



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



TRABAJO FINAL DE LA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA

---

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DEL AGUA  
SUBTERRÁNEA DE LA FORMACIÓN VALENTINES:  
LINEA DE BASE PARA LA GESTION

---

Autor: Damián Gonzalo Fork Antelo  
Tutora: Dra. María Paula Collazo

Facultad de Ciencias  
Universidad de la República

Abril  
2025



## INDICE DE CONTENIDOS

|            |                                                                       |           |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>  | <b>Introducción .....</b>                                             | <b>3</b>  |
| <b>2.</b>  | <b>Alcance .....</b>                                                  | <b>3</b>  |
| <b>3.</b>  | <b>Objetivo.....</b>                                                  | <b>4</b>  |
| <b>4.</b>  | <b>Metodología.....</b>                                               | <b>5</b>  |
| 4.1.       | DESCRIPCIÓN.....                                                      | 5         |
| 4.2.       | EQUIPOS Y MATERIALES .....                                            | 5         |
| 4.3.       | RECIPIENTES Y ETIQUETADO .....                                        | 5         |
| 4.4.       | TRANSPORTE .....                                                      | 7         |
| 4.5.       | PROCEDIMIENTO DE MUESTREO .....                                       | 7         |
| <b>5.</b>  | <b>Área de estudio .....</b>                                          | <b>11</b> |
| <b>6.</b>  | <b>Antecedentes .....</b>                                             | <b>12</b> |
| 6.1.       | SUELOS .....                                                          | 12        |
| 6.2.       | GEOMORFOLOGÍA .....                                                   | 15        |
| 6.3.       | HIDROGRAFÍA.....                                                      | 18        |
| 6.4.       | GEOLOGÍA.....                                                         | 19        |
| 6.4.1.     | Contexto geológico regional.....                                      | 19        |
| 6.4.2.     | Geología local .....                                                  | 22        |
| 6.5.       | HIDROGEOLOGÍA .....                                                   | 26        |
| 6.6.       | HIDROGEOQUÍMICA.....                                                  | 28        |
| <b>7.</b>  | <b>Marco teórico-conceptual .....</b>                                 | <b>31</b> |
| 7.1.       | HIDROGEOLOGÍA .....                                                   | 31        |
| 7.2.       | HIDROGEOQUÍMICA.....                                                  | 31        |
| 7.2.1.     | Procesamiento de datos analíticos: .....                              | 33        |
| 7.2.2.     | Clasificación del tipo de agua: .....                                 | 34        |
| 7.3.       | NORMATIVA URUGUAYA SOBRE REQUISITOS PARA EL AGUA SEGUN SUS USOS ..... | 34        |
| <b>8.</b>  | <b>Resultados.....</b>                                                | <b>37</b> |
| 8.1.       | GEOLOGÍA.....                                                         | 37        |
| 8.2.       | HIDROGEOLOGÍA .....                                                   | 39        |
| 8.2.1.     | Profundidad.....                                                      | 41        |
| 8.2.2.     | Análisis de dirección de fracturas de pozo .....                      | 43        |
| 8.2.3.     | Caudal.....                                                           | 43        |
| 8.2.4.     | Niveles de aporte .....                                               | 44        |
| 8.2.5.     | Piezometría.....                                                      | 45        |
| 8.3.       | HIDROGEOQUÍMICA.....                                                  | 48        |
| 8.3.1.     | Parámetros físico-químicos.....                                       | 48        |
| 8.3.2.     | Análisis de los resultados analíticos .....                           | 57        |
| 8.3.3.     | Clasificación del agua .....                                          | 76        |
| 8.3.4.     | Evaluación de la calidad del agua para consumo humano .....           | 82        |
| 8.4.       | DISCUSIÓN.....                                                        | 83        |
| <b>9.</b>  | <b>Conclusiones .....</b>                                             | <b>86</b> |
| 9.1.1.     | Hidrogeología.....                                                    | 86        |
| 9.1.2.     | Geoquímica.....                                                       | 86        |
| 9.1.3.     | Evaluación de requisitos del agua para el consumo humano .....        | 87        |
| 9.1.4.     | Recomendaciones .....                                                 | 88        |
| <b>10.</b> | <b>Agradecimientos .....</b>                                          | <b>89</b> |
| <b>11.</b> | <b>Referencias .....</b>                                              | <b>90</b> |
| <b>12.</b> | <b>ANEXOS.....</b>                                                    | <b>96</b> |



## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los años 2010 y 2011 Minera Aratirí desarrolló un conjunto de actividades tendientes a evaluar la potencialidad de un yacimiento ferrífero en las inmediaciones de la localidad Valentines, en los departamentos de Durazno, Florida y Treinta y Tres, así como la línea de base ambiental para la obtención de las correspondientes autorizaciones ante un posible escenario de explotación comercial.

En el marco de esas tareas, como estudiante de la Licenciatura en Geología mediante una pasantía en una consultora de ingeniería y servicios ambientales, y posteriormente como colaborador directo del grupo Zamin Ferrous a través de su filial Minera Aratirí; integré el equipo técnico y ejercí funciones en el ámbito de la exploración minera y los estudios ambientales correspondientes a la definición de la línea de base ambiental del proyecto.

En el marco de los trabajos de la línea de base ambiental, y en particular sobre la componente hidrogeológica, Minera Aratirí definió y ejecutó 38 perforaciones para el control y monitoreo sistemático de la calidad del agua subterránea en la región de estudio. Como integrante del grupo técnico participé de las actividades de monitoreo de calidad del agua subterránea, tanto en el muestreo de las perforaciones como en el acondicionamiento de las muestras, su custodia y la gestión de datos de campo y laboratorio.

El presente trabajo pretende profundizar en el análisis de calidad de agua de la Formación Valentines y caracterizarla desde el punto de vista hidrogeoquímico, tomando de base los parámetros fisicoquímicos evaluados en las campañas de monitoreo de 2011 como insumo para la definición de una línea de base para la gestión de los recursos hídricos de la región. A esos efectos se consideró 17 de las 38 perforaciones por entenderse que la calidad de sus aguas era representativa del medio hidrogeológico en estudio. Los registros de las 21 perforaciones restantes no fueron considerados en el presente análisis por tratarse de perforaciones estériles o hidráulicamente inadecuadas para exponer de forma unívoca la calidad del agua del acuífero.

Para las perforaciones consideradas se analizó la concentración de componentes mayoritarios, como iones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , componentes minoritarios y elementos traza. Asimismo, se evaluó parámetros fisicoquímicos *in-situ*.

## 2. ALCANCE

Para el presente trabajo se tomó de base los registros de ensayos analíticos, cuya titularidad corresponde a Minera Aratirí, que formaron parte del estudio de línea de base ambiental publicado en su web y durante la puesta de manifiesto pública durante el período de gestión de los permisos mineros y ambientales del proyecto minero. Se consideró además una serie de datos fisicoquímicos tomados *in situ* de cuatro campañas de monitoreo. A los fines del presente trabajo se utilizaron los referidos datos bajo autorización del entonces encargado en jefe del área de geología, Derick Helm.



Por otra parte, se consultó el inventario público de perforaciones y sus datos asociados disponible en los servicios web de DINAMIGE<sup>1</sup> y DINAGUA<sup>2</sup>.

Del conjunto de la información obtenida, cuyo detalle consta en el anexo, no se consideraron algunos de los datos para su integración al presente análisis por alguno de los siguientes motivos: i) la información piezométrica del inventario era incompleta o anterior al año 1980, lo que generaba brechas temporales con más de 30 años de diferencia; ii) la descripción de perfiles litológicos era escueta, incompleta o nula, sin mayores aportes en cuanto a litologías o contactos, así como carente en la mayor parte de los casos de la ubicación de los aportes de agua subterránea. iii) los registros no aportaban datos de evaluación de calidad o la información disponible no se adecuaba a los efectos de las valoraciones pretendidas en el presente trabajo.

Las 17 perforaciones consideradas para el análisis de calidad de agua del acuífero presentan características de diseño propias de perforaciones con fines de monitoreo, con un perfil constructivo y litológico conocido y documentado, adjunto en anexos. La profundidad de estas perforaciones estuvo comprendida en el rango de 19 a 122 metros, medidos desde el nivel de superficie del terreno. Los caudales erogados no superaron los 600 litros/hora.

### 3. OBJETIVO

Evaluar químicamente el agua subterránea de la Formación Valentines de acuerdo a las unidades geológicas presentes y la profundidad de los aportes, interpretando los resultados de análisis químicos de un muestreo realizado en el año 2011 a través de representaciones gráficas.

Establecer una línea de base hidrogeoquímica como insumo para la gestión del agua subterránea en esa región geográfica de la Formación Valentines.

Las actividades planteadas fueron las siguientes:

- 1) Confeccionar un mapa hidroquímico a partir de diagramas de Stiff a escala de visualización 1:200.000.
- 2) Confeccionar mapas piezométricos sectoriales representativos del período 2011 a escala de visualización 1:200.000.
- 3) Discretizar las clases de agua en la región de estudio mediante diagramas de Piper.
- 4) Determinar aptitud del agua para consumo humano de acuerdo a las definiciones de la Norma UNIT 833:2008.

---

<sup>1</sup>[http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE\\_mvc2/](http://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/DINAMIGE_mvc2/) - consultado en octubre de 2021

<sup>2</sup><https://lastmile.presidencia.gub.uy/portal/apps/webappviewer/index.html?id=8666d11d6b664b39b58a2b7471f64333> consultado enero de 2022



## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Descripción

El desarrollo de la actividad se puede dividir en tres etapas: una primera etapa de gabinete para la recopilación y revisión de antecedentes geológicos e hidrogeológicos del área de estudio; una segunda etapa con trabajo de campo para el registro de niveles estáticos de 17 perforaciones, el muestreo de agua<sup>3</sup>, medición de los parámetros fisicoquímicos *in situ* y remisión de muestras al laboratorio<sup>4</sup>. Finalmente, una tercera etapa nuevamente de gabinete para el procesamiento de los datos de química analítica y los parámetros fisicoquímicos tomados en campo con el fin de confeccionar diagramas, cartografía y clasificar el agua subterránea.

### 4.2. Equipos y materiales

Para la actividad se utilizó equipamiento suministrado por la empresa minera, a saber: medidor electrónico del nivel de agua milimetrado con cable de 100 metros; equipo de bombeo Geotech SS Geosub Sampling Pump de 12V con controlador a 110V (figura 1); grupo electrógeno Hyundai; sonda multiparamétrica YSI MPS 556 (figura 2) con sensores de pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto; frascos de muestreo para cada perforación, accesorios y consumibles tales como pissetas plásticas de 500 mL, agua destilada, papel absorbente, jeringas de polietileno de 50 mL, portafiltros de polipropileno de 25 mm de diámetro, filtros de membrana de nitrato de celulosa de 25 mm de diámetro con apertura de poro de 0,45  $\mu\text{m}$ , soluciones estándar de calibración de pH y conductividad eléctrica, ácido nítrico al 65 % en volumen, pipetas, guantes de látex, antiparras, cinta métrica, jarro medidor, celda de circulación, bolsas de nylon, hielo, gel-pack, conservadoras plásticas y vehículo.

Para el análisis de datos en la segunda etapa de gabinete se utilizó el software para la gestión de planillas de datos, modelado y análisis basado en sistemas de información geográfica, estos fueron Microsoft Excel®, Goldensoftware Surfer®, Grapher®, QGIS Desktop® y complementos

### 4.3. Recipientes y etiquetado

Los recipientes con sus respectivas tapas, se encontraban enjuagados, con preservante en los casos que así lo requería y etiquetados tal como los envió el laboratorio al que se le encomendó los análisis. Una excepción fueron los frascos destinados al muestreo de metales disueltos donde el preservante ( $\text{HNO}_3$  65 % en volumen) fue adicionado con posterioridad a la colecta en volumen suficiente para alcanzar un pH inferior a 2. En todos los casos la información se etiquetó con el código de la estación de muestreo, la fecha y hora de la toma de muestra, la identificación del responsable del muestreo y el código para el tipo de ensayo a practicar, esto último establecido por el laboratorio.

<sup>3</sup> El trabajo de campo se ajustó en líneas generales al procedimiento estándar por Custodio y Llamas (1983).

<sup>4</sup> Las determinaciones de laboratorio se realizaron en instalaciones del Grupo Induser bajo los procedimientos señalados en el apartado I del anexo.



Figura 1: Equipo de bombeo Geosub Sampling Pump



Figura 2: Sonda multiparamétrica YSI MPS556

Un juego completo de muestreo constaba de nueve frascos, sus características eran las que se describen en la tabla 1:

Tabla 1: Integración del conjunto de envases de muestreo

| cantidad | tipo             | volumen  | código     | preservante                                        |
|----------|------------------|----------|------------|----------------------------------------------------|
| 1        | plástico         | 1 litro  | FQ         | -                                                  |
| 1        | vidrio ámbar     | 125 mL   | Pt         | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                     |
| 1        | vidrio ámbar     | 125 mL   | PQAR       | CuSO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> |
| 2        | plástico estéril | 125 mL   | Micro      | -                                                  |
| 1        | vidrio ámbar     | 1 litro  | GyA        | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                     |
| 1        | bidón plástico   | 5 litros | FQ         | -                                                  |
| 1        | plástico         | 500 mL   | CN         | NaOH                                               |
| 1        | plástico         | 250 mL   | A disuelto | HNO <sub>3</sub>                                   |

Los códigos de etiquetado y su relación con el tipo de ensayo se indica en la tabla 2.

Tabla 2: Etiquetado y análisis destino

| etiqueta   | tipo de ensayo                                                                                                  |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A disuelto | Concentración de metales disueltos                                                                              |
| FQ (1 L)   | pH, conductividad eléctrica, color, nitrito, nitrato                                                            |
| Pt         | Fósforo total                                                                                                   |
| FQ (5 L)   | DBO <sub>5</sub> , dureza total, cloruros, fluoruros, sulfatos, sulfuros, alcalinidad (carbonato y bicarbonato) |
| CN         | Cianuro total                                                                                                   |

No fueron considerados en el presente análisis los parámetros ensayados como GyA (grasas y aceites), Micro (coliformes totales y fecales), PQAR (sustancias fenólicas) y Pt (fósforo total).



#### 4.4. Transporte

Todas las muestras fueron transportadas desde el área fuente hasta el punto de entrega definido por el laboratorio dentro de las 14 horas posteriores a su muestreo (caducidad de la muestra para ensayos microbiológicos). Se envolvieron previamente en bolsas individuales herméticas y se acondicionaron dentro de conservadoras plásticas refrigeradas con hielo y/o *gel pack* de acuerdo a disponibilidad con el objetivo de mantener refrigeradas entre 0 y 6 °C.

#### 4.5. Procedimiento de muestreo

La toma de muestras se realizó en base a un procedimiento prefijado por la empresa minera que determinaba los siguientes pasos:

- 1) Lectura del nivel piezométrico de la perforación, correspondiente al nivel estático: la lectura del nivel del agua se realizó en cada sondeo utilizando un indicador de nivel de agua graduado. Las mediciones del nivel de agua se tomaron al menos en dos oportunidades consecutivas para reducir las posibilidades de error en la lectura. El punto de referencia para la medida fue por defecto el borde superior del entubado de PVC del cual era conocida su cota.
- 2) Cálculo del volumen de agua contenida en la perforación sin considerar el espacio anular ocupado por los sedimentos del prefiltro. El cálculo del volumen está dado por la siguiente ecuación:

$$V_p = \pi R^2 (P_t - P_{np})$$

Siendo  $V_p$  el volumen de la perforación que está exclusivamente ocupado por agua;  $\pi$  la constante que relaciona la longitud de una circunferencia con su diámetro (3,1416);  $R$  el radio del entubado de la perforación;  $P_t$  la profundidad total de la perforación y  $P_{np}$  la profundidad medida desde la boca del entubado al nivel piezométrico.

- 3) Purga del pozo con registro continuo de caudal y parámetros de rápida variabilidad: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica.
- 4) Muestreo del agua cuando se haya extraído un volumen de agua igual o superior a tres volúmenes de pozo o cuando las medidas de pH, temperatura y conductividad se mantuvieran estables; esto último definido por la empresa minera con el siguiente criterio: las variaciones entre lecturas consecutivas a intervalos de 3 minutos para caudales de bombeo iguales o superiores a 2 L/min, y de 5 minutos para caudales inferiores a 2 L/min, debían ser inferiores al 5 %. En las figuras 3 a 8 se muestra la distribución de los equipos para el bombeo y medición.
- 5) Acondicionamiento de las muestras, refrigeración y precintado del contenedor, cierre del registro de datos, llenado de la planilla de control de custodia y transporte hacia lugar definido por el laboratorio para su entrega.

Las operaciones se realizaron con las siguientes consideraciones:

No se utilizaron dispositivos que tuviera piezas aceitadas en contacto con el agua, que inyectaran gases o que causen turbulencia y mezcla dentro del pozo. Las mangueras y bomba sumergible eran escurridas y enjuagadas con agua destilada en cada cambio de perforación.

Se conformó una celda de circulación de flujo continuo para realizar la lectura de parámetros *in situ* con el electrodo sumergido en contacto con el agua extraída de forma previa a que esta



tome contacto con la atmósfera. La alimentación por lo tanto se realizaba desde el fondo de la celda en posición adyacente a los electrodos de la sonda multiparamétrica. El movimiento del agua era continuo.

Previo al inicio de cada jornada de muestreo se realizó la calibración de pH del equipo con soluciones estándar de calibración pH  $4,01 \pm 0,02$ , pH  $7 \pm 0,02$  y pH  $10,01 \pm 0,02$ . Asimismo, la de conductividad eléctrica con estándar de KCl 0,01M de  $1413 \pm 12 \mu\text{S/cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ . El sensor de oxígeno disuelto se calibró en todos los casos en su punto de saturación de acuerdo al manual del fabricante.

Para el muestreo de metales disueltos se filtró previamente la muestra con filtros de nitrato de celulosa de  $0,45 \mu\text{m}$  de diámetro de poro. El filtrado se realizó con jeringa de polietileno de 50 mL y porta filtros de polipropileno de 25 mm de diámetro. En todos los casos filtros y jeringas fueron descartados entre muestreos, no así los porta filtros, que fueron lavados tres veces con agua destilada y tres veces con el agua a muestrear de cada punto de muestreo.

Las mediciones se realizaron en cuatro campañas practicadas a las 17 perforaciones, las fechas de realización se indican en la tabla 3, todas en el año 2011.

**Tabla 3: Fecha de monitoreo**

| Id      | Campaña 1  | Campaña 2  | Campaña 3  | Campaña 4  |
|---------|------------|------------|------------|------------|
| VWM21   | 07/01/2011 | 02/03/2011 | 14/06/2011 | 08/08/2011 |
| VWM23   | 07/01/2011 | 02/03/2011 | 14/06/2011 | 08/08/2011 |
| VWM24   | 10/01/2011 | 03/03/2011 | 15/06/2011 | 10/08/2011 |
| VWM29   | 12/01/2011 | 11/03/2011 | 22/07/2011 | 02/09/2011 |
| VWM34   | 12/01/2011 | 03/03/2011 | 22/07/2011 | 11/08/2011 |
| VWM37   | 18/01/2011 | 10/03/2011 | 16/06/2011 | 31/08/2011 |
| VWM38   | 18/01/2011 | 10/03/2011 | 11/07/2011 | 12/08/2011 |
| MPS 10  | 04/02/2011 | 14/03/2011 | 12/07/2011 | 19/08/2011 |
| MPS 11  | 04/02/2011 | 14/03/2011 | 12/07/2011 | 22/08/2011 |
| MPS 12  | 03/02/2011 | 15/03/2011 | 14/07/2011 | 24/08/2011 |
| MPS 30  | 07/02/2011 | 17/03/2011 | 13/07/2011 | 29/08/2011 |
| MPS 31  | 03/02/2011 | 11/03/2011 | 11/07/2011 | 10/08/2011 |
| MPS 33  | 07/02/2011 | 14/03/2011 | 14/07/2011 | 11/08/2011 |
| MPS 35  | 03/02/2011 | 11/03/2011 | 15/07/2011 | 15/08/2011 |
| LPWM 03 | 08/02/2011 | 16/03/2011 | 20/07/2011 | 09/08/2011 |
| LPWM 04 | 07/02/2011 | 15/03/2011 | 20/07/2011 | 03/09/2011 |
| LPWM 06 | 08/02/2011 | 16/03/2011 | 21/07/2011 | 23/08/2011 |



**Figura 3: Distribución de los equipos (fuente: producción propia)**



**Figura 6: Carretel de manguera, cable de la bomba y piezómetro ubicado en la perforación (fuente: producción propia)**



**Figura 4: Medición del descenso del nivel de agua durante el bombeo (fuente: producción propia)**



**Figura 7: Distribución de los equipos e instrumentos (fuente: producción propia)**



**Figura 5: Instrumento de la sonda multiparamétrica reportando lecturas (fuente: producción propia)**



**Figura 8: Controlador de la bomba y grupo electrógeno (fuente: producción propia)**



En la mayor parte de las perforaciones los caudales permitieron proceder con la toma de muestras luego de alcanzar la estabilización de los parámetros medidos por la sonda. No obstante, hubo casos donde el muestreo requirió aplicar el criterio de extracción de un equivalente a tres volúmenes de pozo, lo que determinó en ocasiones la necesidad de bombear el pozo en más de una oportunidad debido a los bajos aportes. En particular esta situación se dio en las perforaciones MPS33, MPS35 y LPWM04.

La definición de cuándo muestrear por el criterio de extracción de tres volúmenes de pozo se basó en la medición de los caudales erogados por cada perforación, el criterio técnico basado en caudales que fue definido por el área ambiental de la empresa minera fue el indicado en la tabla 4 a continuación:

**Tabla 4: Criterio de caudal para muestrear según procedimiento de extracción de tres volúmenes de pozo**

| Caudal (litros/segundo) | Procedimiento para el muestreo                                                                                         |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\geq 0,15$             | Procedimiento normal con un sólo muestreo                                                                              |
| $0,07 < Q < 0,15$       | Bombeo no continuo hasta alcanzar tres volúmenes de pozo.                                                              |
| $\leq 0,07$             | Bombeo no continuo que involucra más de un día hasta alcanzar un volumen extraído equivalente a tres volúmenes de pozo |



## 5. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en el centro-este del territorio uruguayo, en las inmediaciones de la frontera departamental donde convergen Florida, Durazno y Treinta y Tres (figura 9). La zona queda contenida casi en su totalidad en las cartas topográficas Valentines (G20) y Cerro Chato (G19) del Plan Cartográfico Nacional escala 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar.

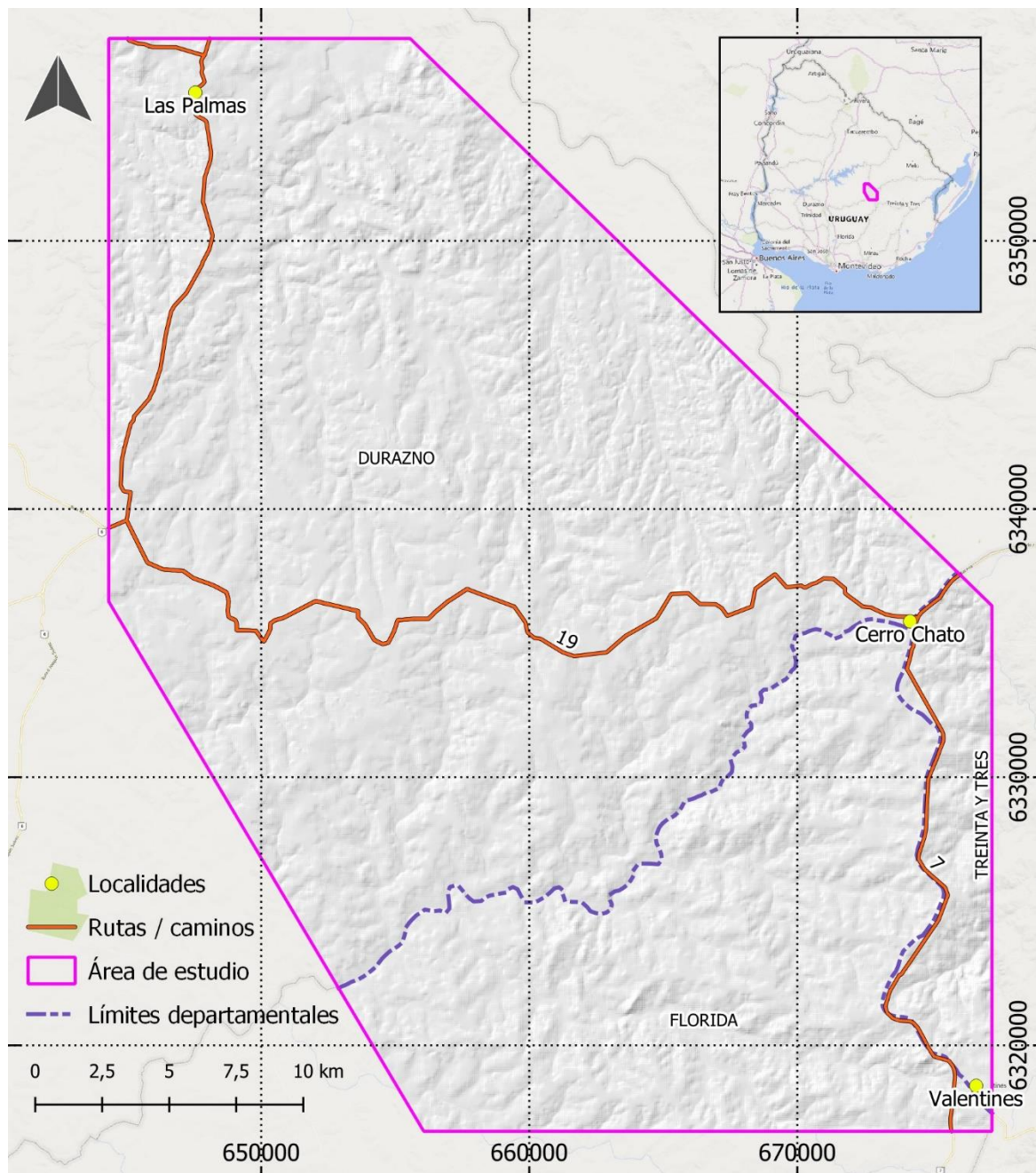


Figura 9: Zona de estudio en relación al contexto geográfico nacional y el particular a las localidades de Valentines, Cerro Chato y Las Palmas. Escala 1:250.000



Marginalmente ocupa el borde oriental de la carta topográfica Chileno (H19), el vértice sur-oriental de la carta Blanquillo (H18) y parte de la faja sur-occidental de la carta Cerrezuelo (G18).

