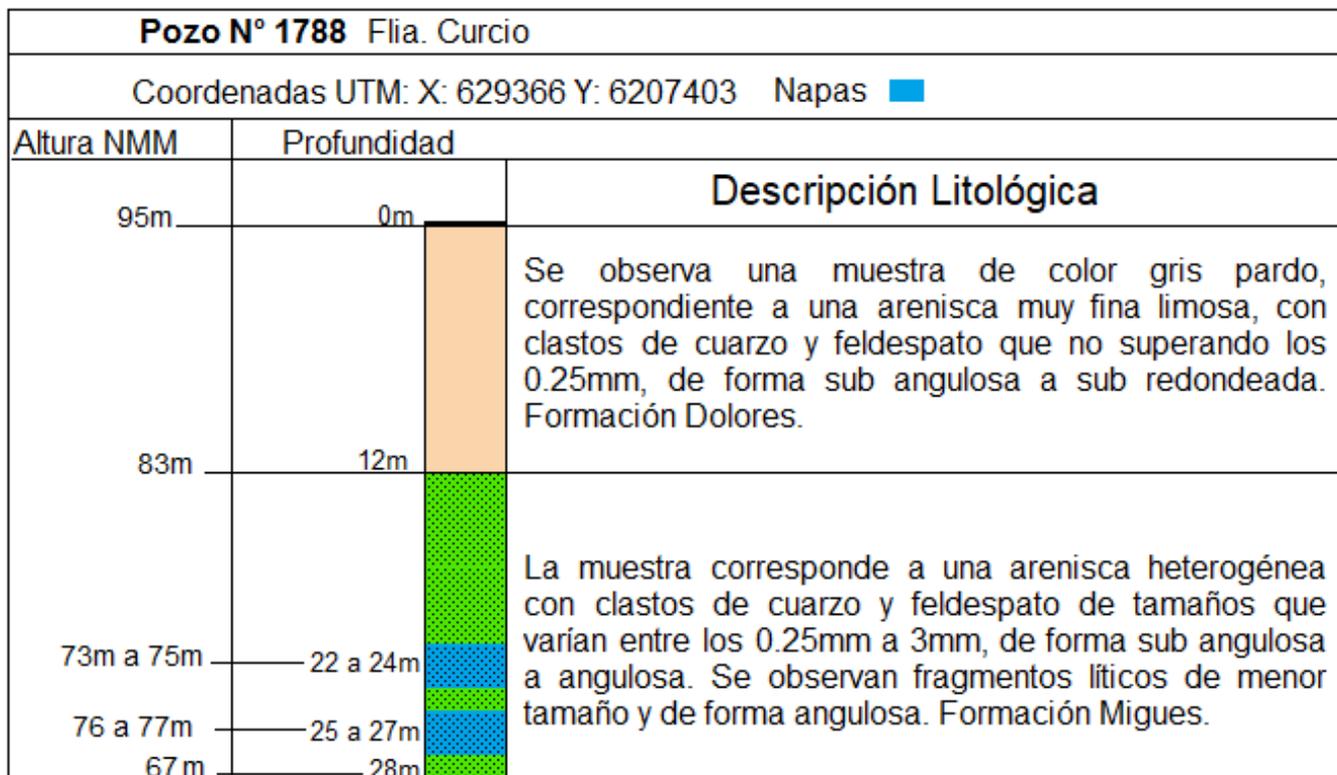


Figura A5. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1788.