La zona abarca el tramo de la ruta 19 que queda comprendida entre las rutas nacionales 6 y 7. Al sur se limita con la localidad de Valentines y regiones rurales aledañas con relevancia minera como ser el poblado de Morochos y sectores de la Cuchilla de Valentín. Por el norte se define hasta las inmediaciones de la localidad Paso Medio de las Palmas (en adelante Las Palmas), que representa el otro gran sector del terreno con especial relevancia minera.

La definición de los límites se basa en un criterio netamente geométrico, estando dados por el polígono que circunscribe a las perforaciones evaluadas. Sus aristas se ubican a una distancia aproximada de tres kilómetros hacia el exterior de los puntos más salientes del conjunto de perforaciones. El área de estudio queda así definida con una superficie de 997,3 kilómetros cuadrados.

## **6. ANTECEDENTES**

### **6.1. Suelos**

Una definición de macro escala basada en los conceptos dados según las Zonas de Uso y Manejo de los Suelos del Uruguay de la Comisión de Inversiones y Desarrollo Económico (CIDE) establece que en el área de estudio dominan suelos superficiales con suelos profundos de texturas medias, suelos de textura media a pesada con grado variable de diferenciación y suelo profundos de texturas livianas y medias, y saturación media de bases.

La carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 de 1976 elaborado por el ex Ministerio de Agricultura y Pesca (DURÁN, 1976), representada en la figura 10, distingue en el área de estudio unidades de suelo definidas como Litosoles, Brunosoles Subéutricos y Luvisoles-Acrisoles de acuerdo a las siguientes definiciones por código de unidad cartográfica:

Unidad AS–Aparicio Saravia: dominancia de Luvisoles Úmbricos / Ócricos Abrúpticos de textura arcillosa a arcillosa franca y Acrisoles Úmbricos / Ócricos Típicos arcilloso franco. La unidad asocia Luvisoles Melánicos Típicos arcilloso-francos y Brunosoles Dístricos Subéutricos Típicos de textura arcillosa franca.

Unidad CF – Capilla de Farruco: define dominancia de Litosoles Dístricos Melánicos con textura arcilloso franco y asocia Brunosoles Dístricos Típicos franco gravillosos con afloramientos rocosos.

Unidad CCh –Cerro Chato: Presenta asociaciones de Brunosoles Subéutricos Típicos de textura franca moderadamente profundos a profundos y Háplicos arcilloso francos y arcillo franco gravillosos con unidades subordinadas de Litosoles Subéutricos Melánicos franco gravillosos moderadamente superficiales.

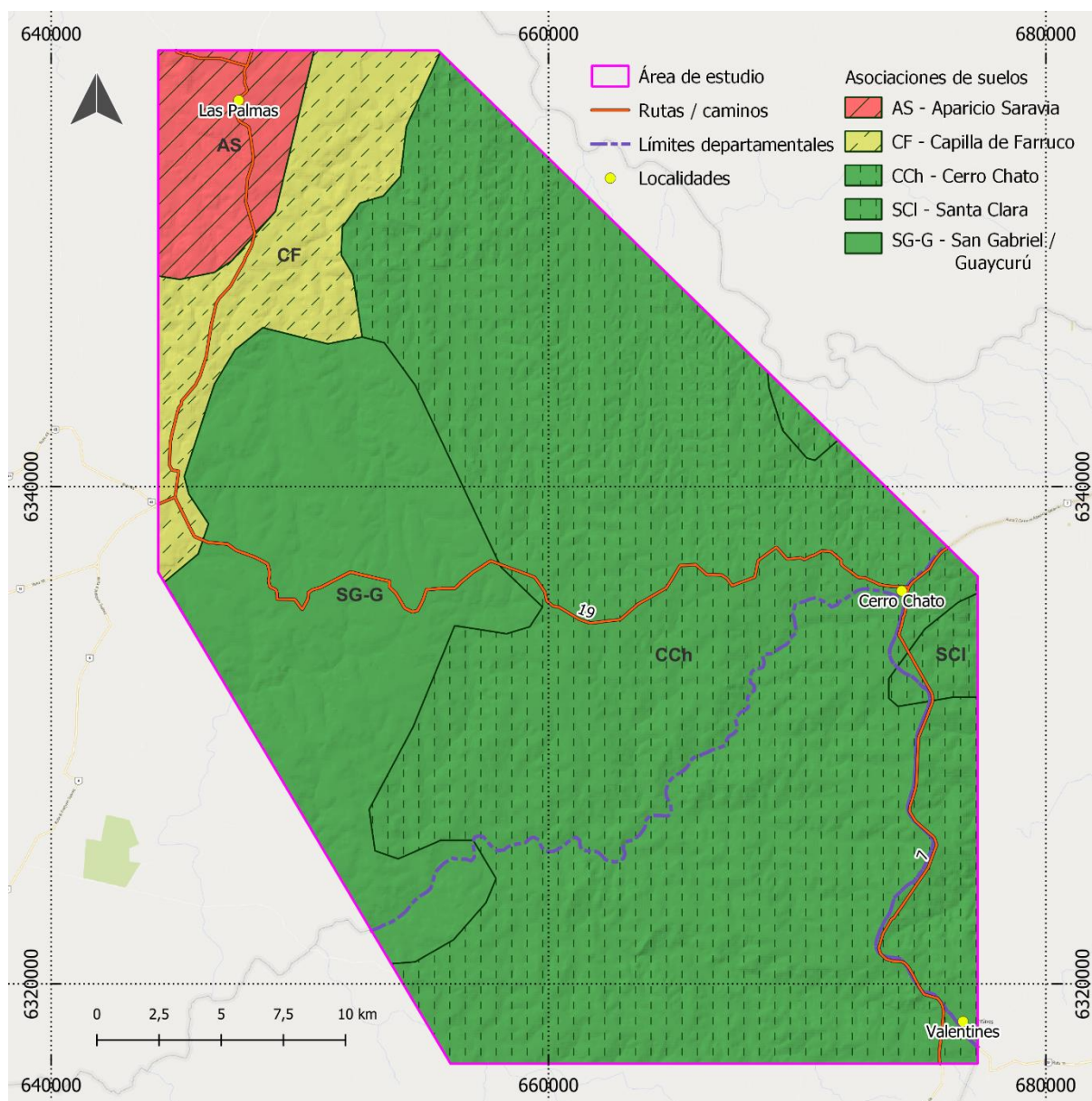
Unidad SCI – Santa Clara: asociaciones semejantes a la unidad CCh con dominancia de Brunosoles Subéutricos Háplicos arcillo franco gravillosos y franco gravillosos pedregosos superficiales con Litosoles Subéutricos Melánicos arcillo gravillosos y Brunosoles Subéutricos Típicos francos pedregosos con afloramientos rocosos.

Unidad SG-G – San Gabriel / Guaycurú: dominan Brunosoles Subéutricos Háplicos de texturas diversas de franco gravillosos y arcilloso francos a arcillo franco gravillosos,



pedregosos de moderadamente profundos a profundos. Asocia unidades de Brunosoles Subéutricos Típicos / Lúvicos, Brunosoles Éutricos Lúvicos y Típicos francos e Inceptisoles Ócricos arcilloso francos superficiales.

En general todas las unidades se asocian a relieves de sierra y a protolitos de basamento cristalino. La excepción en cuanto al protolito generador de suelos está dada por las sedimentitas Devónicas de la unidad CF.



**Figura 10: Representación de las unidades de suelo definidas en el área de estudio de acuerdo a la Carta de Reconocimientos de Suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 del MGAP 1976**

Una caracterización con otro grado de detalle se obtiene con información desprendida de los índices de productividad generados por la Comisión Nacional de Estudio Agronómico de la



Tierra (CONEAT) de 1968. Estos índices, sin representar unidades cartográficas propias de una carta de suelos, definen zonas homogéneas en términos de capacidad productiva, identificando entre otras cosas el tipo de relieve, el material generador y los suelos que componen a cada grupo. Las unidades dominantes en el área se definen con los índices 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.21 correspondientes mayormente a geoformas de sierras y colinas; y grupos del índice 8 que se vinculan a lomadas y colinas de matriz sedimentaria<sup>5</sup>.

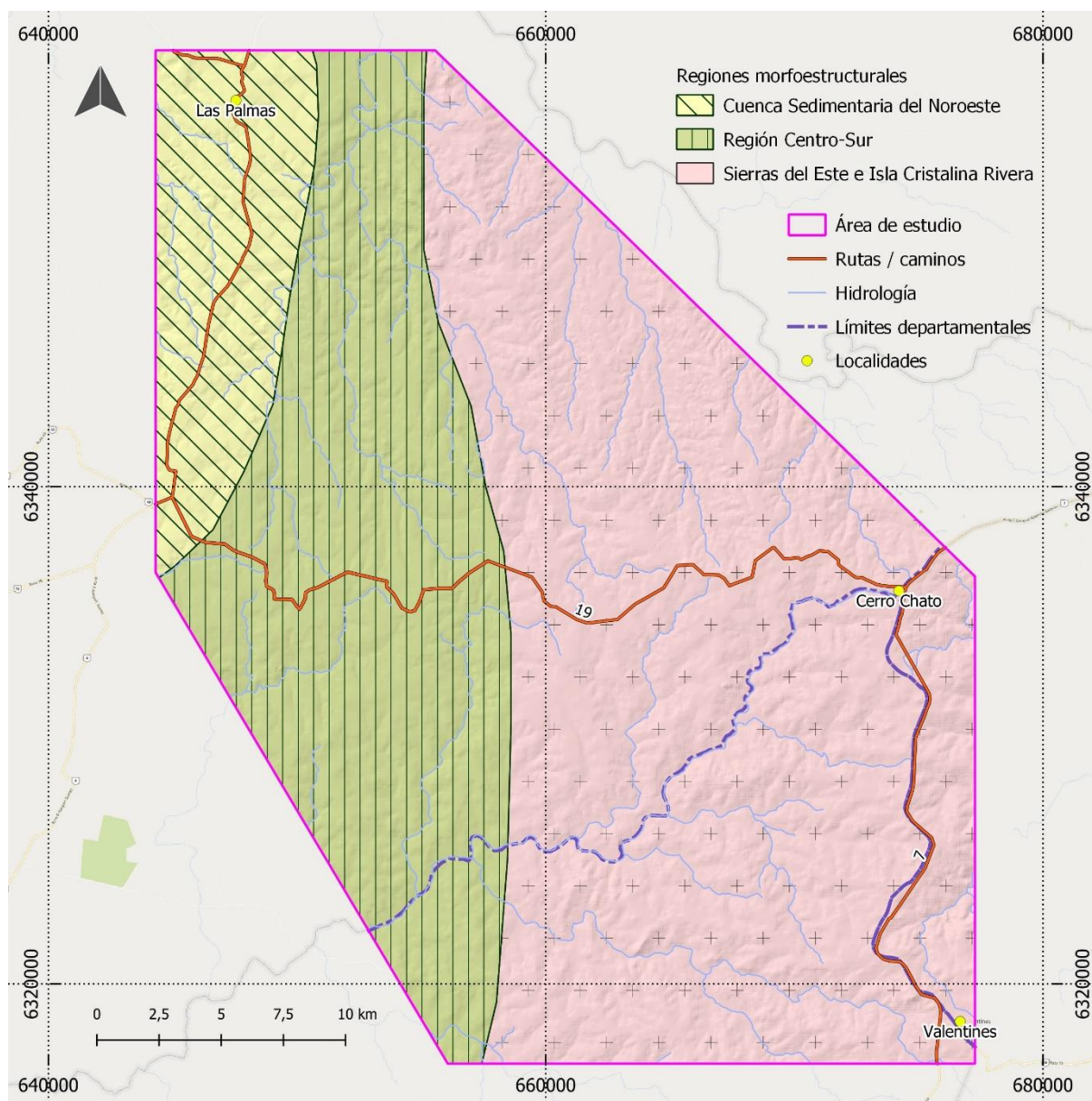


Figura 11: Regiones morfoestructurales del área de estudio. Adaptado de Panario (1988).

<sup>5</sup> Tomado de descripción de Grupos Coneat: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/coneat>. Consultado en setiembre de 2022



## 6.2. Geomorfología

La geomorfología del país es fundamentalmente un reflejo del marco estructural preexistente dado por evento tectónicos mayores y por la naturaleza de las rocas presentes en cada área. Tal como lo señala PANARIO (1988) la inexistencia de accidentes geográficos de importancia permitieron climas relativamente uniformes para todo el territorio nacional en cada período de análisis, por lo que su incidencia es limitada.

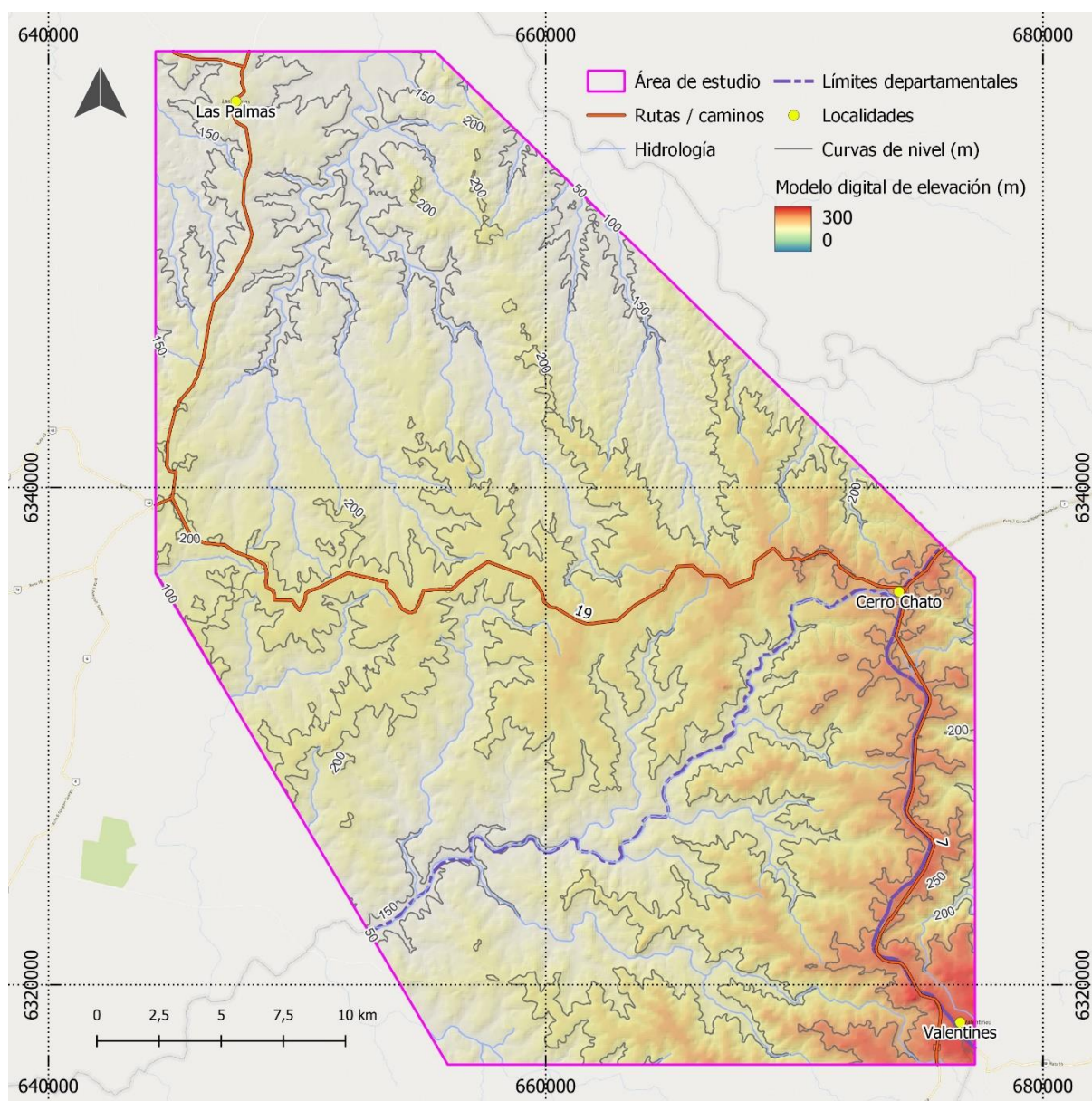


Figura 12: Mapa físico del área de estudio. Producción propia sobre base cartográfica MDT-IDE.

PANARIO (1988) estableció 10 regiones morfoestructurales de acuerdo a las unidades de paisaje diferenciables. En particular para el área de estudio, de acuerdo a esa definición, se distinguen 3 de esas unidades, a saber: Cuenca Sedimentaria del Noroeste, Región Centro



Sur, y Sierras del Este e Isla Cristalina Rivera (figura 11). La Región Centro Sur caracterizada por ser áreas de tectónica estable desde al menos el periodo Cretácico con características morfoclimáticas que le han conferido al paisaje un aspecto “senil”, oportunamente descrito como “penillanura cristalina”. Presenta un relieve de colinas y lomadas fuertes interrumpido por interfluvios de lomadas y lomadas suaves en zonas de acumulación cuaternaria más potentes. Las Sierras del Este se compone por un complejo de plegamiento emergidos y otros alzamientos que representan el paisaje con mayor energía de relieve. No obstante, algunas zonas presentan la parte superior aplanada reflejando procesos de aplanamiento antiguos, cretácicos y terciarios con valles de hundimiento tectónico. La Cuenca Sedimentaria del Noroeste se compone principalmente de lomadas fuertes y colinas cuyos principales entalles de relieve se dan en el Cuaternario (PANARIO, 1988).

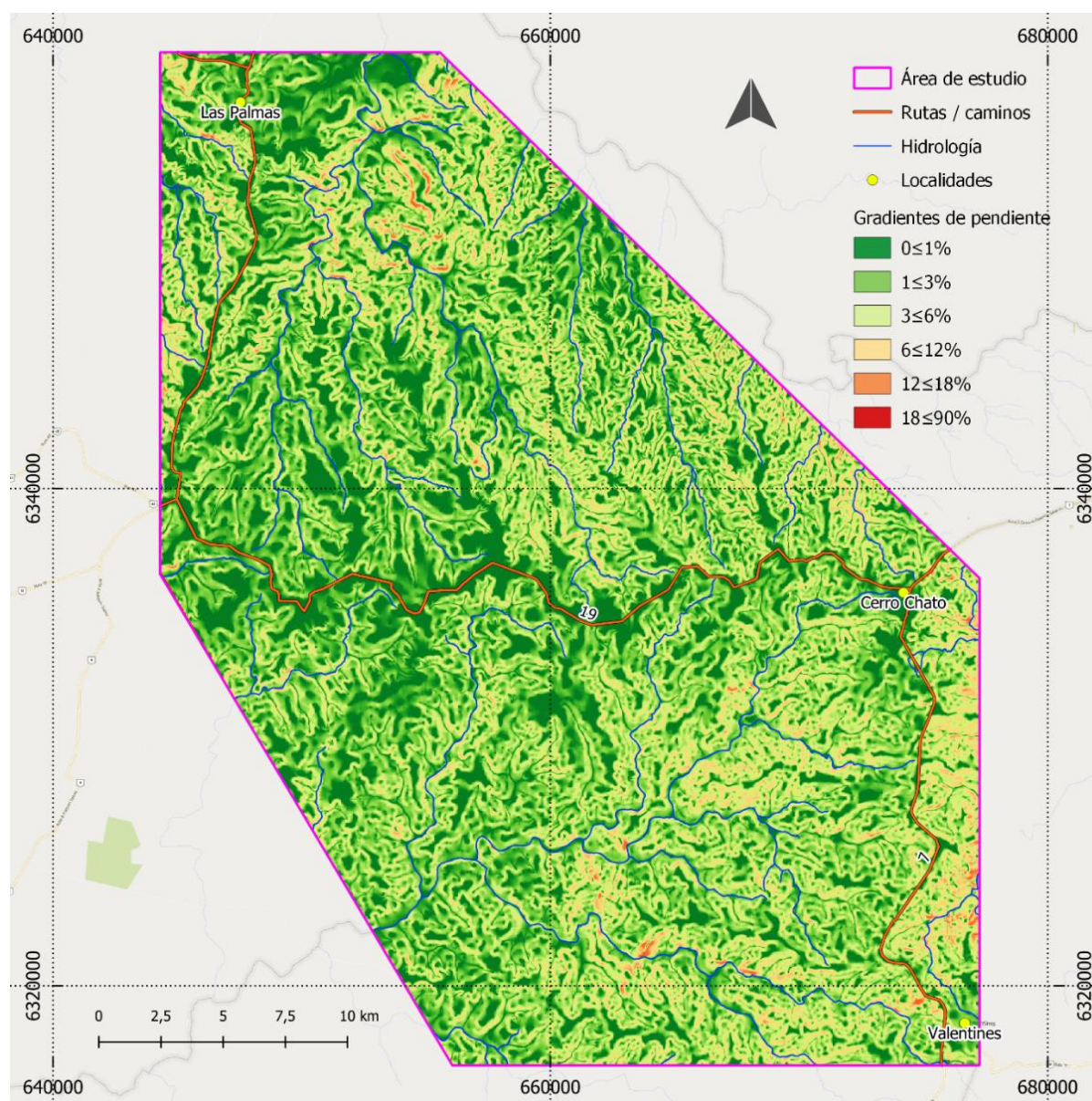
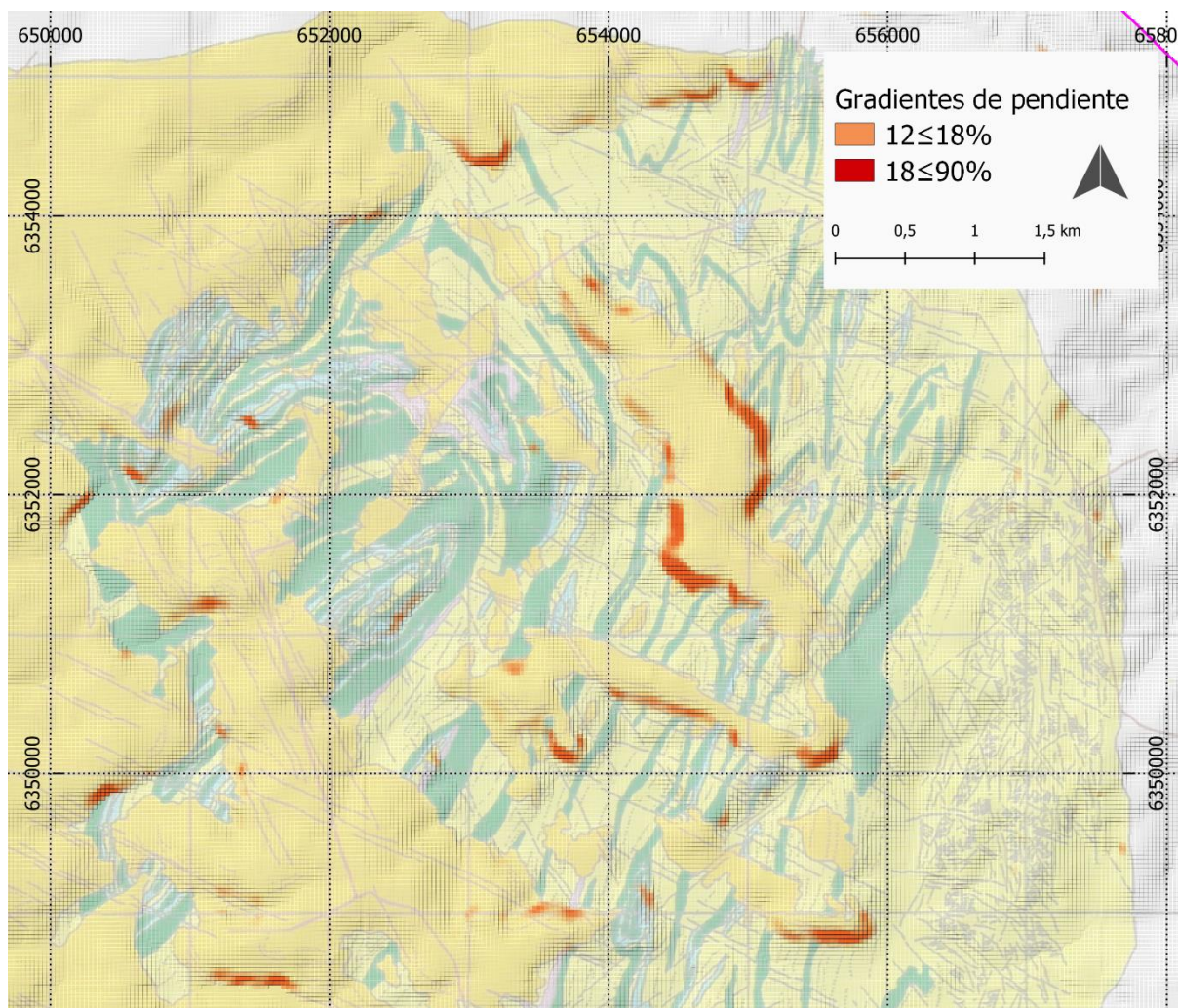


Figura 13: Mapa de gradientes de pendiente en la zona de estudio. Producción propia sobre base cartográfica MDT-IDE



Según lo que se observa en el mapa topográfico (figura 12), la región de Sierras del Este es fácilmente distinguible, presentando las mayores elevaciones para el área con hasta 310 msnm sobre la cresta que define en el eje de la Ruta 7. En ese sector y a lo largo de la Cuchilla de Valentín (E-W) se distinguen pendientes de orden del 6 % en relieve ondulado carente de escarpas. Sin embargo, localmente presentan notables variaciones de pendiente que se vinculan con crestas de cuarcitas ferríferas que por su resistencia a la erosión se mantienen topográficamente más elevadas, visible especialmente en la zona sur del área (figura 13).