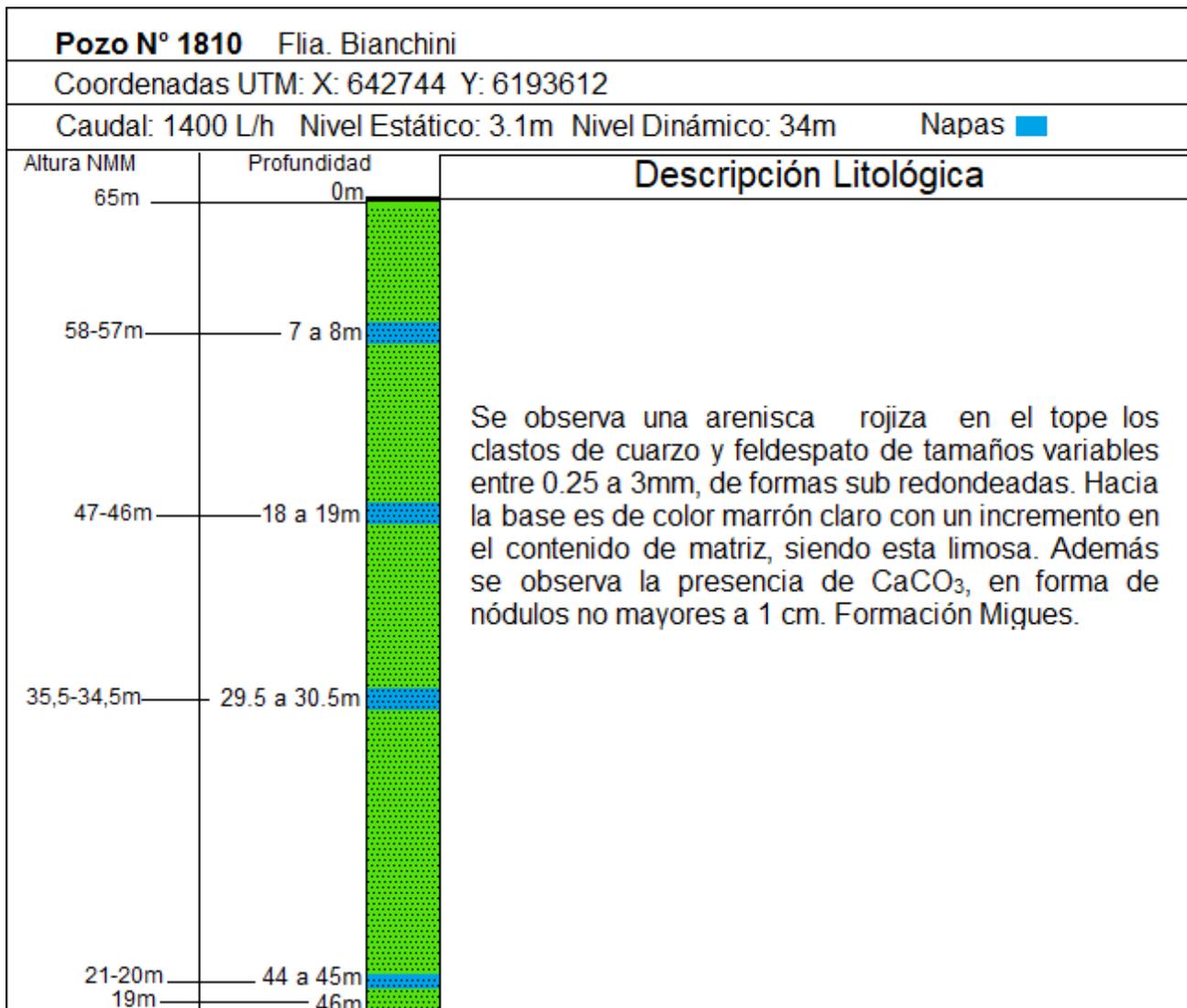


Figura A6. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1810

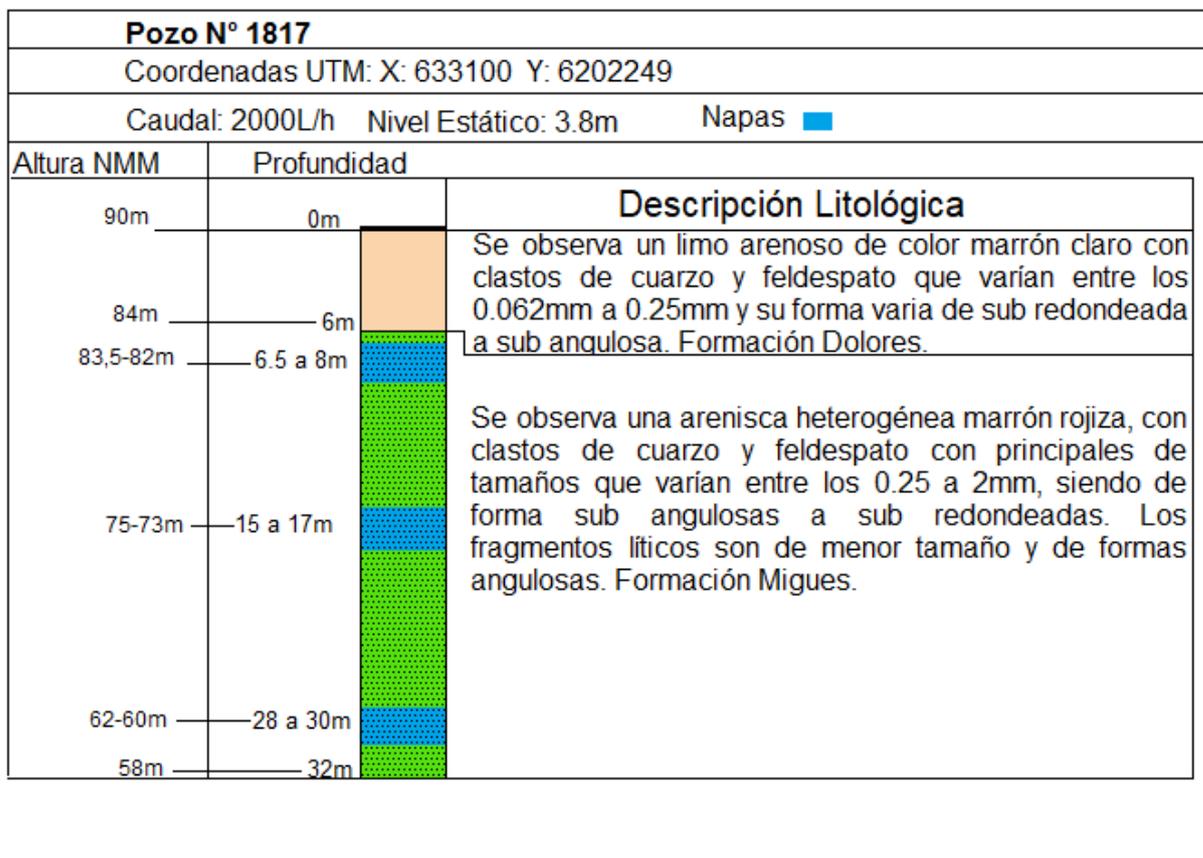


Figura A7. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1817

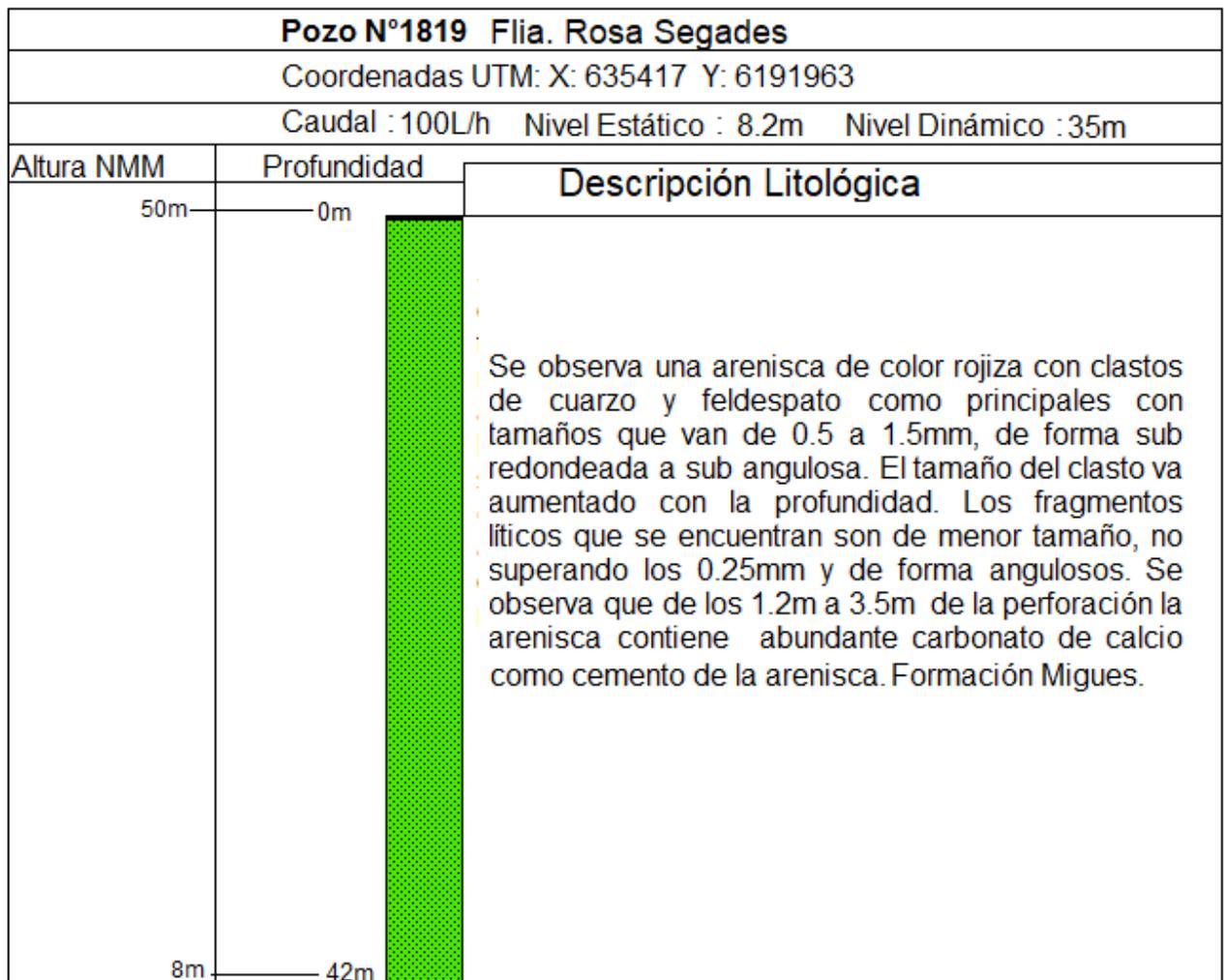


Figura A8. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1819