Hacia el oeste de la zona de estudio la impronta geomorfológica es un relieve suave a casi plano con gradientes de 0 al 3 % donde destacan interfluvios de gran extensión con escasa pendiente hasta incluso de relieve plano. Es notoria la presencia de gradientes de pendiente fuerte a moderadamente escapada en la región con cobertura de sedimentaria. En esa región las variaciones más fuertes están dadas por afloramientos de areniscas sobre el basamento cristalino (figura 14) que presentan relieve muy escarpado con pendientes superiores al 18 %.



**Figura 14:** Escarpas de areniscas devónicas (celdas rojas) sobre el basamento cristalino. Producción propia sobre mapa geológico de la región de Las Palmas (Proyecto Aratirí). Los tonos en naranja pálido representan a la cobertura devónica.





mayoritarias en el área de estudio se ubican al sur y norte de la Ruta 19, al sur la correspondiente al Río Yí y al norte la correspondiente al arroyo del Cordobés (figura 15).

La primera de ellas queda integrada en el área de estudio por los siguientes cursos: arroyo de los Molles, arroyo Punta de los Molles, arroyo Sauce, arroyo Monzón, arroyo del Sauce, arroyo Valentín, arroyo Valentín Chico y arroyo de los Molles. La cuenca del arroyo Cordobés se integra por el arroyo de las Palmas, cañada del Difunto, arroyo Conchillas, cañada del Portugués, cañada del Sauce Solo, arroyo de las Conchas, cañada de la Isla, arroyo de las Rengas, cañada de Cardozo, arroyo Sarandí, cañada Mataojo, cañada de la Antera, cañada del Tala, cañada de los Cerros y cañada de Galván.

Al oeste de la Cuchilla de Ramírez se ubican nacientes de los arroyos Sarandí, de las Cañas, de las Cañitas, Hermenegildo y cañada de la Pedrera. Por su parte al este de la Cuchilla Grande se ubican en nacientes los arroyos Valija y de las Pavas. El drenaje se puede clasificar de forma general como dendrítico a subparalelo con limitado control estructural

## 6.4. Geología

### 6.4.1. Contexto geológico regional

La geología de Uruguay es muy diversa y presenta en su sustrato rocoso un amplio rango de edades a pesar de su acotada extensión territorial. Dentro del territorio nacional se pueden distinguir desde depósitos actuales hasta rocas de considerable antigüedad como es el caso de las metatonalitas del Complejo La China que destaca por su edad de 3,4 Ga (HARTMANN *et al.* 2001).

El basamento cristalino aflora dentro del territorio nacional fundamentalmente al sur del Río Negro y en menor medida al norte, constituyendo lo que se denominan las islas cristalinas de Rivera y Aceguá. De acuerdo a lo señalado por NÚÑEZ DEMARCO *et al.* (2018), este basamento se manifiesta en el 44 % de la superficie nacional, lo que representa un orden de 77.500 km<sup>2</sup>, siendo constituido por rocas metamórficas, intrusiones plutónicas e hipabisales. Las litologías comprenden gneises, migmatitas, granulitas, esquistos, anfíbolitas y rocas metamórficas de bajo grado; todas ellas afectadas por eventos de deformación, intrusiones magmáticas, anatexis, erosión e intemperismo. Los autores señalan además que en toda su extensión se observan cinturones de rocas metamórficas de grado incipiente a medio originadas de protolitos volcánicos y sedimentarios, que se intercalan tectónicamente y fueron afectadas por deformación y recortadas por cuerpos intrusivos. Esas rocas son comúnmente agrupadas con el basamento cristalino en el denominado Escudo Uruguayo (MASQUELIN, 2006).

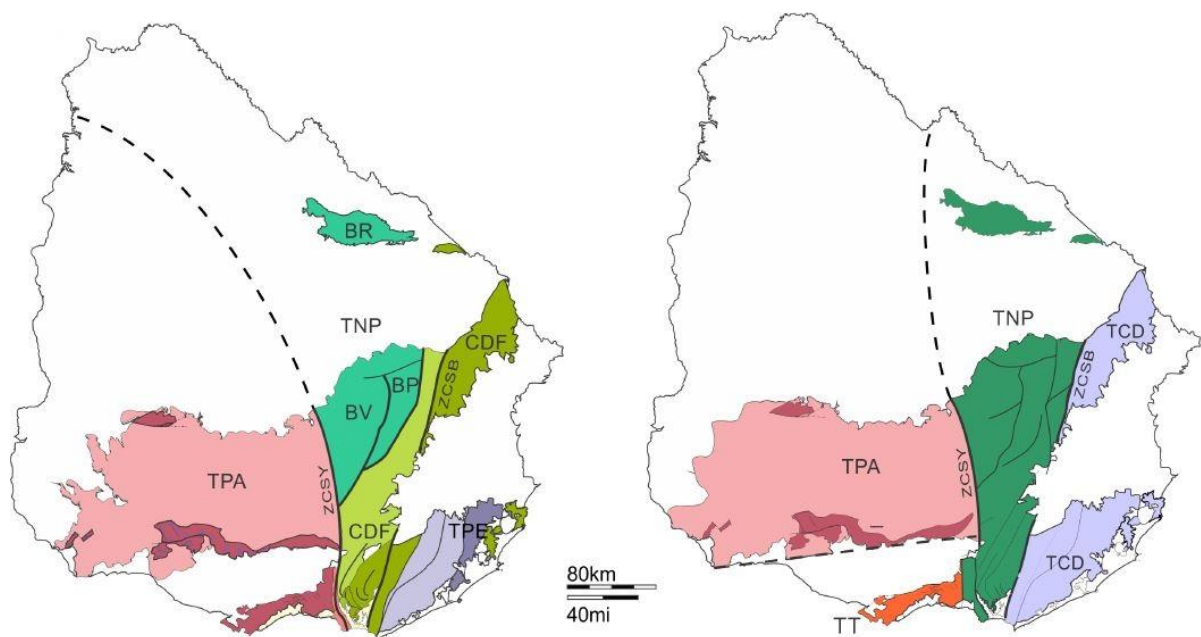
El basamento cristalino se divide en tres principales terrenos tectono-estratigráficos definidos de oeste a este como Terreno Piedra Alta (BOSSI *et al.*, 1993; en adelante TPA), Terreno Nico Pérez (BOSSI Y CAMPAL, 1992; en adelante TNP) y Terreno Cuchilla Dionisio (BOSSI *et al.*, 1998; BOSSI *et al.*, 2001; BOSSI Y GAUCHER, 2004; en adelante TCD), ellos con diferentes rasgos de evolución. Su división física se define a través de dos discontinuidades tectónicas de primer orden denominadas de oeste a este Zona de Cizalla Sarandí del Yí (OYHANTÇABAL *et al.*, 2005, en adelante ZCSY) y la Zona de Cizalla Sierra Ballena (GÓMEZ RIFAS, 1995; en adelante ZCSB).

Existe un cuarto terreno tectono-estratigráfico atribuible a BOSSI *et al.* (2005) que es el denominado Terreno Tandilia (en adelante TT), asociado al cinturón Tandilia en Argentina;



que responde a la partición del TPA por una transcurrancia de primer orden denominada Zona de Cizalla Colonia-Pavón (en adelante ZCC) que operó hace 1,7 Ga. Esta definición se sostiene al argumentar diferencias litológicas a ambos lados de la estructura (PAMOUKAGHLIÁN *et al.* 2017). Otros investigadores no concuerdan con la definición de dicho terreno y existe controversia respecto a la pertinencia del TT en el contexto evolutivo del TPA, tal como lo plantean OYHANTÇABAL *et al.* (2007, 2011) sobre la base de evidencia estructural y geocronológica que sugiere que los cinturones orogénicos a ambos lados de la citada cizalla son la misma unidad.

Los diferentes modelos tectónicos están representados en la figura 16 habiendo sido normalizados para su representación gráfica como surge de NÚÑEZ DEMARCO *et al.* (2018).



**Figura 16: Modelos tectónicos del territorio uruguayo. Izquierda modelo de dos terrenos tectonoestratigráficos con un cinturón orogénico transpresivo. Derecha: modelo de cuatro terrenos tectonoestratigráficos<sup>6</sup>. Referencias: TPA: Terreno Piedra Alta, TNP: Terreno Nico Pérez, CDF: Cinturón Dom Feliciano, TPE: Terreno Punta del Este, TT: Terreno Tandilia, TCD: Terreno Cuchilla de Dionisio, BR: Bloque rivera o isla cristalina de Rivera, BV: Bloque Valentines, BP: Bloque Pavas, ZCSY: Zona de Cizalla Sarandí del Yí, ZCSB: Zona de Cizalla Sierra Ballena.**

Sobre las áreas de escudo uruguayo se pueden identificar tres cuencas fanerozoicas continentales que son las denominadas Norte, Santa Lucía y Laguna Merín. Fuera del área continental se distingue una cuenca offshore que se consignó con el nombre de Punta del Este y parte de las cuencas de Pelotas y Oriental del Plata.

Considerando la estructura particionaria del territorio uruguayo se brinda a continuación una caracterización del terreno tectonoestratigráfico asiento del área de estudio, así como de la cuenca fanerozoica que parcialmente la cubre.

<sup>6</sup> NÚÑEZ DEMARCO, MASQUELÍN Y SÁNCHEZ BETTUCCI (2018)



#### 6.4.1.1. Terreno Nico Pérez

Es el terreno que muestra el mayor rango de edades, abarcando desde litologías paleoarqueanas hasta cámbricas y reviste la mayor complejidad de todos los terrenos desde el punto de vista estructural y estratigráfico.

El TNP propuesto por BOSSI Y CAMPAL (1992) se ubica en una faja centro-este del territorio nacional y presenta un rumbo general N10~N20. En él se incluye La Isla Cristalina de Rivera por su sector septentrional que representa un alto del basamento precámbrico rodeado por sedimentitas paleozoicas. Los límites laterales están dados por la ZCSY y la ZCSB.

La geología de este terreno se puede describir partiendo en el Complejo La China (en adelante CLC) consistente en un núcleo paleoarqueano de gneises tonalíticos (HARTMANN *et al.* 2001). Sobre el CLC se apoya en discordancia el Grupo Cebollatí (GAUCHER *et al.* 2010) definido como una sucesión metasedimentaria de areniscas, dolomías, pelitas y conglomerados depositada hace aproximadamente 2,7 Ga. (HARTMANN *et al.* 2001). En yuxtaposición, delimitado por la Zona de Cizalla Sierra de Sosa, con zircones de 2,6 a 2,1 Ga en granitos (SANTOS *et al.* 2003) se ubica la Formación Valentines (BOSSI Y GAUCHER, 2014) sustento físico del presente estudio cuya geología se describirá en el capítulo siguiente, complejo al cual le intruye un granito de afinidad *rapakivi*, Batolito de Illescas, de 1784±5 Ma (CAMPAL y SCHIPILOV, 1995). El ensamble de los tres complejos mencionados cabalga al sureste una sucesión metasedimentaria depositada entre 1,5 y 1,3 Ga y que fue deformada hace 1,25 Ga durante el evento Grenviliano (GAUCHER *et al.* 2011), se compone por el grupo Parque UTE, grupo Mina Verdún y el Complejo Tapes. El TNP evidencia magmatismo Neoproterozoico, entre otros, con el registro los granitos Arroyo Mangacha (Gaucher *et al.* 2008), Las Flores y Sobresaliente (Oyhantçabal *et al.* 2012). Según Sánchez Bettucci *et al.* (2021) los plutones graníticos del Neoproterozoico ocupan un orden del 30 % de la superficie del TNP. Finalmente, un evento distensivo propicia una sedimentación plataformal Ediacareense que queda manifiesta a través del registro geológico del Grupo Arroyo del Soldado (GAUCHER, 2000) y posterior colisión tangencial con el TCD a través de la ZCSB.

#### 6.4.1.2. Cuenca Norte

Esta cuenca se desarrolla en la zona norte del país manifestándose en casi la mitad de la extensión territorial del suelo uruguayo con un área que asciende a aproximadamente 100.000 km<sup>2</sup> los que forman parte de un total estimado de 1.400.000 km<sup>2</sup> que tiene lugar en los territorios uruguayo, paraguayo, argentino y brasileño (DE SANTA ANA, 2004).

En territorio nacional esta cuenca presenta un relleno volcano-sedimentario que se caracteriza por un paquete de sedimentitas desde el Devónico temprano hasta el Cretácico tardío al cual se le alternan episodios de vulcanismo del Jurásico y Cretácico temprano y vulcanismo alcalino del Cretácico tardío-Paleogeno (MUZZIO *et al.* 2022). Dentro de la cuenca fueron definidos por De Santa Ana (2004) cuatro tectosecuencias separadas de base a tope como devónica, permocarbonífera, jurocretácica y neocretácica.

La tectosecuencia devónica reúne a las formaciones Cerrezuelo, Cordobés y La Paloma, que integran el grupo Durazno y que responden al registro de la sedimentación marina de Gondwana occidental (VEROSLAVSKY, FULFARO, DE SANTA ANA, 2006).

La permocarbonífera se representa primero por las formaciones San Gregorio y Cerro Pelado, que responden a sedimentación de diamictitas, conglomerados, areniscas y ritmitas, bajo influencia glacial, sobre unidades del basamento y devónicas. Estratigráficamente por encima se ubica la Formación Tres Islas, evidencia de sedimentación fluvial, deltáica y marina, y la



Formación Frayle Muerto correspondiente a sedimentación de transgresión marina del Pérmico temprano. La tectosecuencia incluye finalmente los registros de retrogradación marina de las formaciones Mangrullo, Paso Aguiar y Yaguarí de edad Pérmico temprano a medio, con procesos de ambiente continental de sedimentación aluvial-fluvial y eólicos de la Formación Buena Vista correspondientes al Pérmico tardío (VEROSLAVSKY, MARTÍNEZ, UBILLA, 2006).

La secuencia juracética corresponde a depósitos fluviales y eólicos de gran porte asociados a la Formación Tacuarembó. Por encima de ellos se aloja una sucesión de coladas basálticas originadas por magmatismo fisural consolidadas como Formación Arapey siendo un evento que operó hacia el Cretácico temprano como producto de la separación de los continentes americano y africano, y apertura del Océano Atlántico.

Eventos post basálticos se manifiestan en el registro estratigráfico como las formaciones Guichón y Mercedes, eocretácico y neocretácico respectivamente que se asocian a ambientes de abanico aluvial y fluvial.

#### 6.4.2. Geología local

El área de estudio presenta un conjunto de rocas antiguas volcanosedimentarias metamorizadas en facies granulita dentro de las cuales se distinguen formaciones bandeadas de hierro (BIF).

Se reconocen al menos dos eventos metamórficos, asignables a 2060-2080 Ma y 2170-2115 Ma (BOSSI Y GAUCHER, 2014). Este conjunto se define con el nombre de Formación Valentines (BOSSI Y GAUCHER, 2014). A esta formación le sobreyacen en discordancia sedimentitas devónicas de la Formación Cerrezuelo con espesores de hasta 30 metros. De acuerdo a observaciones en campo la estratigrafía presenta una columna simple, que en orden ascendente tiene a las rocas de la Formación Valentines superpuestas por las sedimentitas Devónicas. Tanto sobre esa secuencia litoestratigráfica como directamente sobre las rocas del basamento se ubican los depósitos recientes. Las unidades están representadas en la figura 17 sobre un fragmento de la carta geológica 1:500.000 de Preciozzi et al. (1985).

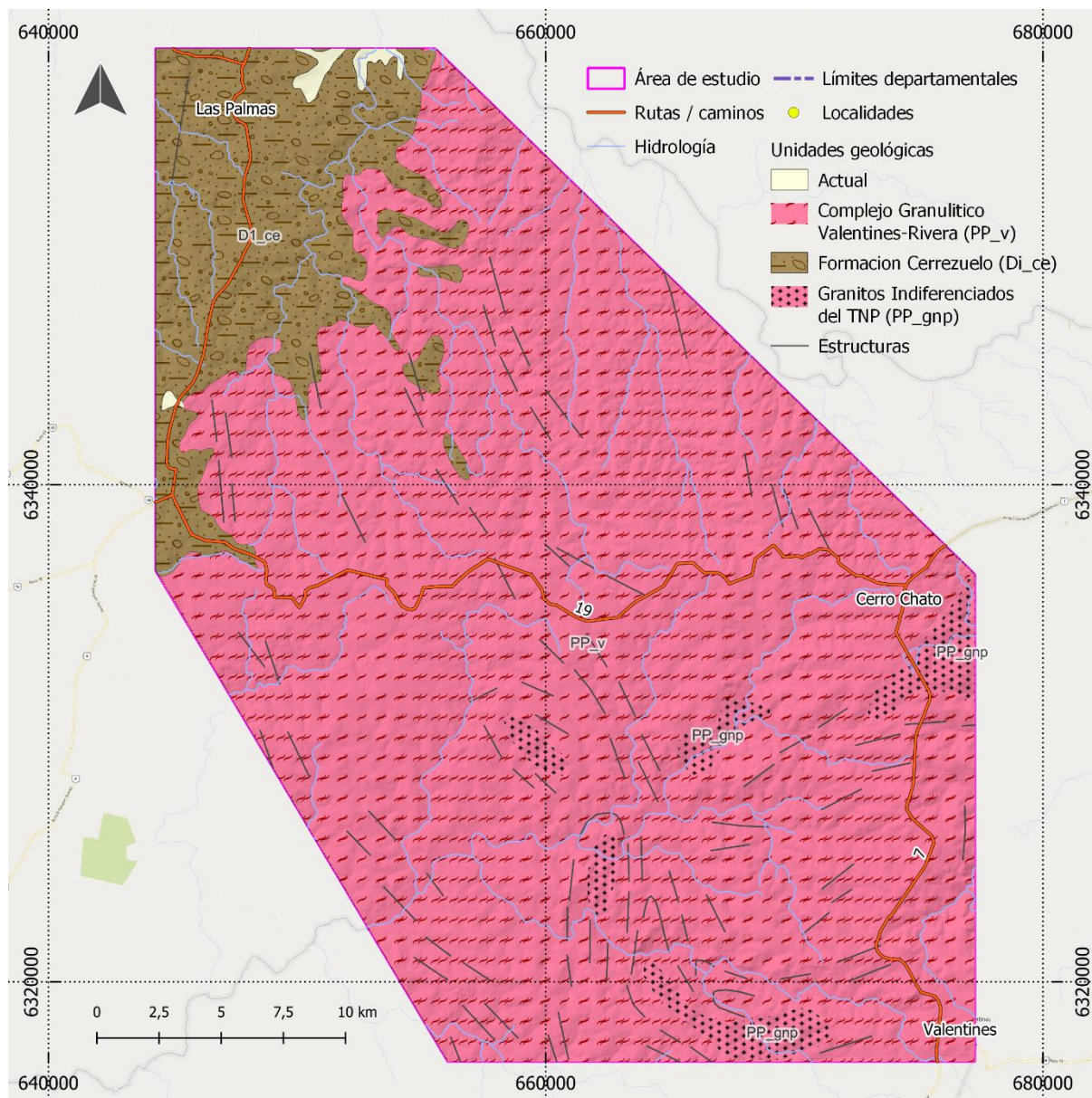
##### 6.4.2.1. Antecedentes del área de estudio

Las primeras observaciones referentes a la existencia de formaciones ferríferas en el área de estudio son atribuibles a MASTRANDER (1915) y WALTHER (1932), pero el mayor desarrollo del conocimiento del área ocurrió sobre fines de los años 50 cuando CAORSI Y GOÑI (1958) ampliaron las observaciones de Walther y realizaron un relevamiento 1/100.000. Luego FERNÁNDEZ (1960) en base a fotos aéreas realizó un trabajo de campo a escala 1/20.000 que permitió definir las principales estructuras de las rocas mineralizadas. Posteriormente con la incorporación de un trabajo de detalle a cargo del Instituto Geológico del Uruguay se definió el área con el nombre de Formación Valentines asignándole edad arqueana. La roca soporte de la mineralización ferrífera recibió la denominación de Valentinesita (BOSSI 1963; 1966; 1978).

Complementariamente, un programa de investigación de Naciones Unidas realizó tareas de prospección durante el período del 1972 a 1974 donde se concluyó la existencia de reservas probadas por 33 millones de toneladas de mineral de hierro al 32 % de hierro en el denominado Grupo Uría (ONU, 1976). En última instancia y con intención del desarrollo de un proyecto minero en el área, se realizó a partir del año 2009 la mayor campaña exploratoria de



esa región a cargo de la empresa Minera Aratirí, alcanzando el conocimiento de estructuras en hasta 400 metros de profundidad y recursos probables de hasta 2.000 millones de toneladas de mineral de hierro.



**Figura 17: Unidades y estructuras geológicas en el área de estudio. Adaptado de la carta geológica 1:500.000 de Preciozzi et al. (1985). Nótese la diferente nomenclatura asignada por los autores (complejo granulítico Valentines-Rivera en sustitución de Formación Valentines).**

#### 6.4.2.2. Formaciones geológicas

Formación Valentines:

La Formación Valentines definida por BOSSI *et al.* (1965) corresponde a un conjunto de variedades litológicas que incluye gneises oligoclásicos, piroxenitas y cuarcitas magnetito-augíticas. Tal como lo exponen BOSSI Y GAUCHER (2014) el desarrollo principal de la



formación se verifica en la zona ferrífera de Valentines, al oeste de la localidad homónima, y en asociaciones litológicas similares que afloran en inmediaciones de las localidades de Vichadero y Zapucay en el departamento de Rivera.

La génesis de la formación se asocia con el metamorfismo de grado alto en facies granulita de un paquete sedimentario con bancos de espesores decamétricos estimados de 80 a 100 m de potencia de sedimentos con tenores del 30 % de hierro dados por formaciones de hierro bandeadas originadas por precipitación química de  $\text{Fe}^{2+}$  que se depositaron como mínimo en el período Sidérico-Rhyácico (2500-2050 Ma). A partir de la datación U-Pb SHRIMP de un núcleo euhédrico de zircón de metagranito peritítico se pudo determinar una antigüedad de  $2619 \pm 8$  Ma, si este evento se considera el primer evento metamórfico acaecido sobre el grupo litológico estudiado, entonces la edad de sedimentación debería ser Sidérico-Rhyácico o incluso Neoarqueano (BOSSI Y GAUCHER 2014).

La génesis y evolución de las rocas de esta formación la dota de múltiples posibilidades a la presencia de recursos minerales potenciales como lo señalan SPOTURNO y LARA (1990) haciendo referencia a indicios polimetálicos en la región de Valentines en el Departamento de Florida, mineralizaciones que estarían asociadas a filones de cuarzo hidrotermales vinculados a una zona de cizalla. Las conclusiones de ese trabajo apuntan a la existencia de metales base y nobles que según GONZÁLEZ RAMOS (2010) obedece a BIF, oro en BIF, Cr, Cu, Ni, Ti, P y platinoides en rocas máficas-ultramáficas, Ni, Cu, Pb en anfibolitas, corindón y grafito en paragneis y oro en venas de cuarzo.

#### Formación Cerrezuelo:

Definida por BOSSI (1966) se compone de areniscas blanquecinas, grisáceas, amarillentas, localmente rojizas, predominantemente medias a gruesas friables a consolidadas, regularmente seleccionadas, de composición cuarzo-feldespáticas a feldespáticas, a veces con abundante mica, con matriz fina de composición caolinítica, en la base ferruginosas a fuertemente ferrificadas. En la base y porción media presentan estratificación plana, cruzada y en artesa. Según el estudio de estructuras sedimentarias, trazas fósiles y fósiles de cuerpo, SPRECHMANN *et al.* (1993) enmarcan toda la formación en un paleoambiente marino. No obstante, VEROSLAVSKY *et al.* (2006) lo asocian con ambientes de tipo braided-delta a depósitos de playa con transgresiones que causaron su evolución hacia una plataforma arenosa.

En términos de recursos minerales y de acuerdo con ROSSI *et al.* (1979) las sedimentitas de base del Devónico son favorables a la prospección de uranio, con valores relativamente altos en cuanto al comportamiento radiométrico cuyas anomalías, de hasta 4000 cps, son correlacionables a depósitos de areniscas gruesas, mal seleccionadas, cuarzosas a cuarzo-feldespáticas, ferruginosas a localmente ferrificadas.

#### 6.4.2.3. Litología

Las litologías presentes en el área de estudio se clasifican para la Formación Valentines como cuarcitas magnetito-augíticas, piroxenitas, gneises oligoclásicos y granitos. Los gneises feldespáticos tienen la mayor presencia en la formación siendo tanto félsicos como máficos. La Formación Cerrezuelo se manifiesta en forma de areniscas arcósicas. Según antecedentes bibliográficos las litologías presentan las características que se indican a continuación.



#### Cuarcitas magnetito-augíticas:

Compuesta por cuarzo, piroxeno y magnetita como elementos mayoritarios y hematita, esfero, apatito, pirita como minerales accesorios. Se presenta principalmente con textura granoblástica con orientación poco desarrollada en función de la ausencia de minerales laminares, es posible hallarla en ocasiones con un fuerte bandeado gnéisico. Al ser una roca resistente a la erosión, geomorfológicamente se manifiesta en colinas alargadas desarrolladas según su rumbo BOSSI Y GAUCHER (2014). La composición modal de la valentinesita determina que un 33% en volumen corresponde a magnetita conteniendo 0,05% de Ti y menos de 0,5% de MnO, un 40% corresponde a cuarzo y un 25% lo componen piroxenos de tipo augita-aegirina. La hematita se presenta con el 1% del volumen y la siguen el apatito (0,5%), esfero (0,2%) y pirita (0,1%). La hematita (martita) es un mineral secundario originado por la alteración de magnetita. Los piroxenos se descomponen en anfíboles o serpentinas más óxidos de hierro. En términos de composición química, los principales constituyentes de la Valentinesita son: sílice en un 45%, óxido férrico en un 33%, óxido ferroso en un 16%, óxido de calcio en un 2% y óxido de magnesio con un 1% en peso (BOSSI Y GAUCHER 2014). Morfológicamente, de acuerdo a lo expresado por González (2010) la expresión en afloramiento de la Valentinesita varía desde formas angulosas bien preservadas en crestas de cerros a lomadas suaves con afloramientos fuertemente alterados. La condición de resistencia a la meteorización es atribuible a la cantidad de sílice contenida en la roca.

#### Metapiroxenitas:

Son rocas oscuras de textura granoblástica que presentan escasa orientación, se manifiestan en laderas con buen drenaje ya que en otra situación sufren meteorización con transformación a rocas anfibólicas o serpentínicas. Presentan una mineralogía conformada por augita, andesina, cuarzo y magnetita; pueden incorporar granate (BOSSI Y GAUCHER 2014).

#### Gneises oligoclásicos:

Representan el grupo litológico más abundante de la Formación Valentines, se componen esencialmente de oligoclasa ( $An_{20-50}$ ) y cuarzo con minerales accesorios como biotita, hornblenda o augita. Exhiben un amplio espectro de tonos, desde leucócratas a melanócratas de acuerdo a su contenido de máficos. BOSSI Y GAUCHER (2014) establecen que la enorme mayoría de estas rocas presenta un importante contenido de microclina tardía y pertita, con aumentos considerables conforme hay acercamiento a las zonas de granitos.

#### Granitos:

Según la descripción dada por BOSSI Y GAUCHER (2014) los granitos se presentan como rocas típicamente cuarzo feldespáticas con hasta un 2 % de biotita y/o hornblenda y 1 % de opacos. El feldespato dominante es pertita con relaciones  $K^+/Na^+$  de 0,5 a 0,85. La distribución mineralógica es homogénea y afloran con morfología bochoide sin indicios de orientación estructural.

#### Areniscas:

Se manifiestan como areniscas blanquecinas y amarillentas medias a gruesas, mal seleccionadas, con estratificación cruzada. Poseen más de 25 % de feldespato en volumen por lo que se las puede definir como arcosas (MINERA ARATIRÍ, 2010d).



#### 6.4.2.4. Estructura

La zona se ubica en un medio fuertemente plegado de rocas precámbricas metamorizadas en facies granulita. El metamorfismo y recrystalización quedó de manifiesto con la deformación y plegamiento en varias fases de deformación dúctil que pudo haber incorporado procesos de fusión parcial, estos eventos de plegamiento provocaron el engrosamiento de la mineralización de las bandas de hierro (D. HELM, comunicación personal, junio de 2011). No obstante, es posible distinguir en muchos casos la estratificación original (BOSSI Y GAUCHER, 2014; figura 26).

En estadios de evolución tardíos mediaron eventos de deformación rúptil, los que son más visibles en fotolineaciones. Las líneas estructurales de la carta geológica 1:20.000 de BOSSI Y GAUCHER (2014) expresan una orientación regional de los metamorfitos que configura una envolvente cónica de 15 km de radio, formada a partir de esfuerzos compresivos de componente EW, luego de lo cual operó un plegamiento NS que quedó de manifiesto por planos axiales dados en esa dirección.

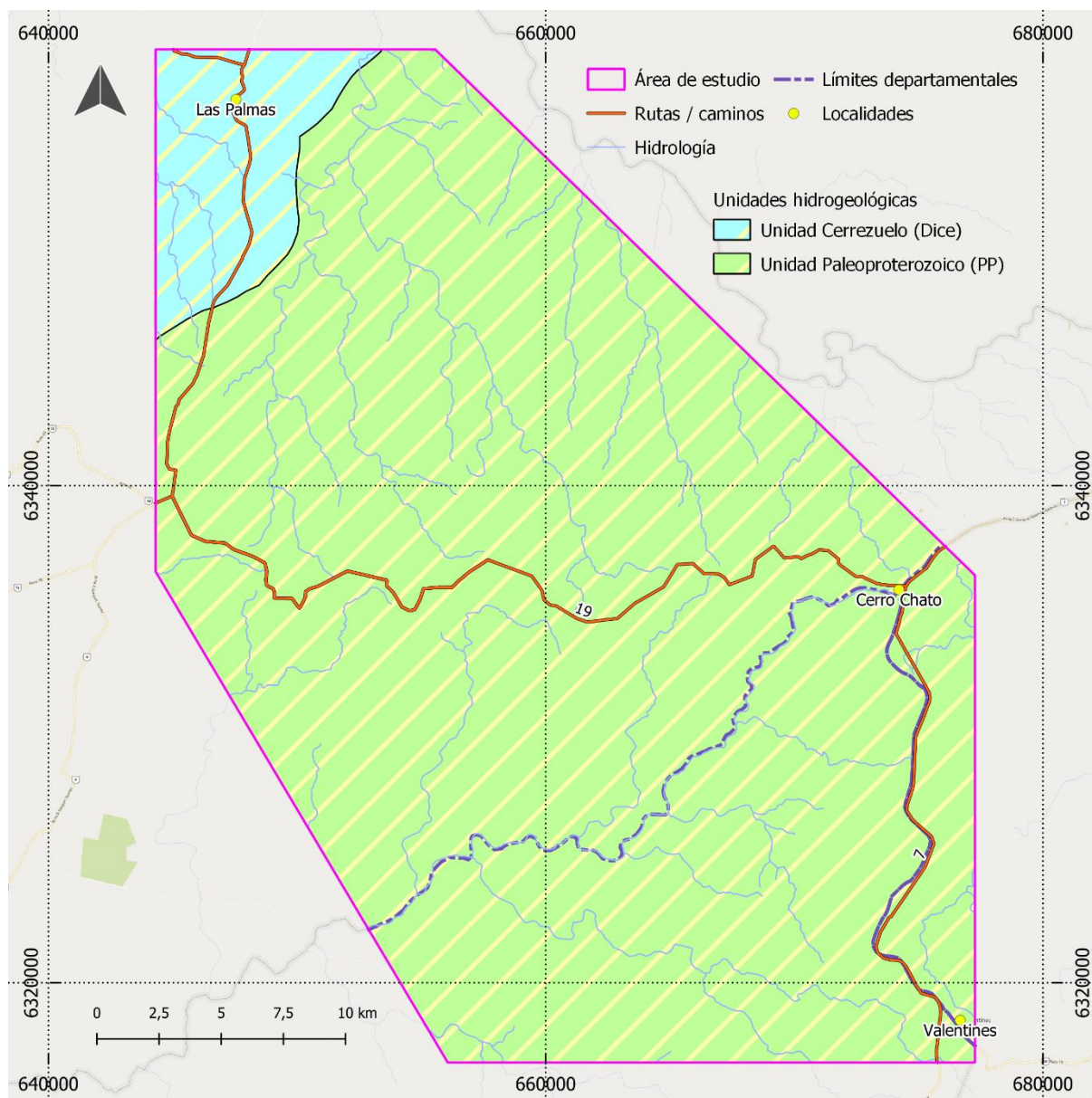
### 6.5. Hidrogeología

En el Mapa Hidrogeológico del Uruguay escala 1:1.000.000 (HEINZEN *et al.* 2003, figura 18) la zona de estudio se ubica mayormente dentro de los límites de la denominada Unidad Hidrogeológica Paleoproterozoico. Esta unidad se desarrolla al sur y sureste del país y se compone en términos generales de gneises, granitos, micaesquistos y anfibolitas. Su productividad como acuífero es baja, desarrollando caudales específicos de 1 m<sup>3</sup>/h/m con un residuo seco que en promedio se ubica en los 500 mg/l.

Por el noroeste la zona de estudio se ubica el borde de una unidad de acuíferos en sedimentos consolidados y no consolidados, con porosidad intersticial y baja posibilidad para agua subterránea. Bajo el título de esa categoría se incluye la Unidad Hidrogeológica Cerrezuelo (devónico inferior) que se ubica casi de forma íntegra en el departamento de Durazno. La información que se desprende en la citada carta respecto al caudal específico para esta unidad es que se ubica en el orden de 1,5 m<sup>3</sup>/h/m con un residuo seco promedio de 800 mg/l. Esta unidad forma parte de las litologías del área de estudio, pero no quedó contemplada en los estudios de calidad de agua por haberse aislado de las que corresponden a la Formación Valentines.

Un modelo hidrogeológico conceptual realizado por Coffey Geotechnics Inc. (MINERA ARATIRÍ, 2010b) definido sobre un área de estudio aproximadamente cuadrada de 6.723 km<sup>2</sup> de superficie, dentro de la cual queda incluida la zona de estudio, permitió determinar que la unidad hidrogeológica presenta valores de conductividad hidráulica de 0,05 m/día para la capa superior de 60 metros y de 0,01 m/día para el espesor de 40 metros ubicado por debajo. Esta separación en capas responde al límite identificado como una zona de transición de óxidos. El coeficiente de almacenamiento correspondió en ambos casos a 0,01 (MINERA ARATIRÍ, 2010b).

A través del modelo hidráulico se estableció además que existe una recarga neta del acuífero que corresponde al rango del 1 al 5 % de las precipitaciones anuales, con una rápida respuesta de la recarga del acuífero, cuya variación estacional modifica en el rango de 2 a 4 metros los niveles piezométricos. Esta variación está condicionada por la topografía del terreno, con niveles mas elevados medidos en cotas mayores y menores en los valles.



**Figura 18: Unidades hidrogeológicas en el áreas de estudio, adaptado de la carta hidrogeológica del Uruguay 1:500.000, Heinzen et al. 2003. Los códigos Dice y PP se corresponden con los indicados en la fuente de información**

Los antecedentes de perforaciones presentes en la zona de estudio obtenidos del repositorio de datos de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) y la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE) que se expone en la tabla del anexo VI muestra que para el área de estudio la DINAMIGE reporta la existencia de 44 perforaciones registradas y la DINAGUA registra cuatro perforaciones. Su ubicación está representada en la figura 31.

Dentro de los datos extraídos de los visualizadores públicos consta en algunos casos información de profundidad de pozo, piezometría, valor de ultimo caudal registrado, fecha de registro, profundidad de los aportes y litología.



## 6.6. Hidrogeoquímica

El trabajo de MASSA *et al.* (2016) definió una red de pozos de monitoreo de agua subterránea en la zona ferrífera de Valentines para la cual se estableció un modelo de rango de pH y otro de conductividad eléctrica. La evaluación se realizó en base al monitoreo de 53 perforaciones entre los años 2014 y 2016 (figuras 19 y 20). En sus observaciones se describieron valores excepcionales de pH en los pozos número 38 y 27, no referenciados en el mapa de rango de pH, correspondientes a los cerros Uría y Morochos, con valores respectivos de 10,2 y 9,2. Además un valor de pH = 5,8 en el pozo 81, que estaría ubicado sobre la Ruta 6 en proximidades de Capilla de Farruco. En lo que respecta a la evaluación del parámetro conductividad eléctrica, el valor máximo alcanzado en el conjunto muestreado fue de 1140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , determinándose dentro de rangos normales para aguas subterráneas (200-2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

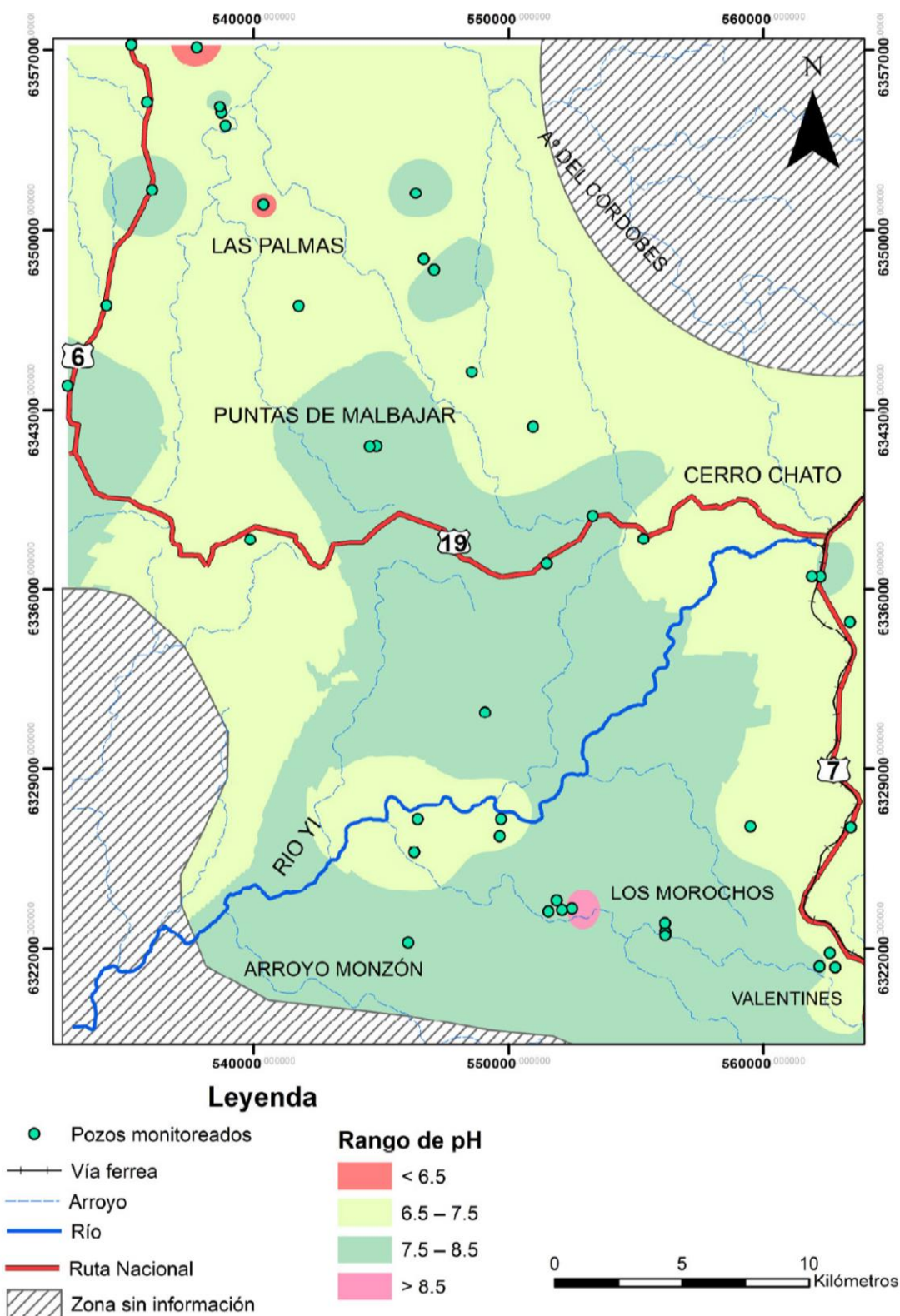


Figura 19: Mapa de rango de pH, Massa et al. (2016)

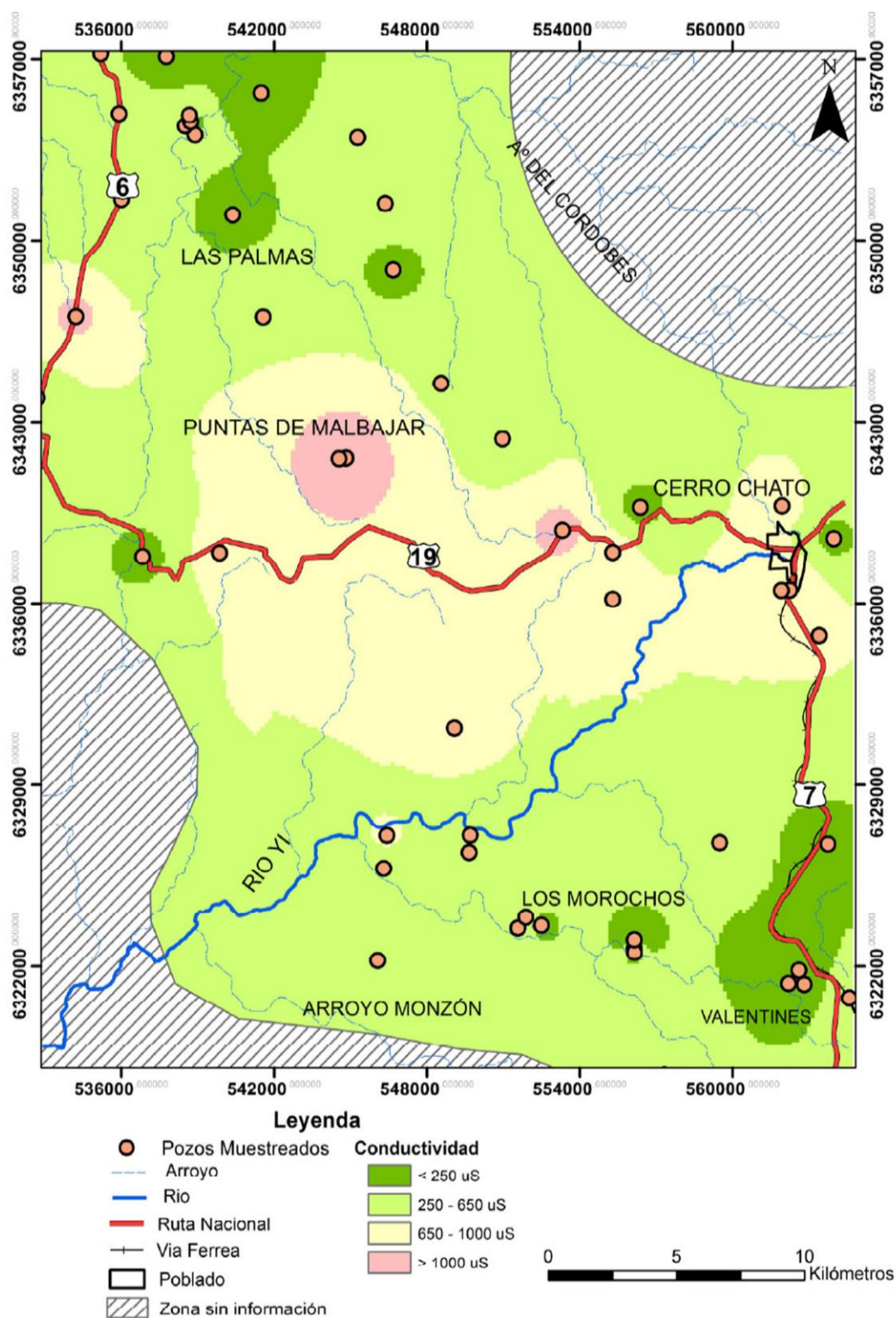


Figura 20: Mapa de rango de conductividad eléctrica, Massa et al. (2016)



## 7. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

### 7.1. Hidrogeología

Las formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua subterránea son denominadas acuíferos. Estas unidades son capaces de erogar agua subterránea en caudales variables a partir de obras de captación.

La clasificación de los acuíferos suele realizarse de acuerdo a dos criterios mayores: la presión hidrostática a la que están sometidos y el tipo de porosidad, que retiene y permea el agua subterránea. Es así que los acuíferos pueden ser clasificados de acuerdo a su grado de confinamiento en acuíferos libres (freáticos), confinados y semiconfinados según si la presión a la que está sometida el agua subterránea se equipara o no con la presión atmosférica. El espacio físico que permite el almacenamiento y transporte del agua subterránea se define comúnmente porosidad, ésta se denomina primaria si se trata de acuíferos porosos, típicamente sedimentarios granulares; o secundaria, también llamada porosidad de fracturación, cuando se trate de acuíferos fisurados de rocas consolidadas, sin distinción de origen (representado en la figura 21). Los acuíferos con porosidad mixta no son raros y se pueden dar en una misma formación geológica cuando las litologías porosas desarrollaron estructuras agrietadas como fisuras, fallas y diaclasas (SÁNCHEZ SAN ROMÁN, 2022).

La Formación Valentines se puede ubicar en la definición de acuífero freático fisurado, desarrollado a expensas de la fracturación mecánica de rocas metamórficas.

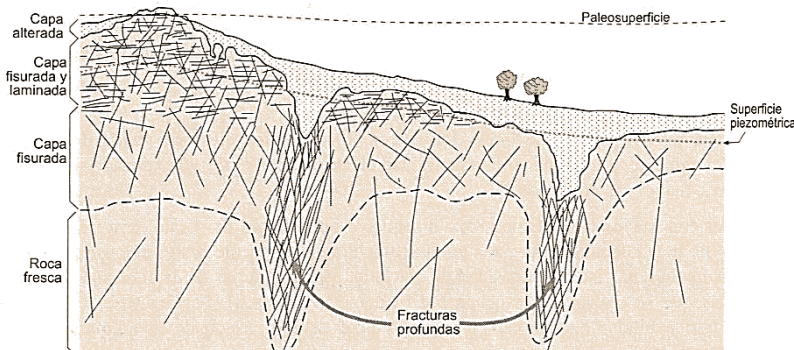


Figura 21: Modelo conceptual de un sistema acuífero sobre rocas graníticas alteradas (Marechal et al. 2009 en Sánchez San Román 2022). Modelo aplicable a la zona de estudio.

### 7.2. Hidrogeoquímica

Las características del agua subterránea se pueden evaluar desde sus atributos físicos, sus componentes químicos, las relaciones isotópicas e índices bacteriológicos. Estos atributos mantienen estrechas relaciones de interacción y por esa razón la modificación de una variable puede repercutir en las características de otra. Para ejemplificarlo, un aumento de concentración de iones disueltos repercute en un cambio de la conductividad eléctrica, pero también podría significar una modificación de las percepciones organolépticas.

Como norma general las aguas subterráneas aumentan las cantidades de sustancias disueltas cuanto mayor tiempo de residencia tienen dentro del acuífero (COLLAZO Y



MONTAÑO, 2012). Estas sustancias disueltas pueden sumar desde algunos mg/L hasta algunos g/L como en el caso de las aguas salobres. La calidad del agua subterránea también depende de factores externos que la condicionan como lo son las características del agua entrante al acuífero por su interacción con los elementos presentes en la atmósfera. Luego de ingresadas a un medio subterráneo las interacciones con la atmósfera tienen menor incidencia y priman procesos de interacción físicos, químicos y biológicos dentro de los cuales toman protagonismo el tipo de material geológico presente, la superficie de contacto con el agua, el tiempo del contacto, la presión y temperatura a la que está sometida y la capacidad de saturación que posee el agua con relación a las diferentes sustancias. Fuera de los procesos naturales que modifican los atributos del agua, hay que agregar que las actividades de origen antrópico son grandes modificadoras de calidad en tiempos breves. Estas modificaciones son usualmente de carácter negativo por asociarse con el ingreso de contaminantes al sistema natural.