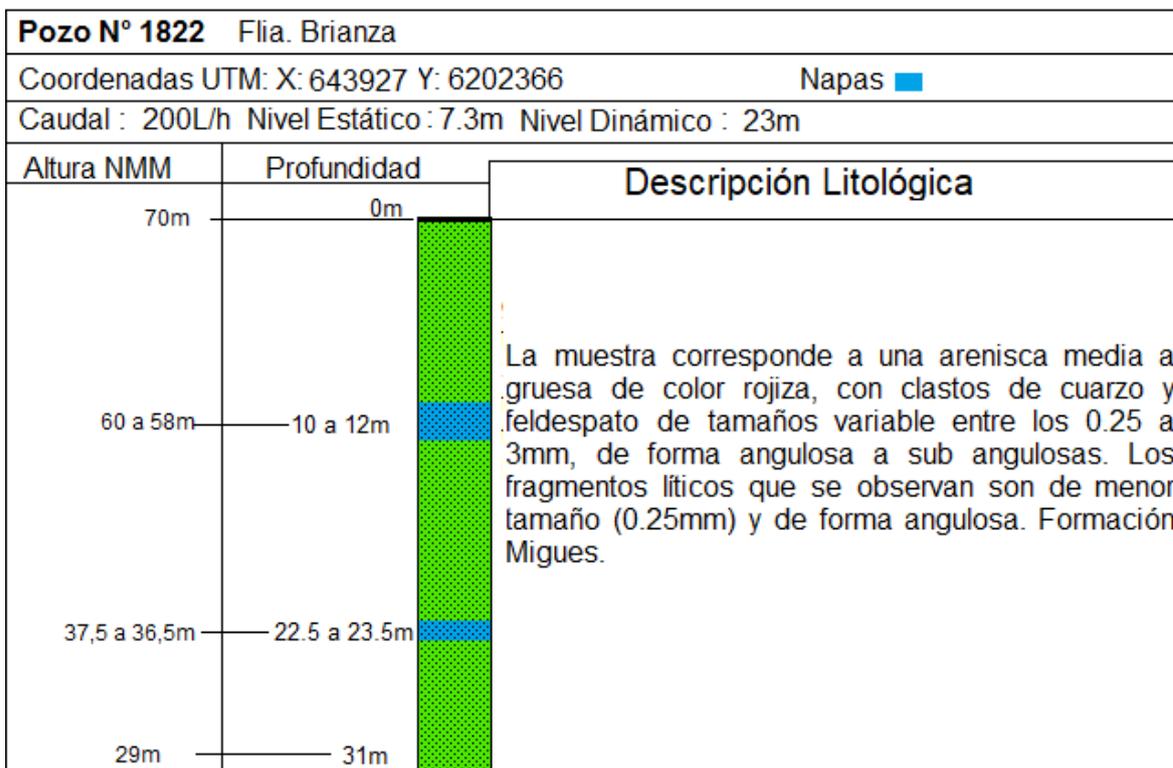


Figura A9. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1822.

Pozo N° 1826 Flia. Quinteros		
Coordenadas UTM: X: 643927 Y: 6202366 Napas ■		
Caudal : 6500L/h Nivel Estático : 5.3m Nivel Dinámico : 18.5m		
Altura NMM	Profundidad	Descripción Litológica
106m	0m	Se observa un sedimento limoso-arcilloso de color marrón claro con abundante CaCC_3 , en forma de nódulos, además de la presencia de cuarzo como clasto principal de forma angulosa a sub angulosa de tamaño no mayor a 0.062mm. Formación Libertad.
99m	7m	
98 a 96.5	8 a 9.5m	La muestra corresponde a una arenisca media en el tope a muy gruesa en la base de color marrón rojizo, con clastos de cuarzo y feldespato como principales, con tamaños que varían entre los 0.25mm a 2mm de forma sub redondeada a sub angulosa. Se observan nódulos de CaCO_3 , del tamaño del centímetro. Formación Migues.
94 a 93m	12 a 13m	
86 a 85m	20 a 21m	
83.5m	22.5m	