Las propiedades físicas y químicas del agua subterránea son, entre otras, la temperatura, conductividad eléctrica, color, sabor, turbidez<sup>7</sup>, dureza, alcalinidad, total de sólidos disueltos, potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno y constituyentes químicos disueltos. Se describen a continuación las propiedades más representativas:

#### Temperatura:

La temperatura de las aguas subterráneas es poco variable. De acuerdo a su posición dentro del acuífero la temperatura responderá con mayor facilidad a las variaciones atmosféricas diarias y estacionales o a la variación térmica de su contexto geotérmico, que normalmente produce un incremento de 1° C por cada 30 metros de profundidad.

#### Conductividad eléctrica:

Se define como la capacidad que posee una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica, ésta depende de la concentración total de iones, su movilidad y valencia, y de la temperatura de la solución. Se expresa como el inverso de la resistividad de la Ley de Ohm ( $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ ). La expresión de su notación es el Mho o Siemens (S). Por su magnitud usualmente se utiliza  $\mu S/cm$ . La conductividad varía con la temperatura y debe ser normalizada previo a su utilización en estudios comparativos. Es un parámetro de utilidad para la identificación de zonas de igual salinidad de un acuífero. Las aguas subterráneas potables suelen presentar valores de conductividad inferiores a 1.000  $\mu S/cm$ .

#### pH:

Es un parámetro adimensionado que expresa el índice de acidez del agua como  $-\log[H^+]$  siendo  $[H^+]$  la concentración de hidrogeniones en la solución. Para aguas subterráneas adquiere valores habituales del entorno de 6,5 a 8,5, rango que se aplica en la normativa uruguaya como requisito para agua potable (UNIT 833:2008).

#### Dureza:

Se relaciona con la presencia de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  y es entendida como una medida de la capacidad del agua para precipitar jabón. Genera problemas de incrustaciones y formación de precipitados en instalaciones de agua. Se expresa en mg/L de  $CaCO_3$ .

#### Color, olor y sabor:

---

<sup>7</sup> No evaluada en la instancia de muestreo.



El color en el agua es resultado de sustancias disueltas, especialmente de material orgánico natural, que incluso puede intensificarse con formas solubles de hierro. Material particulado suspendido de tamaño coloidal, como arcillas, algas y óxidos de hierro y manganeso, producen un color aparente. Olor y sabor son propiedades subjetivas, la componente aromática del agua es el factor dominante en la percepción de sabor más que por el propio gusto percibido en las papilas. Estas características son dependientes de sales disueltas, productos químicos inestables, materia orgánica en descomposición, plancton y bacterias. El agua potable debe carecer de olor y tener un sabor débil y agradable atribuido a su mineralización. Sabores terrosos, herbáceos, salobres o amargos pueden relacionarse con contaminación, hongos, bacterias, haluros y metales disueltos en cantidades significativas.

#### Oxígeno disuelto (OD):

Define la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. Adquiere importancia por su participación en la especiación de elementos a través de mecanismos de oxidación-reducción. Altas concentraciones de OD propician la oxidación y bajas concentraciones e incluso aguas anóxicas favorecen el estado reducido de elementos, lo que puede inducir cambios en su cinética. El OD en el agua subterránea puede alcanzar valores hasta su punto de saturación (ej. 9,5 mg/L a 1 atm. de presión y temperatura de 16° C).

#### Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):

Es la cantidad de oxígeno disuelto que es consumida por los microorganismos para descomponer en condiciones aeróbicas la materia orgánica presente en una muestra. Se evalúa para un período de tiempo y temperatura específicos, normalmente 5 días a 20 °C (DBO<sub>5</sub>). Como norma general a mayor DBO mayor contaminación de la muestra.

#### Constituyentes mayoritarios:

Son sustancias disueltas que se encuentran en concentraciones superiores a 1 mg/L. Los componentes mayores son normalmente iones de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . Suele ser constituyente mayor también el  $\text{NO}_3^-$ , éste normalmente presenta bajas concentraciones de origen natural. Según DUBROVSKY *et al.* (2010) las concentraciones de nitrato por encima de 1 mg/L suelen vincularse con actividad humana; SÁNCHEZ SAN ROMÁN (2012) agrega que con mayor frecuencia se vincula a contaminación orgánica.

#### Constituyentes minoritarios:

Son sustancias disueltas cuya concentración se encuentra en el rango 0,1-1 mg/L. Suelen identificarse como minoritarios los iones  $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{B}^{3+}$ .

#### Elementos traza en solución:

Se define como cualquier elemento químico, molecular o combinación iónica cuya concentración es inferior a 0,1 mg/L. Suelen ser trazas los iones  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{As}^{5+}$ , entre otros.

##### 7.2.1. Procesamiento de datos analíticos:

Una disolución, en este caso la muestra de agua obtenida, debe ser idealmente eléctricamente neutra, por lo tanto, la sumatoria de aniones y cationes expresados en meq/L debe ser cero. Sin embargo, esta condición no siempre es alcanzada y algunos autores definen umbrales de tolerancia. CUSTODIO y LLAMAS (1983) indican valores de error admisibles en el intervalo de 4 a 30 % en función de la salinidad (conductividad eléctrica) siendo válidos errores del 30 % en soluciones de conductividad eléctrica del orden de 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; y definen errores admisibles del 10 %, 8 % y 4 % para soluciones cuya conductividad se ubique en los 200, 500



y  $\geq 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente. HEM (1985) indica que son admisibles errores de hasta 2 % en concentraciones aniónicas del orden de 250 a 1000 mg/L, sugiriendo que en sumatorias del orden de 5 meq/L el error admisible puede ser superior. La expresión para el cálculo de error es la siguiente:

$$\text{error de electroneutralidad (\%)} = 100 \left( \frac{\sum r(\text{cationes}) - \sum r(\text{aniones})}{\sum r(\text{cationes}) + \sum r(\text{aniones})} \right)$$

Dónde: *error de electroneutralidad (%)* es el error expresado en puntos porcentuales; *r(cationes)* es la concentración de cada catión expresada en meq/L; *r(aniones)* es la concentración de cada anión expresada en meq/L.

#### 7.2.2. Clasificación del tipo de agua:

La clasificación del tipo de agua se basó en el diagrama de Piper-Hill-Langelier (en adelante Piper), que consta de dos diagramas ternarios, uno para los principales cationes y el otro para los principales aniones. Éstos se grafican en las proporciones relativas de su concentración. Los puntos obtenidos en los dos gráficos son proyectados hacia un diagrama central con geometría romboidal, que permite visualizar la distribución conjunta de las dos series de datos, asignándole una posición dentro de las distintas definiciones de facies hidroquímicas.

La representación espacial de los tipos de agua se realizó mediante diagramas de Stiff sobre el mapa de isopiezas del área de estudio, donde se representan las mediciones de las cantidades halladas de cada constituyente mayoritario en un gráfico con tres ejes horizontales. En cada eje se representa un anión y un catión, ubicados en lados opuestos en torno a un eje vertical central. La escala gráfica horizontal del diagrama, representada en las referencias del mapa, establece el valor de concentración de cada elemento.

La representación gráfica a través de diagramas de Piper y Stiff se realiza expresando la concentración de cada electrolito en meq% y meq/L respectivamente. Por lo tanto, para los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ; y los aniones  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  se realizó su conversión de acuerdo a la siguiente expresión:

$$r_{ion} = \left( \frac{[Ion]}{\text{peso molecular}} \right) \text{valencia}$$

Dónde:  $r_{ion}$  es la concentración en miliequivalentes por litro (meq/L) de un cierto ion,  $[Ion]$  es la concentración de ese ion expresada en mg/L, *peso molecular* corresponde al peso atómico o molecular del compuesto; *valencia* es el número de electrones de valencia

### 7.3. Normativa uruguaya sobre requisitos para el agua según sus usos

En Uruguay no existe a la fecha normativa vigente que sea específica de la calidad de agua subterránea. No obstante, existe normativa para la prevención de la contaminación de la contaminación a través del control de las aguas superficiales, que surge con el decreto



253/979 y modificativos<sup>8</sup>, reglamentario del Código de Aguas, decreto ley N° 14.859. Este decreto cuenta con una propuesta de modificación que contempla la incorporación de objetivos de calidad para aguas subterráneas de uso actual o potencial para el suministro a poblaciones, pero que a la fecha no tiene valor de ley. En tanto, la referencia utilizada para agua subterránea en el territorio nacional es la Norma 833:2008 - Agua potable, requisitos; del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, cuyo objeto es establecer el conjunto de requisitos que debe cumplir el agua potable para el consumo humano, sea cualquiera su fuente de captación, tratamiento y sistema de distribución. Los requisitos mínimos exigibles para agua potable están expresados en términos físicos, químicos y biológicos, con referencia a los valores máximos permitidos (VMP) de las diferentes variables. Los apartamientos en relación a esos VMP determinan que el agua de la muestra no cumpla con los requisitos técnicos de potabilidad. Los parámetros establecidos en esta norma son, entre otros, los indicados en la tabla 5.

**Tabla 5: Extracto de requisitos de agua potable para consumo humano según Norma UNIT 833:2008<sup>9</sup>.**

| Parámetro            | VMP                          | Método de ensayo               | Observaciones                                                                                                                                                                            |
|----------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Color verdadero      | 15 U. Pt-Co                  | SMEWW 2120 C                   |                                                                                                                                                                                          |
| Conductividad a 25°C | 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | SMEWW 2510 B                   | Si el valor de conductividad es mayor de 1300 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y menor o igual a 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25 °C se debe realizar la determinación de Sólidos totales disueltos. |
| pH                   | 6,5-8,5                      | SMEWW 4500 - H <sup>+</sup> B  |                                                                                                                                                                                          |
| Aluminio             | 0,2 mg/L                     | SMEWW 3500 - Al B              |                                                                                                                                                                                          |
| Antimonio            | 0,005 mg/L                   | SMEWW 3113 B                   |                                                                                                                                                                                          |
| Arsénico total       | 0,02 mg/L                    | SMEWW 3113 B                   | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud. El valor objetivo es 0,01 mg/l                                                                                  |
| Bario                | 0,7 mg/L                     | SMEWW 3113 B                   | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                                                 |
| Berilio              | 0,004 mg/L                   | SMEWW 3113 B                   |                                                                                                                                                                                          |
| Boro                 | 0,5 mg/L                     | SMEWW 4500 – B <sup>-</sup> B  |                                                                                                                                                                                          |
| Cadmio               | 0,003 mg/L                   | SMEWW 3113 B                   | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                                                 |
| Cianuro              | 0,07 mg/L                    | SMEWW 4500 – CNC y E           | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                                                 |
| Cloruros             | 250 mg/L                     | SMEWW 4500 – Cl <sup>-</sup> B | El VMP se establece considerando las propiedades sensoriales del agua.                                                                                                                   |
| Cobre                | 1 mg/L                       | SMEWW 3111 B                   | A concentraciones mayores de 2 mg/l presenta riesgos para la salud.                                                                                                                      |
| Cromo Total          | 0,05 mg/L                    | SMEWW 3113 B                   | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                                                 |
| Dureza total         | 500 mg/L                     | SMEWW 2340 C                   | El VMP se establece considerando las propiedades sensoriales del agua.                                                                                                                   |

<sup>8</sup> Decretos 579/989 de 11 de diciembre de 1989; 195/991 de 4 de abril de 1991; 429/984 de 3 de octubre de 1984; 232/988 de 17 de marzo de 1988.

<sup>9</sup> No se lista la totalidad de parámetros que establece la norma, el contenido fue adecuado al alcance del presente trabajo.



| Parámetro | VMP        | Método de ensayo                            | Observaciones                                                                                                                                                      |
|-----------|------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Flúor     | 1,5 mg/L   | SMEWW 4500 - F <sup>-</sup> C               | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                           |
| Hierro    | 0,3 mg/L   | SMEWW 3111 B                                | El VMP se establece considerando las propiedades sensoriales del agua.                                                                                             |
| Manganeso | 0,1 mg/L   | SMEWW 3111 B                                | A concentraciones mayores de 0,4 mg/l presenta riesgos para la salud.                                                                                              |
| Mercurio  | 0,001 mg/L | SMEWW 3112 B                                | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                           |
| Molibdeno | 0,07 mg/L  | SMEWW 3111 B                                | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                           |
| Níquel    | 0,02 mg/L  | SMEWW 3111 B                                | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                           |
| Nitratos  | 50 mg/L    | SMEWW 4500 - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                           |
| Nitritos  | 0,2 mg/L   | SMEWW 4500 - NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                           |
| Plata     | 0,1 mg/L   | SMEWW 3113 B                                |                                                                                                                                                                    |
| Plomo     | 0,03 mg/L  | SMEWW 3113 B                                | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud. El valor objetivo es 0,01 mg/l.                                                           |
| Selenio   | 0,01 mg/L  | SMEWW 3113 B                                | El VMP se establece considerando los riesgos que presenta para la salud.                                                                                           |
| Sodio     | 200 mg/L   | SMEWW 3111 B                                | El VMP se establece considerando las propiedades sensoriales del agua.                                                                                             |
| Sulfato   | 400 mg/L   | SMEWW 4500 - SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> E | A concentraciones mayores de 500 mg/l puede presentar efecto laxante para poblaciones sensibles.                                                                   |
| Sulfuro   | 0,05 mg/L  | SMEWW 4500 - S <sup>=</sup>                 | El VMP se establece considerando las propiedades sensoriales del agua.                                                                                             |
| Talio     | 0,002 mg/L | SMEWW 3113 B                                |                                                                                                                                                                    |
| TDS       | 1000 mg/L  | SMEWW 2540 C                                | Se debe realizar esta determinación sólo cuando el valor de conductividad es mayor de 1300 µS cm <sup>-1</sup> y menor o igual a 2000 µS cm <sup>-1</sup> a 25 °C. |
| Zinc      | 4 mg/L     | SMEWW 3111 B                                | El VMP se establece considerando las propiedades sensoriales del agua.                                                                                             |

Ref: VMP - valor máximo permitido; SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater



## 8. RESULTADOS

### 8.1. Geología

En el marco de las labores como asistente técnico del área de exploración de la compañía minera, se relevó a nivel de campo, litologías que se corresponden con gneises leucócratas, gneises mesócratas, formaciones bandeadas de hierro, vetas de cuarzo y areniscas.

Las formaciones bandeadas de hierro se presentan con mayor o menor contenido de cuarzo y formando bandas que van desde anchos centimétricos de magnetita recristalizada a bandas finas milimétricas que se alternan repetidamente con cuarzo (figura 24). Los afloramientos de las formaciones de hierro bandeadas exhiben colores rojizos por alteración meteórica, como se ve en la muestra de mano de la figura 22. En ocasiones se observó cúmulos de máficos y opacos con fuerte contenido de magnetita, lo que está representado en la muestra de una fracción de testigo corona de la figura 25.

En afloramiento, la impronta morfológica es variable y presenta desde formas angulosas en crestas de roca inalterada o poco meteorizada a lomas suaves muy meteorizadas.

Los gneises son granoblásticos leucócratas de feldespatos en coloraciones rojizas a rosa pálido y cuarzo desde blanco a hialino. Los minerales máficos distinguibles son piroxenos y anfíboles. En el caso de los gneises mesócratas, presentan en afloramiento colores de la gama de los verdes, mezclados con rosado en bandas finas y textura nematoblástica (figura 23) donde se diferencian bandas mesócratas de feldespatos con intercalaciones de máficos y bandas melanócratas de anfíboles, piroxenos y máficos opacos.

Las venas de cuarzo fueron observadas en espesores de decenas de centímetros, tanto en concordancia con las estructuras litológicas encajantes como secantes con ellas. Lo observado en campo siempre se correspondió con cuarzo lechoso microcristalino.

Las areniscas son exclusivas del sector del norte del área de estudio, correspondiendo a la Formación Cerrezuelo, en campo se distinguen areniscas de grano medio a grano grueso, mal seleccionadas con coloraciones amarillas pálidas a ocre. Los clastos son subredondeados, mayormente de cuarzo con feldespatos en segundo orden. No se distinguieron estructuras. Se apreciaron bandas ferruginosas con colores típicos de oxihidróxidos de hierro.

Respecto a las estructuras, en etapa de fotoanálisis se interpretó un conjunto de fotolineaciones que presentan una mayor tendencia hacia los cuadrantes NW-SE (ver rosa de lineaciones en figura 30). Se distinguieron fotolineaciones con una continuidad de hasta ocho kilómetros. El análisis de orientación se realizó en base a la dirección de cada segmento discriminado, lo que resultó en 1452 medidas de orientación. En términos globales se interpretó un conjunto de fotolineaciones que presentan una clara preferencia hacia los cuadrantes NW-SE (figura 28). Sin embargo, para la zona de la mineralización de Valentines se observó lineaciones que describen geometrías convexas hacia el sur, que son cortadas en el oeste por lineaciones de orientación ENE-WSW, concordante con los antecedentes bibliográficos de esa región. En la figura 27 puede apreciarse la diversidad de ángulos de incidencia de fracturas con relación a la longitud de un testigo corona.

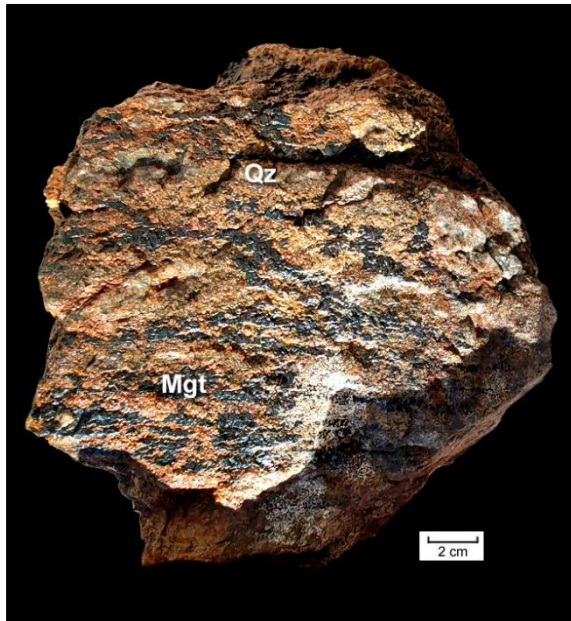


Figura 22: Valentinesita bandeada en muestra de mano, grano grueso, parcialmente martitizada.



Figura 24: Valentinesita en corte de testigo exhibiendo bandeado gnéisico con leve martitización. Fuente: repositorio Minera Aratirí.



Figura 23: Gneis melanócrata en sección de testigo de región Uría (oeste del área Valentines) exhibiendo bandas de plagioclasas y anfíboles. Fuente: repositorio Minera Aratirí.



Figura 25: Cúmulo máfico sin cuarzo visible en sección de testigo del sector Las Palmas.

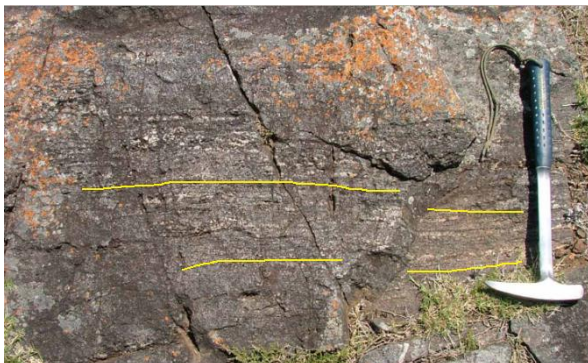


Figura 26: Rastro de la estratificación original de la formación ferrífera. Fuente: adaptado de Claudio Gaucher.



Figura 27: Planos de fractura en testigo corona de pozo de la región sur durante su colecta.

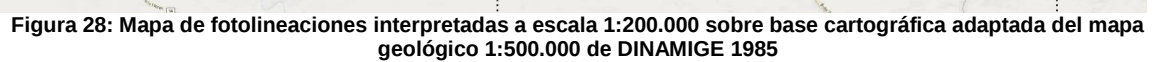
## 8.2. Hidrogeología

La única unidad hidrogeológica del área de estudio es el acuífero fracturado correspondiente a la Formación Valentines, denominado en este trabajo Acuífero Fracturado Valentines.

Este acuífero, que se comporta como un acuífero fracturado, está cubierto en un 14 % al norte por la Formación Cerrezuelo. Su restante 86 % de área de exposición tiene comportamiento de acuífero libre de acuerdo a los valores de coeficiente de almacenamiento obtenidos por ensayos hidráulicos, señalados en los antecedentes.

En esta unidad acuífera, se analizaron datos provenientes de un total de 48 registros de pozos de la Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) y la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE), así como también los datos de los 17 registros de pozos de monitoreo desarrollados por Minera Aratirí (ver figura 31 y tabla VI del anexo). La distribución de los pozos considerados es dominante sobre la localidad de Cerro Chato y a lo largo de los ejes de las rutas 14 y 6.

Sobre la base de los datos disponibles se realizó un análisis de las profundidades, dirección de fracturas, caudales, niveles de aporte y niveles estáticos de acuerdo a lo que se indica en la figura 28 y la tabla 6.





### 8.2.1. Profundidad

De los 48 pozos de captación de agua registrados en los visualizadores de DINAMIGE y DINAGUA la profundidad máxima registrada es de 210,1 metros, la mínima es de 13,0 metros, el promedio de profundidad se ubica en 45,5 metros y su mediana se ubica en 40,0 metros (figura 29).

Los 17 freáticos considerados en este análisis, ejecutados por Minera Aratirí, presentaron una profundidad máxima registrada de 121,5 metros, una mínima de 19,0 metros, promedio de profundidad de 55,5 metros y mediana en 50,0 metros (figura 30).

Para ambos grupos de pozos se identificaron valores de promedio y mediana razonablemente cercanos, con una diferencia del orden de diez metros en ambas categorías. El promedio de profundidad en el área de estudio, considerando la totalidad de los pozos (suministro y monitoreo), es de 48,1 metros y su mediana es de 43 metros.

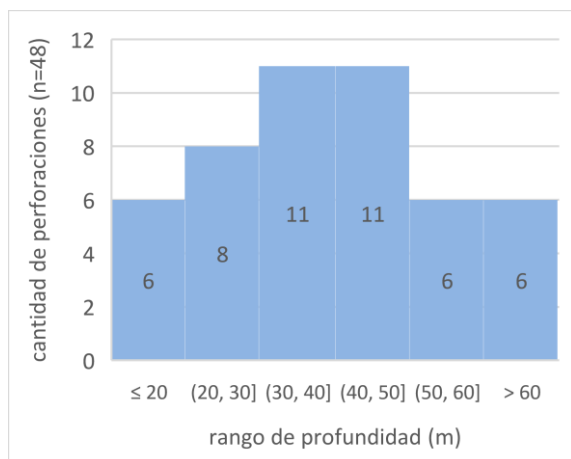


Figura 29: Rango de profundidades de 48 perforaciones del registro de DINAMIGE y DINAGUA

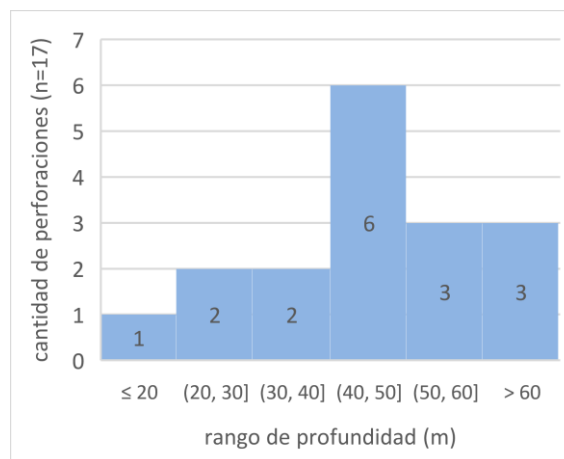


Figura 30: Rango de profundidades de 17 perforaciones de monitoreo realizadas por Minera Aratirí

Tabla 6: Dirección inferida de azimut de fractura principal<sup>10</sup>

| Identificador de pozo | coord. X (mE) | coord. Y (mS) | cota topográfica (msnm) | azimut de fractura |
|-----------------------|---------------|---------------|-------------------------|--------------------|
| LPWM03                | 650.767,27    | 6.352.453,02  | 159,90                  | -                  |
| LPWM04                | 650.625,53    | 6.352.539,37  | 166,71                  | -                  |
| LPWM06                | 650.852,27    | 6.352.703,69  | 157,92                  | -                  |
| MPS10                 | 662.948,38    | 6.340.331,52  | 224,43                  | N64                |
| MPS11                 | 660.565,59    | 6.342.493,57  | 210,13                  | N152               |
| MPS12                 | 659.447,46    | 6.336.349,53  | 221,65                  | N150               |
| MPS30                 | 648.125,83    | 6.353.573,69  | 170,94                  | N133               |
| MPS31                 | 658.238,03    | 6.325.082,93  | 155,56                  | N46                |

<sup>10</sup> La orientación se determinó como medida del azimut de las fotolineaciones en la ubicación de cada pozo.



| Identificador de pozo | coord. X (mE) | coord. Y (mS) | cota topográfica (msnm) | azimut de fractura |
|-----------------------|---------------|---------------|-------------------------|--------------------|
| MPS33                 | 674.155,92    | 6.334.370,77  | 256,56                  | N54                |
| MPS35                 | 658.093,81    | 6.323.816,96  | 162,77                  | N73                |
| VWM21                 | 663.493,03    | 6.321.254,75  | 184,42                  | N17                |
| VWM23                 | 663.331,18    | 6.321.455,33  | 181,15                  | N23                |
| VWM24                 | 663.984,65    | 6.321.259,22  | 180,84                  | N161               |
| VWM29                 | 661.451,95    | 6.324.397,13  | 195,89                  | N13                |
| VWM34                 | 667.898,90    | 6.320.951,72  | 212,38                  | N59                |
| VWM37                 | 674.552,71    | 6.319.154,77  | 254,70                  | N64                |
| VWM38                 | 674.346,85    | 6.319.700,41  | 266,83                  | N63                |

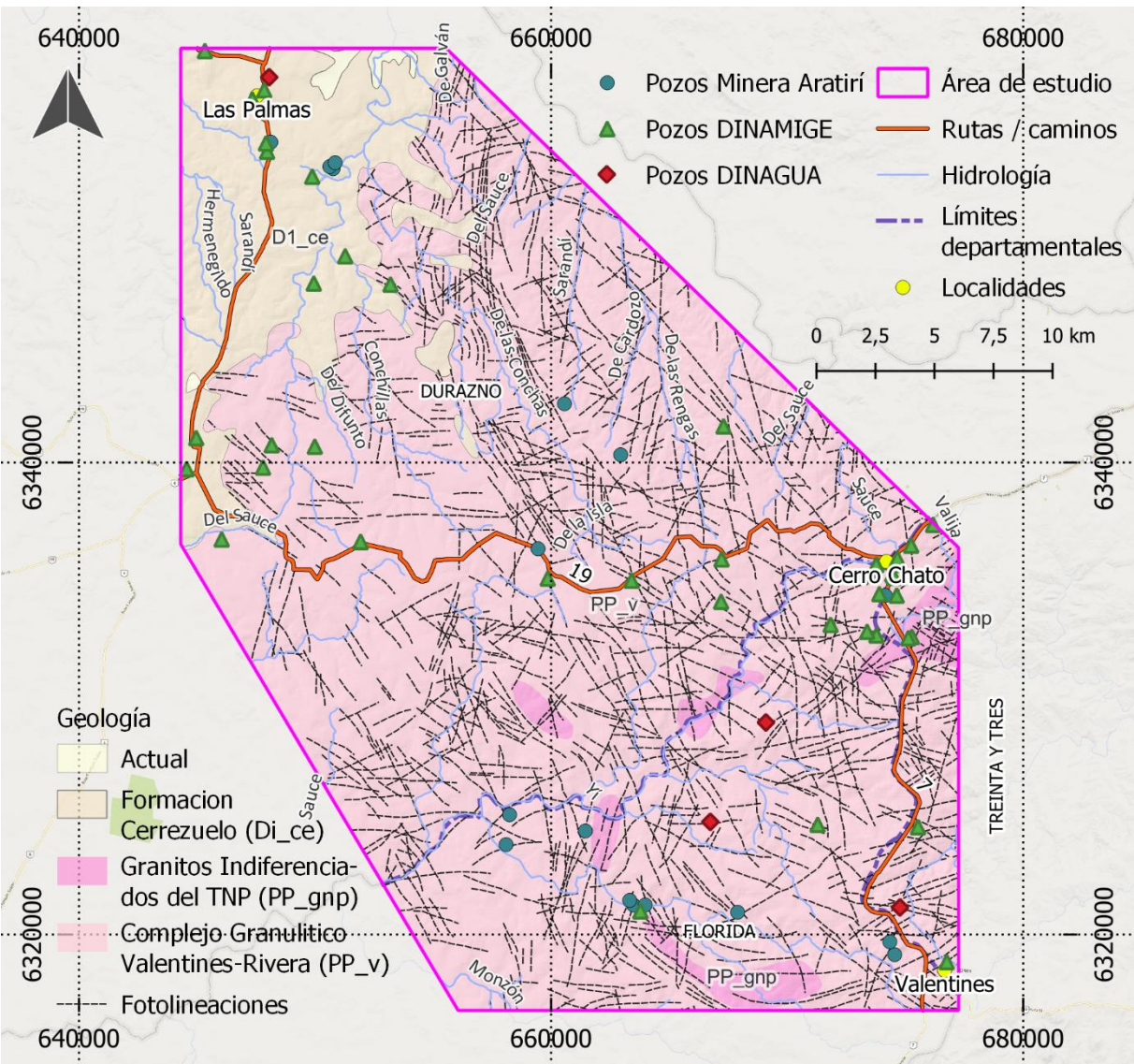


Figura 31: Distribución de las perforaciones registradas en DINAGUA y DINAMIGE junto a las de Minera Aratirí, consideradas en la presente evaluación.



### 8.2.2. Análisis de dirección de fracturas de pozo

El análisis de la ubicación del conjunto de pozos sobre el mapa de fotolineaciones permitió determinar una dirección de fractura inferida, interpretada como principal elemento estructural vinculado a la conducción del agua. La dirección de fractura inferida pudo ser interpretada para 39 pozos de un total de 65 registros (tabla 6 y anexo VI). El conjunto de datos fue graficado en el diagrama de rosa que luce en la figura 32 y en él se distinguen dos principales grupos de direcciones; un grupo cuya dirección se ubica en torno al rumbo N60E y otro grupo, en número superior al anterior, que presenta direcciones dominantes en los cuadrantes SE-NW en torno al eje N140.

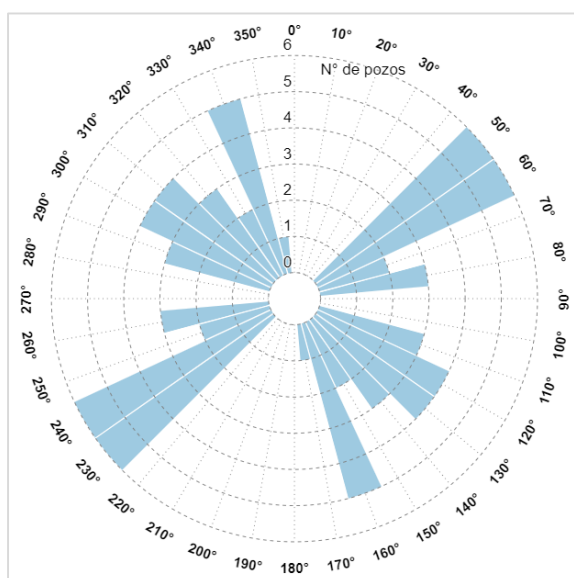


Figura 32: Rosa de lineaciones de fracturas inferidas para 39 pozos pertenecientes al área de estudio.

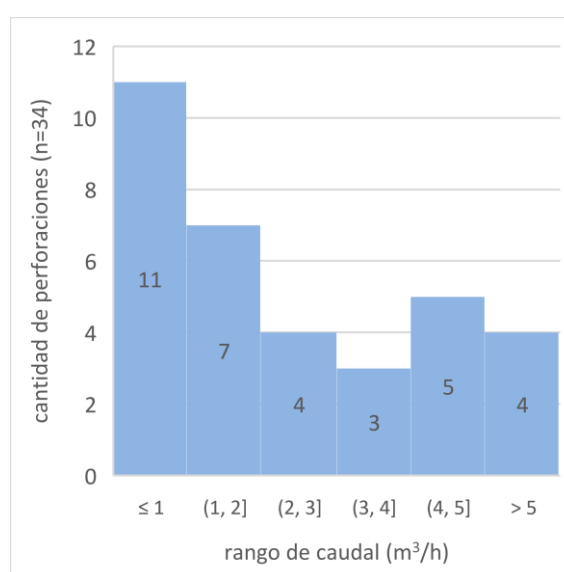


Figura 33: Rango de caudal de 34 perforaciones del registro de DINAMIGE y DINAGUA

### 8.2.3. Caudal

Se analizó los valores de caudal registrados en los pozos de DINAMIGE y DINAGUA. Del total de 48 registros solamente 34 poseían información de caudal conocido. Del análisis de ese conjunto de datos se obtuvo que el máximo caudal registrado corresponde a 29 m³/hora, el mínimo se registró con 0,5 m³/hora, el caudal promedio se ubicó en 3,9 m³/hora y la mediana de caudal en 2,0 m³/hora. En este conjunto apenas cuatro pozos superan el valor de 5 m³/hora, lo que denota que no son frecuentes grandes erogaciones. Las restantes 30 perforaciones, que representan aproximadamente el 90 % del conjunto relevado, registran valores de caudal inferiores a 5 m³/hora (figura 33).

El conjunto de pozos de monitoreo de Minera Aratirí no dispone de información de caudales de aporte por tratarse de piezómetros no ejecutados con fines de suministro.

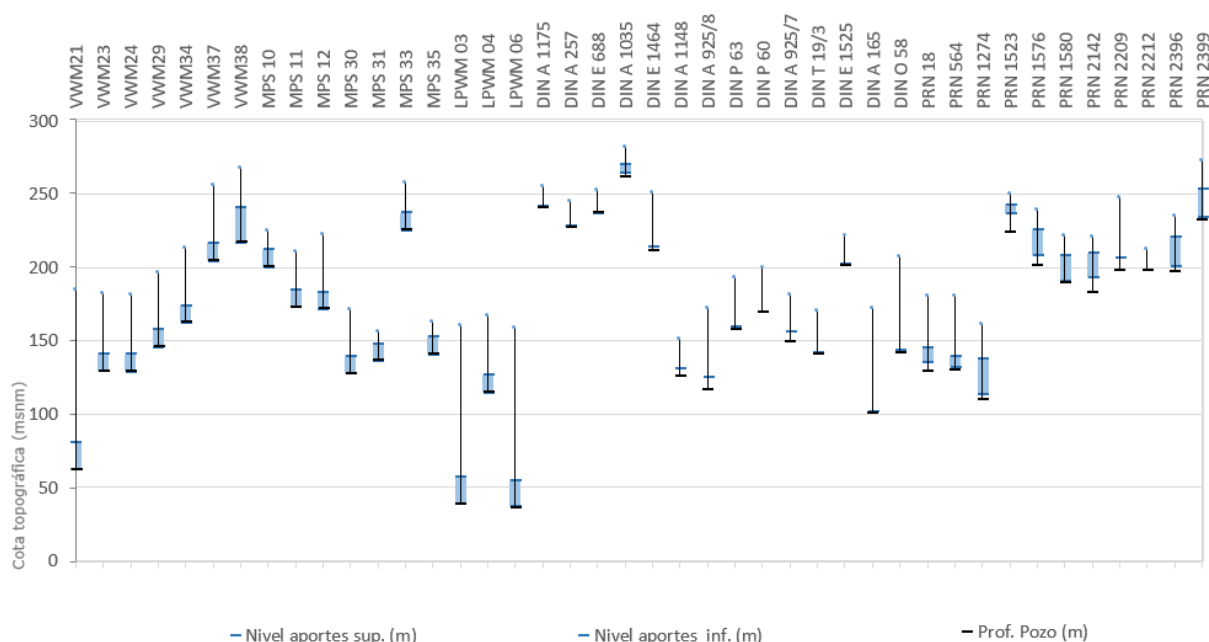


#### 8.2.4. Niveles de aporte

Los datos de niveles de aporte del conjunto de pozos disponibles en visualizadores de DINAMIGE y DINAGUA constan para un total de 25 de los 48 registros disponibles. Los datos son registrados como medidas puntuales o rangos de profundidad de aportes. Dichos valores no corresponden a medidas acotadas y se las interpretó como mediciones desde la boca del pozo, sin que se registren en los datos disponibles valores de altimetría de la boca del pozo. Realizada esta aclaración, el nivel más elevado de aparición de aportes para ese conjunto de 25 pozos corresponde a 6 metros y la cifra inferior del registro de aportes de agua subterránea corresponde a 70 metros.

En algunos casos los intervalos de aparición de agua registrados son de amplio rango, con hasta 20 metros, como es el caso del pozo PRN 2396. En contraposición, otros pozos registran rangos de uno a dos metros. En el gráfico de la figura 34 se visualizan las profundidades y los rangos de aporte para cada uno de los pozos. Los datos fueron acotados en base a la altimetría del modelo digital de elevación disponible en IDEuy<sup>11</sup>.

En el caso de los pozos piezométricos de realizados por Minera Aratirí, los niveles de aporte se ubican en todos los casos desde la base de cada perforación y presentan espesores filtrantes comprendidos entre un mínimo de 14 metros y un máximo de 28,4 metros, siendo de 17 metros el valor promedio para el conjunto.



**Figura 34:** Representación de la profundidad y niveles de captación de los pozos presentes en el área de estudio tomando en consideración la cota topográfica desprendida del modelo de elevación de IDEuy. El diagrama no representa un perfil de sección sino la totalidad de los datos disponibles para el área sin distinguir ubicación. Las medidas puntuales de aportes se presentan con el identificador azul; cuando se trata de un rango se presenta con sombreado azul entre los niveles filtrantes inferior y superior.

<sup>11</sup> <https://visualizador.ide.uy/> consultado en agosto de 2024



### 8.2.5. Piezometría

El análisis de nivel estático (NE) se realizó considerando únicamente los valores de los pozos de monitoreo realizados en el marco del Proyecto Aratirí en el periodo (2011) a los efectos de contar con una línea de base en este acuífero fracturado con datos comparables por estar comprendidos dentro de un período de algunos meses.

En la tabla 7 de medidas de NE se visualizan los datos de medición del nivel estático no acotado ejecutadas en enero, marzo, junio y agosto de 2011. En todos los casos la referencia para la medida fue la boca del entubado de PVC de cada perforación.

**Tabla 7: Medidas de nivel estático relativas a la cota de la boca de pozo**

| Id pozo | Cota de la boca de pozo (msnm) | NE (m)<br>ene /2011 | NE (m)<br>mar /2011 | NE (m)<br>jun /2011 | NE (m)<br>ago /2011 |
|---------|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| VWM21   | 185,15                         | -0,50               | -0,50               | 0,0 <sup>13</sup>   | 0,0 <sup>12</sup>   |
| VWM23   | 181,55                         | n/d                 | -3,56               | -2,75               | -2,51               |
| VWM24   | 181,16                         | -7,71               | n/d                 | -7,38               | -6,79               |
| VWM29   | 196,10                         | -0,99               | -1,94               | -1,40               | -2,08               |
| VWM34   | 212,62                         | -7,84               | -7,65               | -7,23               | -6,83               |
| VWM37   | 255,09                         | -7,36               | -7,45               | -1,50               | -5,60               |
| VWM38   | 267,43                         | -1,25               | -1,35               | -5,32               | -5,98               |
| LPWM03  | 160,12                         | -10,89              | -11,22              | -9,62               | -9,64               |
| LPWM04  | 167,18                         | -8,84               | -8,97               | -9,16               | -8,94               |
| LPWM06  | 158,33                         | -6,27               | -6,79               | -2,50               | -2,27               |
| MPS10   | 224,69                         | -6,62               | -6,99               | -7,25               | -6,37               |
| MPS11   | 210,44                         | -5,69               | -6,00               | -6,55               | -6,10               |
| MPS12   | 222,00                         | -5,44               | -5,9                | -5,17               | -4,35               |
| MPS30   | 171,19                         | -27,59              | -27,55              | -27,90              | -27,64              |
| MPS31   | 155,84                         | -2,45               | -2,52               | -1,67               | -1,76               |
| MPS33   | 256,82                         | -6,32               | -6,40               | -5,52               | -4,48               |
| MPS35   | 163,13                         | -4,51               | -4,77               | -4,55               | -4,68               |

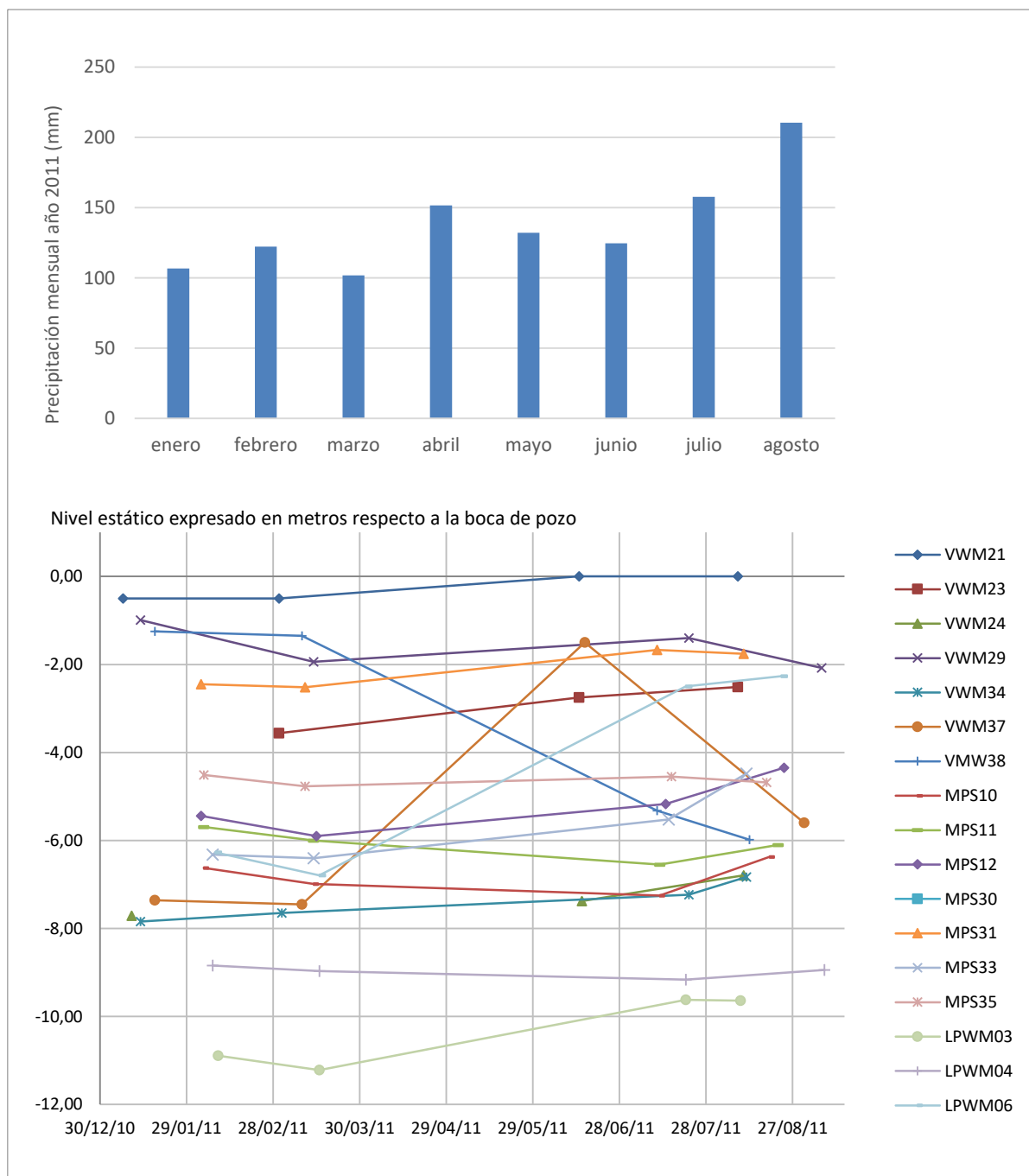
Con los datos obtenidos se pudo apreciar que el comportamiento del nivel estático (figura 35), varía en promedio de 1,67 metros, cuya tendencia generalizada es la de un incremento conforme hay un desplazamiento desde los meses cálidos hacia los meses fríos, condición que mantiene relación con los registros de precipitación<sup>13</sup> (figura 35) y es coherente con los antecedentes que indican variabilidad estacional. No obstante, los registros de los pozos MPS10, MPS 11, MPS 35 y LPWM 04 mantuvieron niveles aproximadamente estables y los pozos VWM37, VWM 38 mostraron otro comportamiento. En el caso del pozo VWM 37, durante la tercera campaña de monitoreo el NE se ubicó 5,3 m por encima del promedio de las otras tres mediciones (-6,8 m). En cuanto a la perforación VWM 38, mostró un comportamiento contrario a la generalidad, las mediciones de meses fríos reportaron cifras inferiores a las realizadas en las primeras campañas con un descenso superior a 4 metros.

<sup>12</sup> El pozo VWM21 se manifestó surgente para las campañas 3 y 4 por lo cual se consideró en este análisis el valor cero para la distancia de la boca de PVC al pelo de agua y el nivel freático coincidente con la cota altimétrica de la boca del entubado.

<sup>13</sup>[https://www.inia.org.uy/online/site/gras\\_datos.php?filtro=4&fecha\\_des=2011-01-01&fecha\\_has=2011-08-31&campos=42,13,7&ver=20000](https://www.inia.org.uy/online/site/gras_datos.php?filtro=4&fecha_des=2011-01-01&fecha_has=2011-08-31&campos=42,13,7&ver=20000)



Los valores de la cuarta campaña fueron utilizados para trazar un mapa de isopiezas, el que se muestra en la figura 36.



**Figura 35: Registro acumulado de precipitación mensual de la estación meteorológica INIA Treinta y Tres (arriba). Gráfico de nivel estático vs. tiempo para el conjunto de perforaciones evaluadas. Se señala que por cuestiones de visualización se excluyó intencionalmente los datos de la perforación MPS30 por no presentar variaciones significativas del NE y hallarse muy por debajo del rango de valores medios de las restantes perforaciones (abajo).**

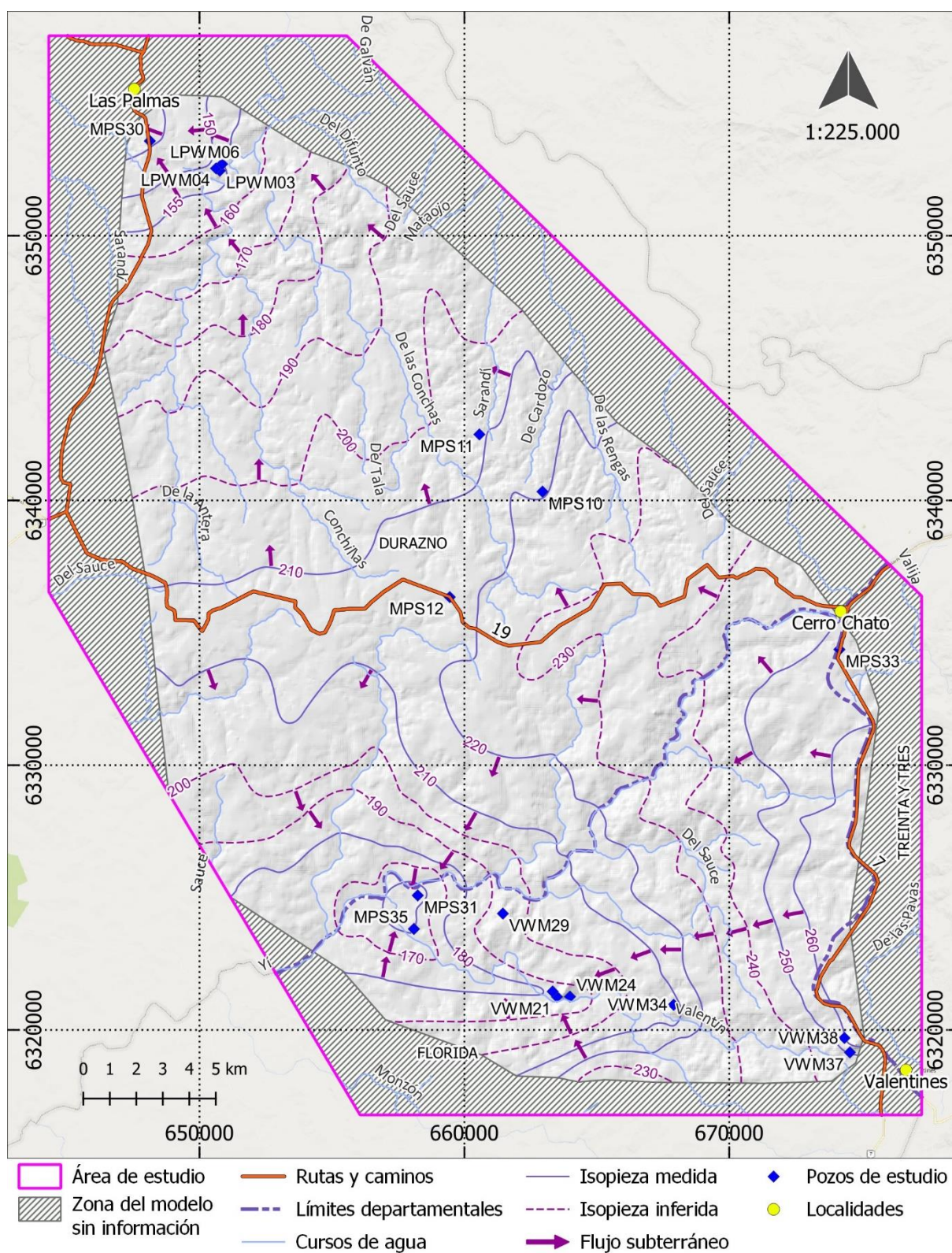


Figura 36: Modelo de líneas equipotenciales de 10 metros de paso en la zona de estudio



Del análisis del mapa de isopiezas se desprende que la dinámica del flujo subterráneo se puede dividir en dos principales dominios de acuerdo a su comportamiento. Estas son la mitad occidental y la mitad oriental de la zona de estudio.