Figura A10. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1826

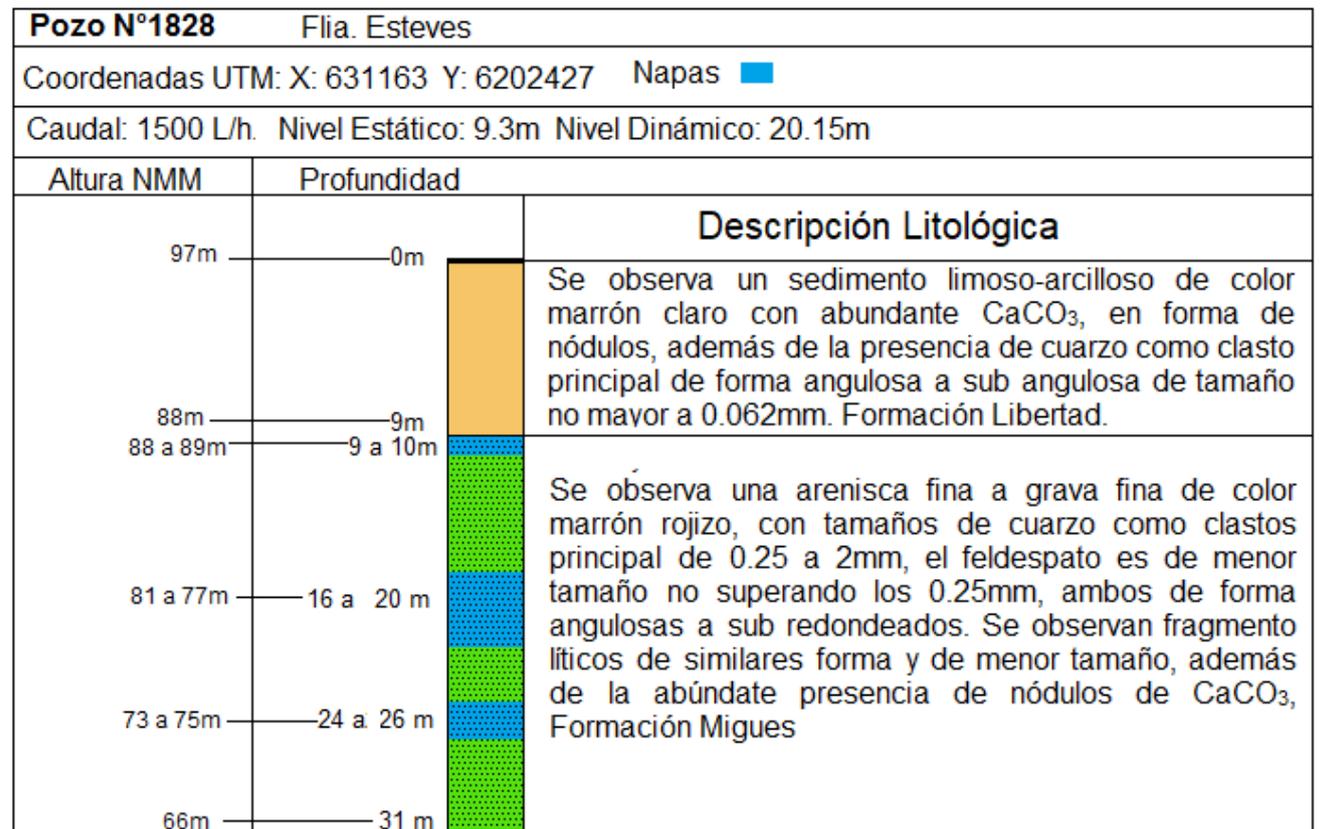


Figura A11. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1828

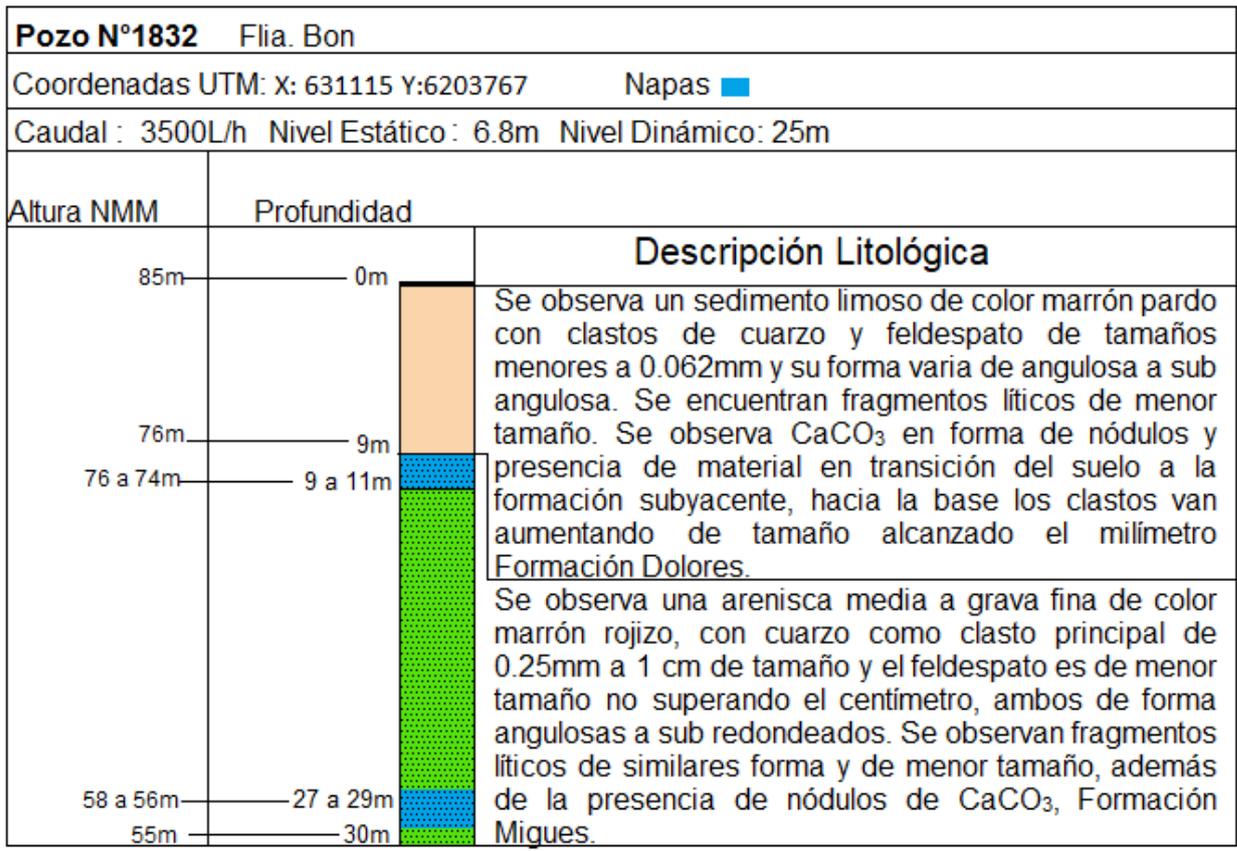


Figura A12. Perfil Litológico correspondiente al pozo N°1832

12.6 Anexo V I. Resultados de Laboratorio.

OCTUBRE 2016													
N° de Pozo		1763	1764	1774	1788	1810	1817	1818	1819	1822	1826	LQ	
Fecha de Muestreo		20/10/2016	20/10/2016	20/10/2016	20/10/2016	17/10/2016	20/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	17/10/2016	20/10/2016	*****	
Datos de Campo	pH	7,60	7,53	7,71	7,80	7,14	7,68	7,10	7,43	7,16	7,50	*****	
	Cond. $\mu\text{S/cm}$	1467	1062	436	722	790	727	858	1109	577	1130	*****	
	Temp. °C	15,0	-	17,8	17,6	18,3	17,1	18,0	18,7	19,2	18,4	*****	
	°C												
LABORATORIO	pH (unidades)	Resultado	7,68	7,55	7,66	7,65	7,37	7,38	7,22	7,59	7,30	7,41	
		±	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
	Conductividad	1481	1100	445	944	847	732	891	1171	617	1145		
	Turbidez NTU	Resultado	2,7	0,50	7,5	52	1,9	5,6	1,2	4,6	1,0	2,4	<0,1
		±	0,3	0,05	0,7	5	0,2	0,5	0,1	0,5	0,1	0,2	
	Alcalinidad Total (mg/L)	Resultado	496	529	209	374	444	434	496	503	329	584	
		±	25	25	10	20	20	25	25	25	20	30	
	Alcalinidad fenolftaleín	Resultado	*	*	No contiene	No contiene	No contiene	*	No contiene	No contiene	No contiene	No contiene	
		±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Dureza (mg/L)	Resultado	196	169	95	111 *	246	205	350	175	260	237	
		±	10	10	5	5	15	10	20	10	15	15	
	Sólidos totales	Resultado	818	427	301	461	481	251	485	770	363	552	
		±	80	45	30	45	50	25	50	80	35	55	
	Calcio (mg/L)	Resultado	103	102	60*	67 *	156	141	196	107	205	139	
		±	5	5	5	5	10	10	10	5	10	10	
	Magnesio (mg/L) Mg ⁺²	Resultado	22,5	16,3	8,6 *	10,7 *	22,1	15,6	37,6	16,6	13,5	23,9	
		±	1,0	1,0	0,4	0,5	1,0	1,0	2,0	1,0	0,7	1,0	
	Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	Resultado	24	23	16	13	11	< 10	22	< 10	< 10	< 10	< 10
		±	2	2	2	1	1	-	2	-	-	-	
	Nitritos (mg/L NO ₂ ⁻)	Resultado	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
±		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cloruros (mg/L Cl ⁻)	Resultado	109	36	13	63	8	< 5	8	79	8	33	< 5	
	±	10	5	1	5	1		1	10	1	5		
Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	Resultado	138	37,2	<10	30,8	37,4	<10	<10	32,5	<10	<10	<10	
	±	15	4,0	-	3,0	4,0	-	-	3,5	-	-		
Fósforo total	Resultado	< 0.05	< 0.05	0,06	0,07	< 0.05	0,07	< 0.05	< 0.05	0,11	0,07	< 0.05	
	±	-	-	0,01	0,01	-	0,01	-	-	0,01	0,01		
Sílice (mg/L)	Resultado	60,4	59,3	49,2	24,4	53,7	64,9	46,0	34,2	54,2	46,1		
	±	3,0	3,0	2,5	1,0	3,0	3,0	2,5	2,0	3,0	2,5		