El sector occidental muestra una dinámica de flujo de direcciones opuestas, una parte con gradiente hacia el norte y otra hacia el sur, con una zona común de mayor potencial hidráulico a lo largo de la Cuchilla Grande de Durazno, eje de la ruta 19, con una cota piezométrica del orden de +210 msnm. En el norte el nivel piezométrico inferior se ubica en +145 msnm y hacia el sur el nivel inferior quedó determinado en +160 msnm.

La mitad oriental de la zona de estudio muestra una dinámica de flujo de este a oeste. Si bien no se tienen datos de piezometría al este de la ruta 7, se infiere que la Cuchilla Grande funciona de parte aguas tal como opera la Cuchilla Grande de Durazno. En el mapa de isopiezas se observa una mayor carga hidráulica a lo largo de la Cuchilla Grande que llega a tener una piezométrica de +260 msnm. El desplazamiento del flujo es marcadamente de este a oeste al menos hasta la isopieza +230 msnm, tras lo cual comienza a modificar su trayectoria e incorporarse al dominio occidental señalado anteriormente.

Las superficies potenciométricas se ubican en términos generales acompañando la topografía del terreno. Los mayores apartamientos se comienzan a vislumbrar conforme el flujo subterráneo se desplaza al norte cerca de los límites de la zona de estudio, donde los registros permiten inferir que hay una caída considerable del nivel piezométrico respecto a la cota del terreno, presentando una diferencia de hasta 20 metros en relación a la topografía, como se observa en las inmediaciones del pozo MPS 30.

### 8.3. Hidrogeoquímica

El análisis hidrogeoquímico se basó en los datos obtenidos de los 17 pozos de monitoreo ejecutados por Minera Aratirí. Esto en virtud de no contar con otra información de índole geoquímica para los restantes registros de pozos existentes en el área de estudio. Los considerados se ubican en el sur, centro y norte del área de estudio, ubicaciones coincidentes con las zonas de interés minero del proyecto minero, correspondiendo los distritos ferríferos de Valentines y Las Palmas.

Para este análisis se consideró el conjunto de mediciones realizadas *in situ* en cuatro campañas de monitoreo para las 17 perforaciones evaluadas y los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de agua extraídas concomitantemente en la primera campaña de monitoreo. Los parámetros de control considerados en este análisis son los que resultan comparables con la norma 833:2008 bajo los apartados de requisitos para el control físico y control químico inorgánico, incluidos en esto último los parámetros adicionales y complementarios.

#### 8.3.1. Parámetros físico-químicos

Los parámetros medidos *in situ* durante el transcurso del bombeo fueron temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. La lectura de estos parámetros se realizó con la sonda multiparamétrica señalada en el apartado 4.2 de acuerdo al procedimiento indicado en 4.5. Los registros obtenidos en cada campaña están reportados en la tabla del apartado III del anexo.



Para cada parámetro se graficó el conjunto de 17 series de datos, que corresponden a cada una de las perforaciones evaluadas, lo que está representado en las figuras 37, 39, 40 y 41.

### 8.3.1.1. Temperatura

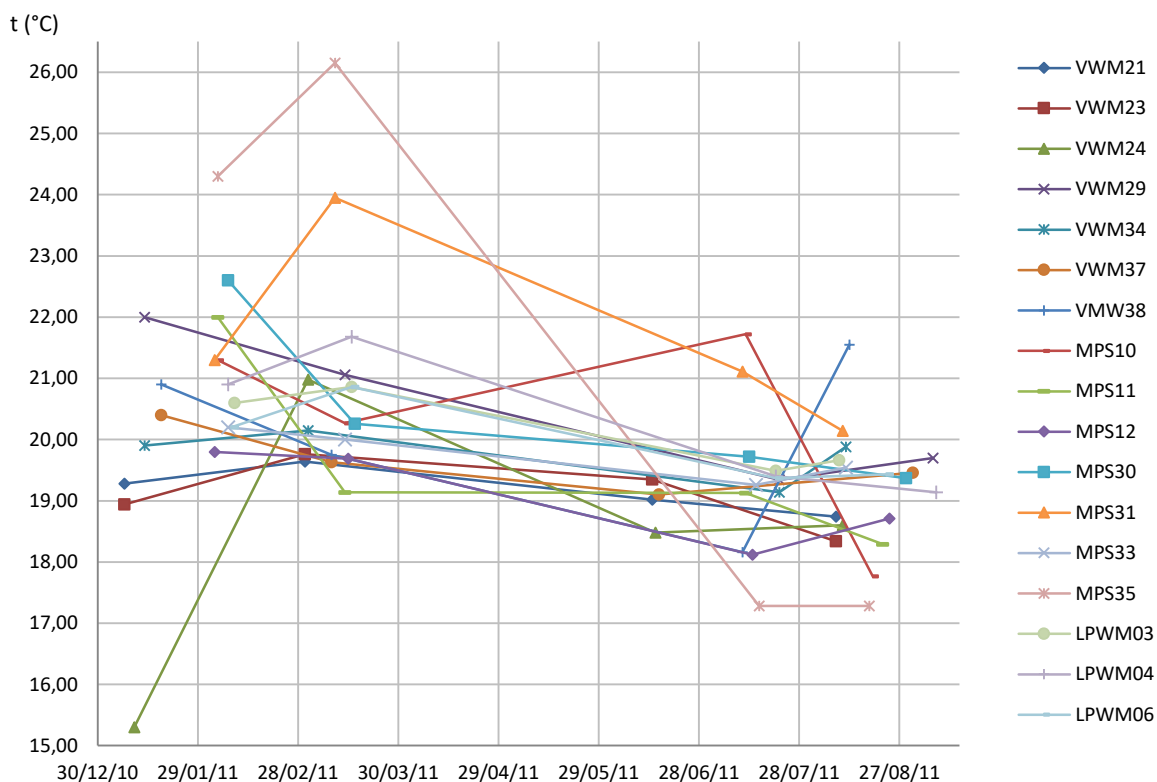
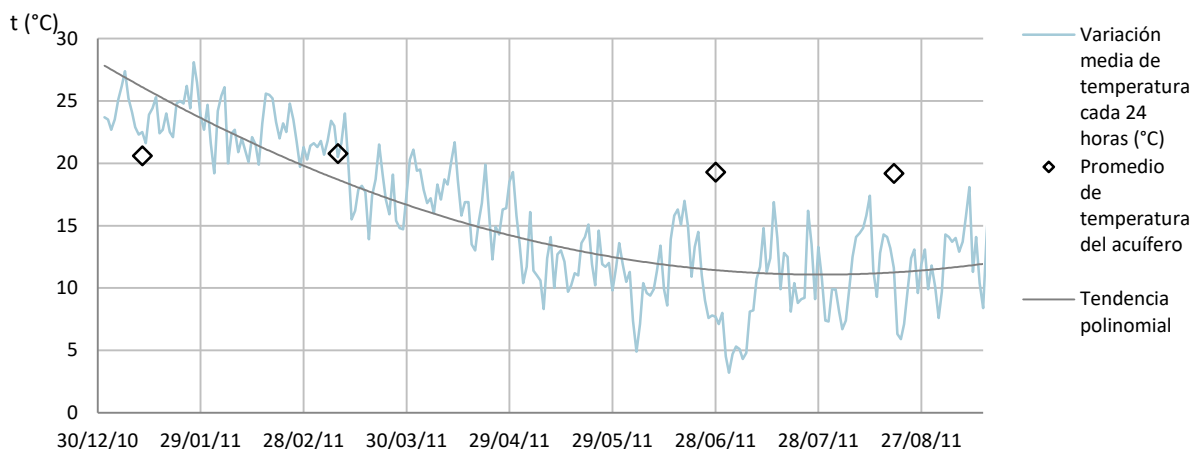


Figura 37: Variación de temperatura del agua entre períodos de muestreo

El gráfico de temperatura a boca de pozo (figura 37) muestra de forma general un comportamiento de tendencia a la baja para la mayoría de las perforaciones. El entorno de temperaturas se ubicó entre los 15,3 y 26,2 °C para dos primeras series de datos (verano), y en el rango de 17,3 a 21,6 °C para las restantes dos (invierno). La variación de los promedios marca una diferencia de 1,6 °C entre los meses cálidos y los meses fríos (20,8 °C y 19,2 °C respectivamente) manteniendo relación con la temperatura media estacional. En el gráfico de la figura 38 se observa el registro obtenido de la temperatura media diaria en la estación INIA de Treinta y Tres para el período enero-setiembre de 2011 y su relación con el promedio de temperaturas medidas en cada campaña de monitoreo.

Los pozos VWM24 y MPS31 presentaron los extremos inferior y superior del registro de temperatura del conjunto de datos (15,3 y 23,9 °C respectivamente).



**Figura 38:** Temperatura promedio de las muestras de cada campaña en relación a la variación media de temperatura cada 24 horas. Fuente de datos: estación meteorológica INIA Treinta y Tres, período 1/1/2011-20/09/2011. <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico> (mayo de 2022)

#### 8.3.1.2. Conductividad eléctrica

Las lecturas de conductividad eléctrica, representadas en el gráfico de la figura 39, permitieron diferenciar dos principales grupos, una población de pozos con valores usuales de conductividad comprendidos en el entorno de 50-400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , que geográficamente se ubican los sectores con mineralizaciones de hierro (Valentines y Las Palmas); y un segundo grupo de perforaciones que presenta valores usuales en el rango de 550-950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que comprende la extensión central del área de estudio. Los valores más elevados de conductividad se midieron en la perforación MPS33, ubicada en la zona de influencia de la localidad de Cerro Chato, donde se alcanzó un máximo de 1185  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Para el grupo de perforaciones de la extensión central del área, así como para la perforación MPS33, se observó una caída significativa de los valores de conductividad en la campaña de agosto respecto a los de julio, con bajas comprendidas en el rango del 23 % al 31 %. El comportamiento general fue una disminución del 15 % en promedio entre las medidas de verano y las de invierno, campaña 2 y campaña 4 respectivamente, lo que queda representado en las figuras 44 y 45 con mapas de valores interpolados de conductividad eléctrica.

#### 8.3.1.3. pH

En cuanto a valores de pH medidos *in situ*, las campañas de verano se ubicaron con un mínimo correspondiente a 6,04, máximo de 9,93 y promedio de 7,22. Para los muestreos de invierno los valores tuvieron un mínimo de 6,05, máximo de 8,73 y promedio de 7,29 (figura 40).

Salvo el caso excepcional de las muestras de verano de la perforación LPWM06 cuyos valores registrados fueron de 9,93 y 9,36 (campaña 1 y 2 respectivamente), las restantes muestras para todos los pozos se ubicaron dentro de rango de pH de 6 a 9.

El promedio de los valores obtenidos es inferior en el muestreo de verano que en el de invierno. Si no se consideran los valores de la perforación LPWM06 el promedio se ubica en 7,07 para las muestras de verano, resultando en un incremento de 0,22 puntos de pH en los meses fríos, lo que mantiene relación con las variaciones estacionales de temperatura. En las



figuras 42 y 43 se representan dos modelos de distribución de la concentración de pH de acuerdo a la época del año.

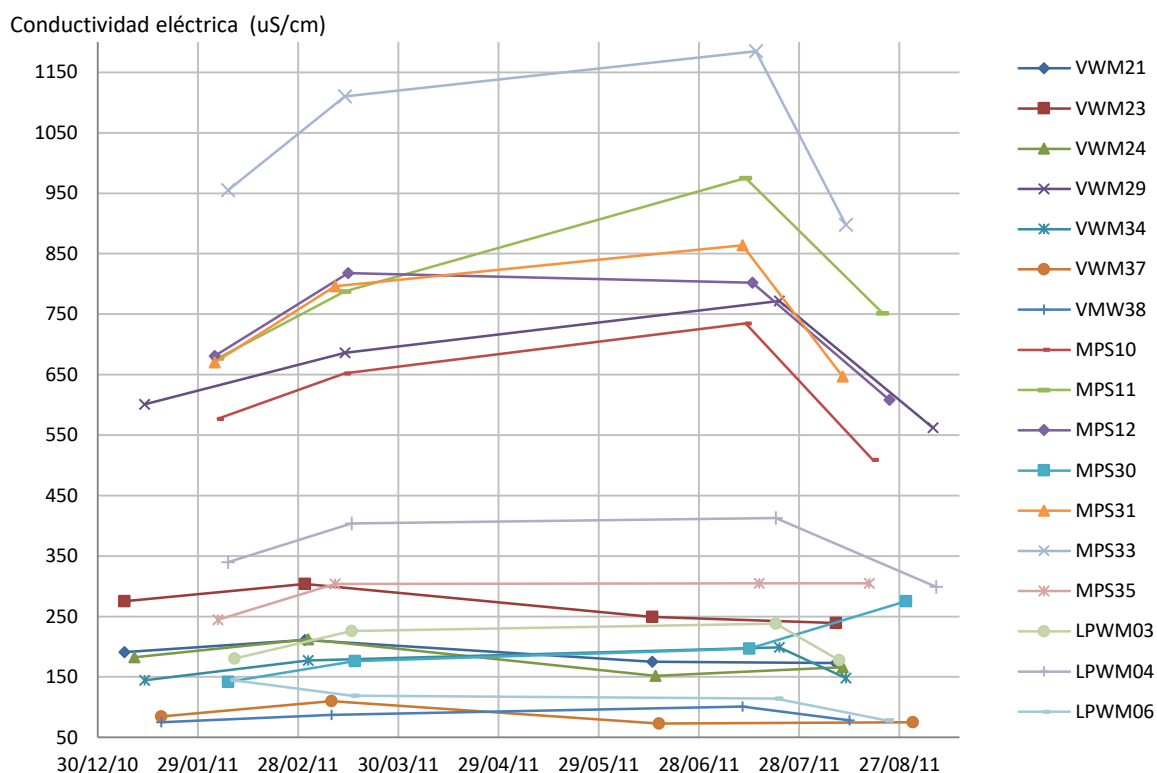
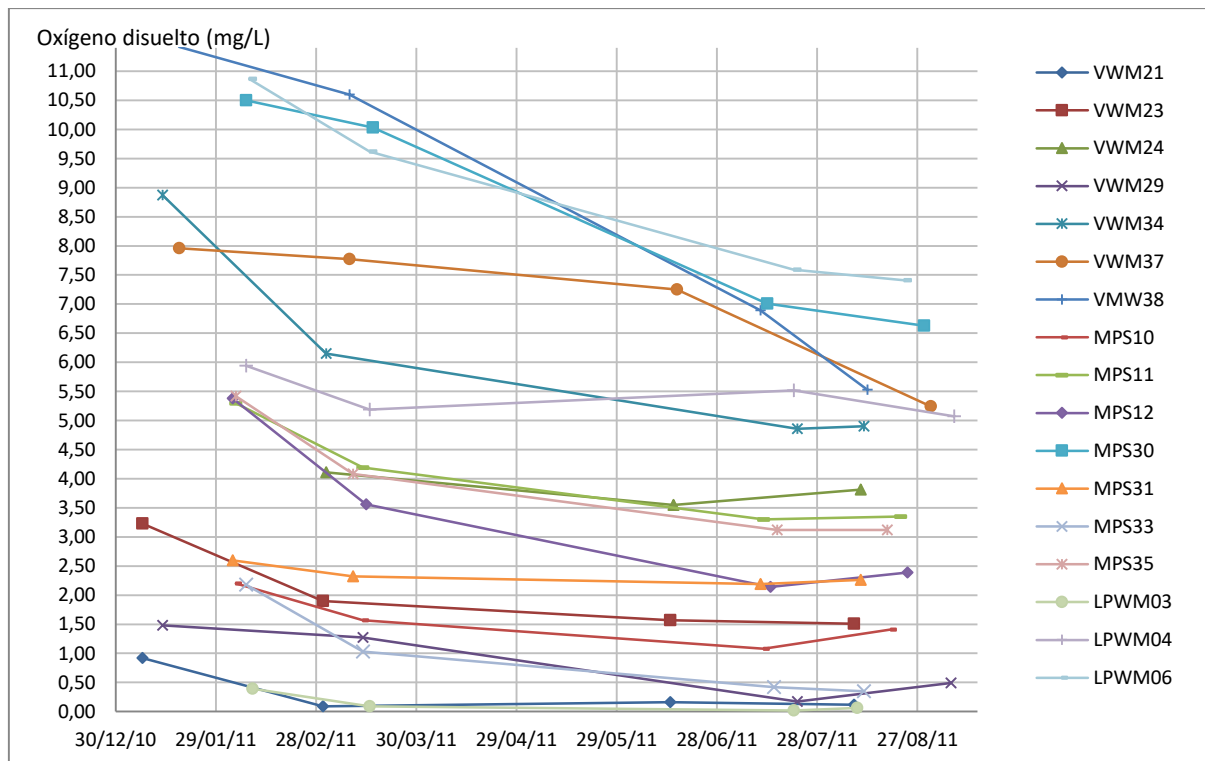
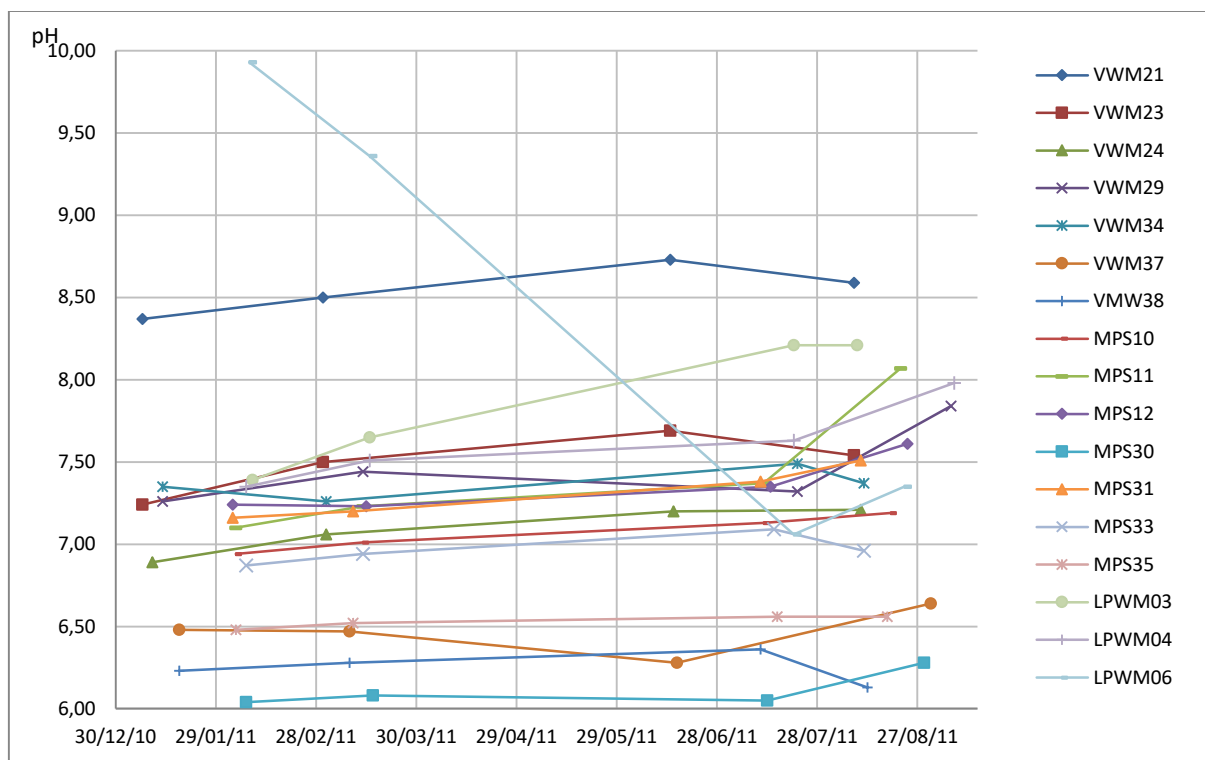


Figura 39: Valores de conductividad eléctrica in situ normalizada a 25 °C

### 8.3.1.1. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (en adelante OD) muestra para todas las series de datos un comportamiento decreciente, con mayor o menor variación, pero en general exhibiendo mayores concentraciones en los meses cálidos que en los meses fríos (figura 41). En el conjunto de registros de todas las perforaciones, el mínimo valor se ubicó en 0,02 mg/L y el mayor se ubicó en 11,42 mg/L. El promedio fue de 4,01 mg/L y la mediana de 3,35 .mg/L.

Se observó que las menores concentraciones de OD se dieron en la zona central del área en el conjunto de perforaciones donde se registró los niveles más elevados de conductividad eléctrica, así como en la MPS33 cercana a Cerro Chato.