Tabla A 10. Resultados químicos de laboratorio, octubre 2016.

JULIO 2017												
N° de Pozo		1763	1764	1774	1810	1818	1819	1822	1826	1828	LQ	
Fecha de Muestreo		12/07/2017. 16:15	12/07/2017. 16:45	12/07/2017. 11:45	11/07/2017. 11:00	11/07/2017. 11:30	11/07/2017. 12:15	11/07/2017. 11:15	13/07/2017. 15:45	12/07/2017. 10:20	*****	
Datos de Campo	pH	7.63	-	7.62	7.71	7.52	8.07	7.70	7.64	8.32	*****	
	Cond. µS/cm	1337	960	1002	852	856	1126	644	1259	826	*****	
	Temp. °C °C	15.9	16.2	17.0	16.9	18.4	19.1	18.0	20.1	15.4	*****	
LABORATORIO	pH		7.64	7.58	7.43	7.52	7.34	7.68	7.48	7.75	7.90	*****
		±	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	*****
	Cond.(µS/cm)		1331	903	864	815	815	1133	612	1227	768	
	Dureza (mg/L CaCO ₃)	Resultado	191	206	184	240	345	183	261	168	83.9	
		±	10	10	9	12	17	9	13	8	4.0	
	Sólidos totales (mg/L)	Resultado	785.0	499.0	505.0	554.0	524.0	714.0	361.0	730.0	520.0	< 100
		±	#N/A	#N/A								
	Calcio (mg/L CaCO ₃)	Resultado	96.4	122	110	149	180	105	207	92.5	47.8	*****
		±	9.5	12	11	15	18	10	21	9.5	5.0	
	Magnesio (mg/L) Mg ²⁺	Resultado	23.0	20.6	18.2	22.2	40.3	19.2	13.4	18.4	8.8	< 3,0
		±	4.5	4.0	3.5	4.5	8.5	4.0	2.5	4.0	2.0	
	Sodio (**) (mg/L Na ⁺)	Resultado	224	155	117	99.3	59.9	191	29.0	234	147	*****
		±	20	15	10	10.0	5.0	20	3.0	20	15	
	Potasio (**) (mg/L K ⁺)	Resultado	1.9	2.3	2.2	1.4	1.6	2.4	11.6	1.7	2.7	*****
		±	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	1.0	0.2	0.3	
	Cloruros (mg/L Cl ⁻)	Resultado	73.6	29.4	75.5	8.3	6.2	82.1	10.0	47.9	< 5,0	< 5,0
		±	7.5	3.0	7.5	1.0	1.0	8.0	1.0	5.0	-	
	Sulfatos (mg/L SO ₄ ²⁻)	Resultado	118	36.5	30.3	33.6	<10	31,4*	<10	46.6	<10*	< 10
		±	12	4.0	3.0	3.5	-	3.0	-	5.0	-	
	Fósforo total (mg/L P)	Resultado	< 0,05	< 0,05	0.07	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0.07	0.06	0.05	< 0,05
±		-	-	0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01		
Sílice (mg/L)	Resultado	55.8	56.5	56.8	55.1	54.5	39.3	57.8	60.5	54.6	*****	
	±	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	4.0	6.0	6.0	5.5		

Tabla A 11. Resultados químicos de laboratorio, julio 2017.