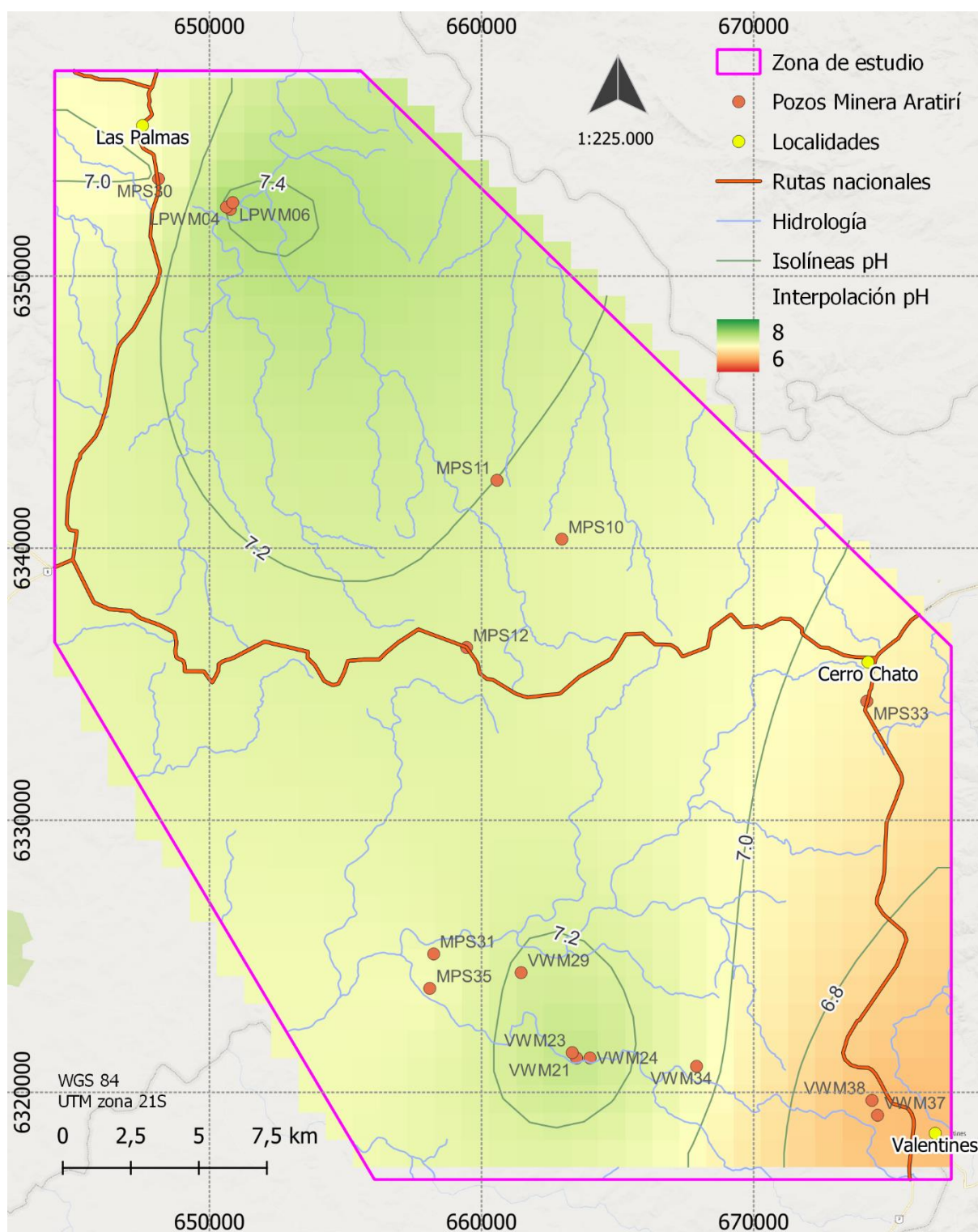


Figura 42: Mapa de isovalores de pH correspondiente al segundo muestreo de verano (campana 2)

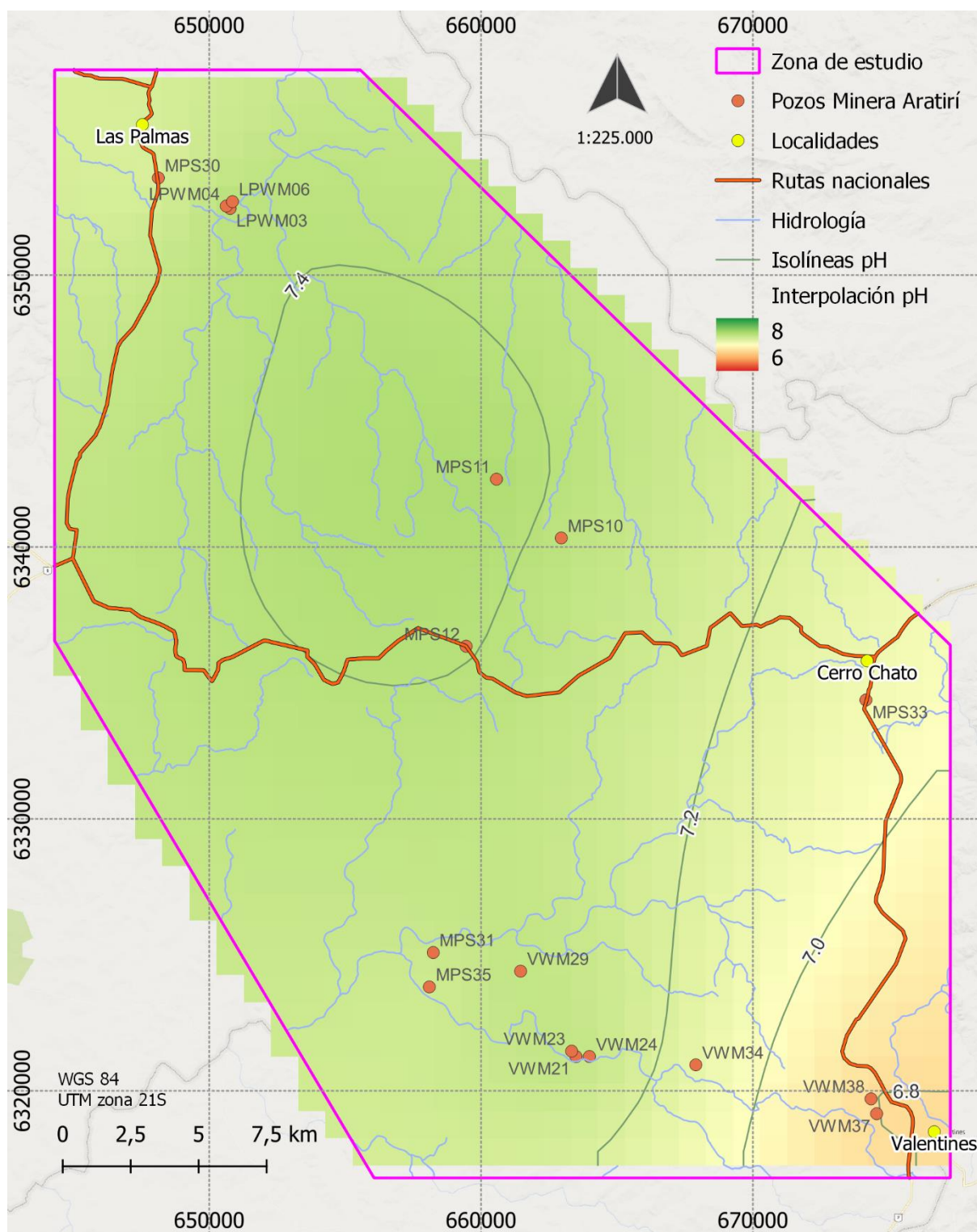


Figura 43: Mapa de isovalores de pH correspondiente al segundo muestreo de invierno (campana 4)

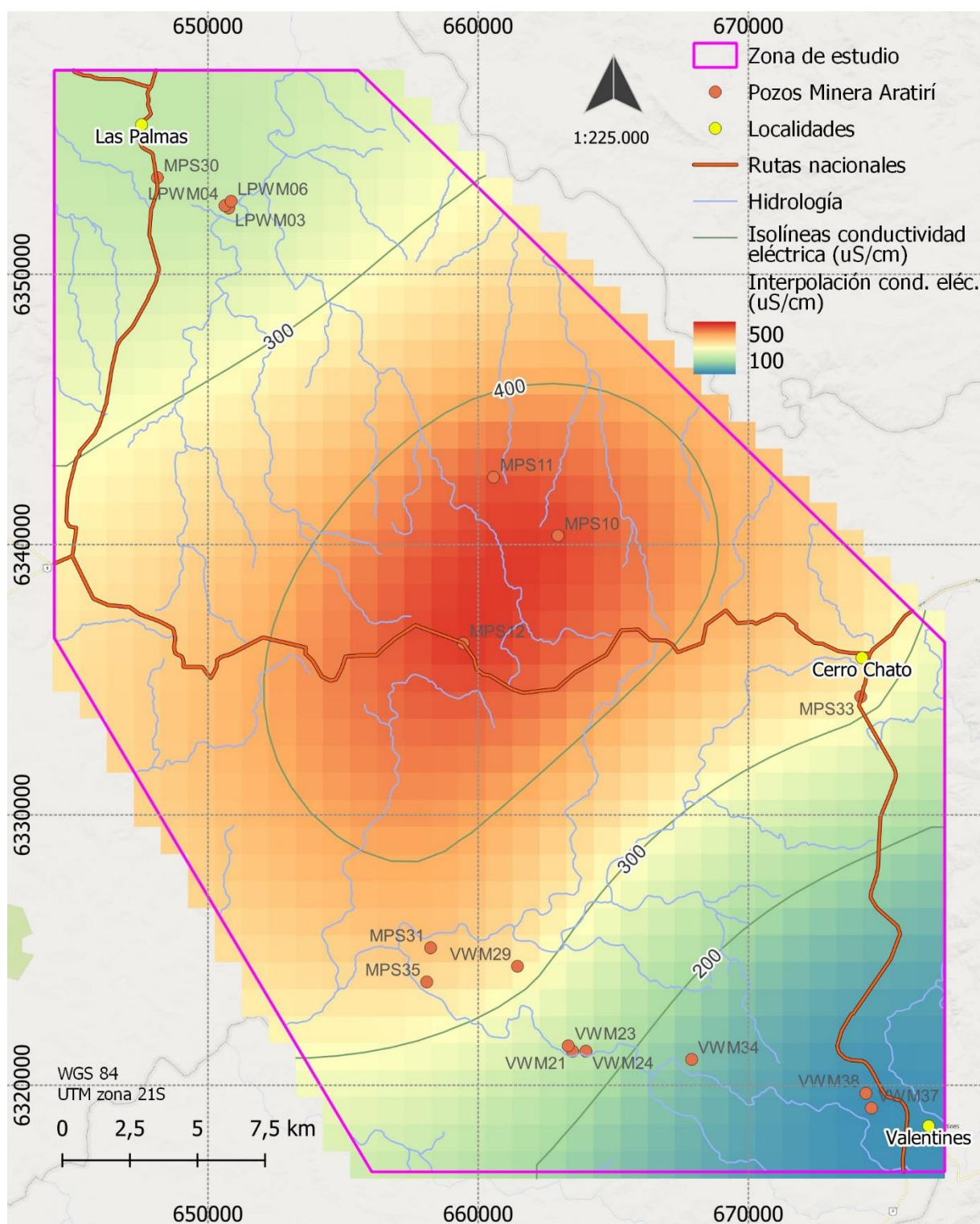


Figura 44: Mapa de interpolación de conductividad eléctrica en  $\mu\text{S/cm}$ , correspondiente al segundo muestreo de verano (campana 2)

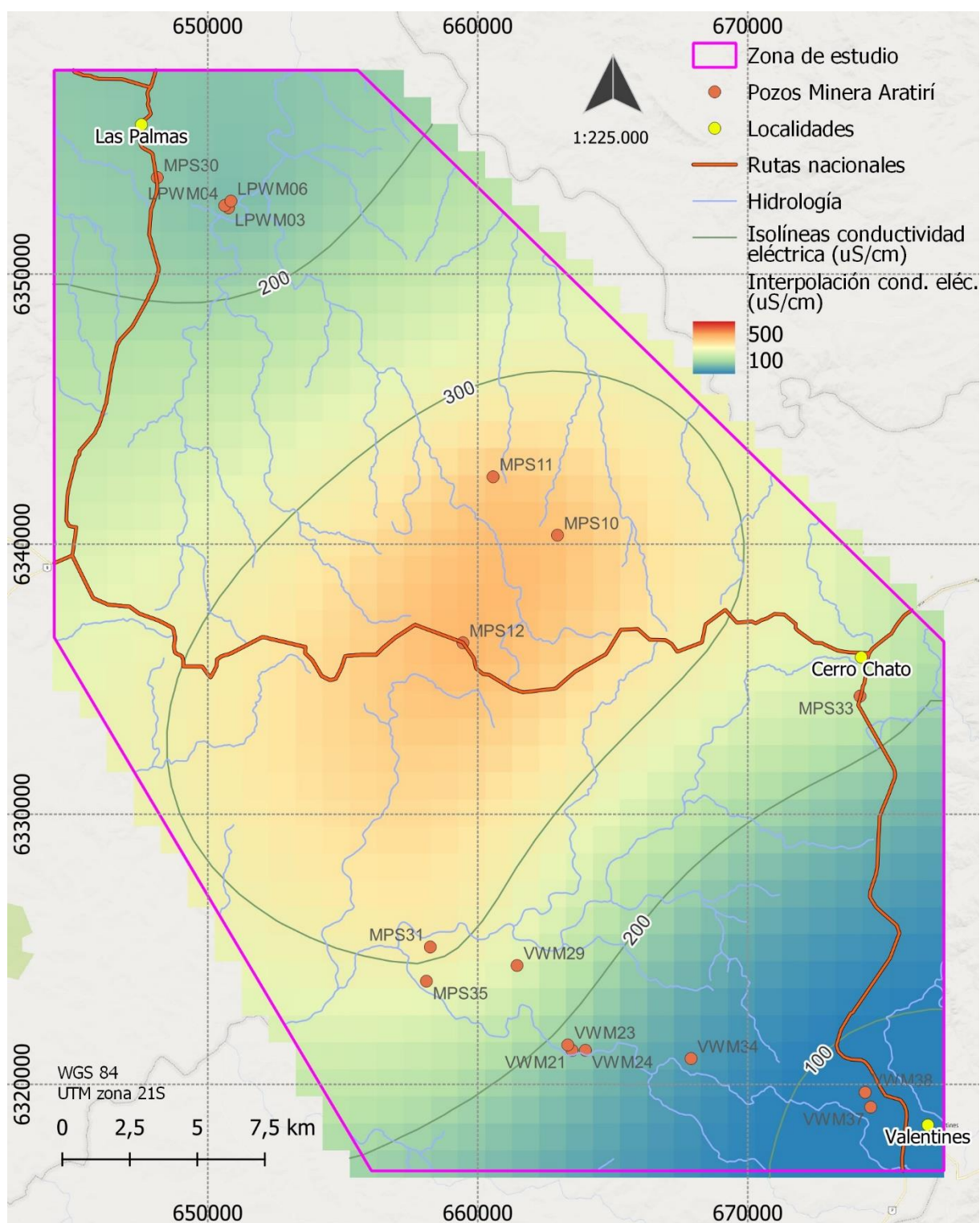


Figura 45: Mapa de isovalores de conductividad eléctrica en  $\mu\text{S/cm}$ , correspondiente al segundo muestreo de invierno (campaña 4)



### 8.3.2. Análisis de los resultados analíticos

Los resultados de los análisis de laboratorio se detallan en el anexo IV. Del conjunto de datos de concentración de los diferentes elementos presentes en las muestras de agua de las 17 perforaciones evaluadas, respecto de los principales cationes y aniones (tabla 8) se desprende lo siguiente:

**Tabla 8: Máximo, mínimo, promedio y mediana de los principales iones**

| Ion                                            | Concentración expresada en mg/L |        |          |         |
|------------------------------------------------|---------------------------------|--------|----------|---------|
|                                                | máxima                          | mínima | promedio | mediana |
| Sodio ( $\text{Na}^+$ )                        | 95,8                            | 3,2    | 40,5     | 19,5    |
| Potasio ( $\text{K}^+$ )                       | 9,4                             | 0,3    | 2,9      | 1,9     |
| Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )                    | 89,6                            | 6,4    | 27,9     | 24,2    |
| Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )                  | 26,9                            | 1,7    | 8,8      | 7,2     |
| Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )                      | 50,6                            | 1,4    | 12,7     | 5,6     |
| Nitrato <sup>14</sup> ( $\text{NO}_3^-$ )      | 7,0                             | 0,2    | 1,5      | 0,9     |
| Carbonato <sup>15</sup> ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) | 13,5                            | 0,0    | 1,8      | 0,6     |
| Bicarbonato <sup>16</sup> ( $\text{HCO}_3^-$ ) | 379,0                           | 13,7   | 163,0    | 132,0   |
| Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )                 | 83,6                            | 1,1    | 13,1     | 6,1     |
| Fluoruro ( $\text{F}^-$ )                      | 1,1                             | 0,1    | 0,5      | 0,4     |
| Nitrito <sup>16</sup> ( $\text{NO}_2^-$ )      | 6,1                             | 0,0    | 0,8      | 0,3     |

Tanto sodio como potasio en el área sur incrementan progresivamente sus concentraciones con relación a la dirección del flujo subterráneo. En el área central mantienen estabilidad, y en el norte (Las Palmas) no se identifica una tendencia.

El calcio por su parte incrementa su concentración en relación a la dirección del flujo subterráneo del área sur, pero en la región central disminuye su concentración en el sentido de la dirección del flujo. En el área norte presenta estabilidad.

El magnesio en el sur incrementa su concentración con relación a la dirección del flujo, mantiene estable su concentración en el área central y no varía significativamente en la región norte del área de estudio.

Para los aniones se observó que en la región del sur los sulfatos se mantienen estables con relación a la dirección del flujo, salvo el pozo VWM29 que presenta un valor diez veces superior al promedio de concentración del conjunto de los restantes pozos. En el sector más occidental de la región sur se visualiza un incremento de sulfatos. La alcalinidad incrementa hasta diez veces en la dirección del flujo, al igual que los cloruros. Los nitratos se mantienen estables, pero destaca el pozo VWM21 que quintuplica la concentración media de la serie. En el área centro y norte se aprecia una caída significativa de la alcalinidad en relación a la dirección del flujo que presenta una diferencia hasta nueve veces inferior entre los pozos más lejanos, MPS33 y MPS3, ubicados a 30 kilómetros de distancia entre ellos. Los cloruros no

<sup>14</sup> Concentración de nitrato expresada en mg/L (N).

<sup>15</sup> Concentración de carbonato y bicarbonato expresada en mg/L ( $\text{CaCO}_3$ ).

<sup>16</sup> Concentración de nitrito expresada en mg/L (N).



muestran una tendencia de incremento o disminución de concentración, pero si se valoran los extremos de la serie de pozos se puede determinar que hay una caída de hasta diez veces en la concentración. Los nitratos se mantienen estables en la dirección del flujo, pero se registra un valor excepcionalmente alto en el pozo MPS33 que supera en un factor de diez el promedio de las medidas de los restantes pozos.

Los fluoruros se ubicaron en la región sur con un promedio de 0,3 mg/L, mostrando un incremento en la dirección del flujo. En la región central el promedio se ubicó en 0,9 mg/L sin distinguirse variaciones en el sentido del flujo. En el norte el promedio de fluoruros fue de 0,6 mg/L determinándose una baja en la concentración en la dirección del flujo hacia el oeste. Los nitritos tanto en el sur como en el norte del área de estudio mostraron una tendencia de incremento de la concentración en la dirección del flujo subterráneo. No obstante, los incrementos más notorios responden a la ubicación de los pozos MPS31, MPS35 y VWM21 de la región sur y a los pozos LPWM04, LPWM06 y MPS30 de la región norte. El pozo MPS33 presentó un valor muy por encima de la media con 6,1 mg/L (N), valor anómalo en relación a los valores usuales. Sin considerar el registro de 6,1 mg/L los valores de concentración de nitritos para los restantes pozos quedan de la siguiente manera: máxima concentración 1,0 mg/L, mínima concentración 0,03 mg/L, promedio 0,4 mg/L.

Con los valores medidos de pH, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos (TDS) se determinó lo que se indica en la tabla 9:

**Tabla 9: Máximo, mínimo, promedio y mediana de pH, conductividad eléctrica y TDS**

| Parámetro                                   | Máximo | Mínimo | Promedio | Mediana |
|---------------------------------------------|--------|--------|----------|---------|
| pH                                          | 10,17  | 6,36   | 7,41     | 7,38    |
| Cond. eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 1061,0 | 90,0   | 405,4    | 283,5   |
| TDS (mg/L)                                  | 653,0  | 71,0   | 278,9    | 180,0   |

El valor de la perforación LPWM06 fue particularmente elevado, con un resultado de 10,17, coherente con el valor medido en campo. Si no se considera el valor de pH de ese pozo las cifras de máximo y promedio quedan de la siguiente manera: máximo 8,28 mg/L, promedio 7,24 mg/L.

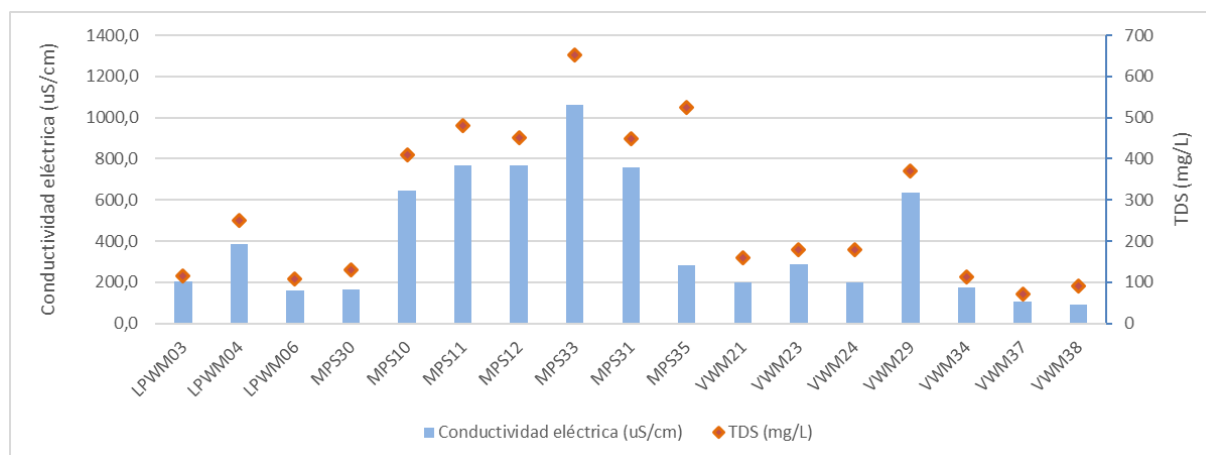
Se observó una estrecha relación entre la concentración de sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica, con un índice, para el conjunto de 17 pares,  $r = 0,89$ ;  $p = 5 \times 10^{-3}$ . Sin embargo, la muestra del pozo MPS 35 tuvo un peso negativo en la correlación debido a que la conductividad eléctrica medida fue 284  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , baja en relación a la concentración de TDS de 525 mg/L cuando se las compara con las de las restantes muestras (ver gráfico de la figura 46). Esta condición resulta además inconsistente con las elevadas concentraciones de hierro y aluminio disueltos que fueron registradas, en ambos casos muy sobre la media de las otras perforaciones.

El análisis y evaluación de la concentración de elementos potencialmente tóxicos, metales y metaloides, permitió determinar para cada uno lo siguiente:

Aluminio: máx.: 1750,0  $\mu\text{g}/\text{L}$ , mín.: 3,1  $\mu\text{g}/\text{L}$ , prom.: 114,4  $\mu\text{g}/\text{L}$ , mediana: 6,2  $\mu\text{g}/\text{L}$ .  
El valor máximo de registrado de aluminio (MPS35) excedió muy ampliamente a los valores usuales de los otros pozos, incluso superando en cuarenta veces el siguiente valor más



elevado de aluminio (VWM34). Si no se considera ese valor pico excepcional, los valores quedan conformados de la siguiente manera: máx.: 43,7 µg/L, mín.: 3,1 µg/L, prom.: 12,2 µg/L, mediana: 6,2 µg/L. De acuerdo al gráfico (figura 48), aún sin considerar lo que se interpretó como un valor anómalo, lo observado indica que hay mayor concentración de aluminio en la región sur del área de estudio.



**Figura 46: Gráfico de comparación de sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica**

**Antimonio:** máx.: 0,32 µg/L, mín.: 0,02 µg/L, prom.: 0,07 µg/L, mediana: 0,04 µg/L.  
La concentración de antimonio no alcanzó el límite de detección para ocho de las diecisiete muestras.

**Arsénico:** máx.: 15,80 µg/L, mín.: 0,03 µg/L, prom.: 2,06 µg/L, mediana: 0,79 µg/L.  
La mayor concentración de arsénico se ubicó en el pozo MPS12 en la región central del área de estudio, en ese punto se superó por encima de diez veces la media de concentración de los restantes pozos. El segundo registro más elevado, 4,53 µg/L, se dio en el límite noreste del área de estudio (MPS30), que a su vez supera en un orden de magnitud a los valores de concentración de sus pozos más cercanos (LPWM03, LPWM04, LPWM06). El arsénico presentó un índice de correlación moderada con el sodio,  $r=0,48$ ;  $p=3 \times 10^{-4}$ . En la figura 49 se presenta la distribución de valores de igual concentración.

**Bario:** máx.: 270,0 µg/L, mín.: 6,3 µg/L, prom.: 73,8 µg/L, mediana: 64,2 µg/L.  
La interpolación de concentración de bario (figura 50) permite observar que hay mayor concentración en el sector oriental del área de estudio. El registro máximo correspondió a la perforación VWM37.

**Berilio:** máx.: 0,38 µg/L, mín.: 0,01 µg/L, prom.: 0,07 µg/L, mediana: 0,03 µg/L.  
En nueve de las diecisiete muestras la concentración de berilio no superó el límite de detección de 0,01 µg/L. La mayor cantidad de registros se dio en la mitad norte del área de estudio. No obstante, el valor máximo reportado tuvo lugar en el sur, en el pozo MPS35.

**Boro:** máx.: 131 µg/L, mín.: 51 µg/L, prom.: 106 µg/L, mediana: 112 µg/L.  
En diez de las diecisiete muestras la concentración de boro no superó el límite de detección de 50 µg/L.

**Cadmio:** máx.: 0,081 µg/L, mín.: 0,005 µg/L, prom.: 0,026 µg/L, mediana: 0,018 µg/L.



La concentración de cadmio no superó el límite de detección en tres de los pozos. El registro máximo lo tuvo la perforación VWM29. El cadmio mostró correlación positiva moderada con el selenio,  $r=0,68$ ;  $p=0,05$ . De acuerdo al mapa de isoconcentraciones (figura 51) las mayores concentraciones de cadmio se registran en el eje del Arroyo Valentín.

Cobre: máx.:  $2,43 \mu\text{g/L}$ , mín.:  $0,14 \mu\text{g/L}$ , prom.:  $0,58 \mu\text{g/L}$ , mediana:  $0,41 \mu\text{g/L}$ .  
El máximo correspondió al pozo MPS35 que superó en cinco veces la media de  $0,46 \mu\text{g/L}$  correspondiente a las restantes dieciséis perforaciones. Presentó correlación positiva moderada con el plomo ( $r=0,78$ ;  $p=0,03$ ) y también con el zinc ( $r=0,60$ ;  $p=0,02$ ). Su distribución inferida se representa en la figura 52.

Cromo: máx.:  $2,8 \mu\text{g/L}$ , mín.:  $0,1 \mu\text{g/L}$ , prom.:  $0,6 \mu\text{g/L}$ , mediana:  $0,4 \mu\text{g/L}$ .  
La concentración de Cr no superó el límite de detección ( $0,1 \mu\text{g/L}$ ) en cinco de las diecisiete muestras. El valor máximo se registró en la perforación LPWM06, el segundo valor más elevado ( $1,3 \mu\text{g/L}$ ) correspondió al pozo MPS35. Según el mapa de concentración de Cr (figura 53) los valores más elevados se dieron en la mitad oeste del área de estudio e incrementan hacia el norte.

Hierro: máx.:  $797,0 \mu\text{g/L}$ , mín.:  $3 \mu\text{g/L}$ , prom.:  $76 \mu\text{g/L}$ , mediana:  $17 \mu\text{g/L}$ .  
El registro para 15 de las 17 perforaciones fue igual o inferior a  $40 \mu\text{g/L}$ . Los restantes dos registros aportaron valores de  $256 \mu\text{g/L}$  y  $797 \mu\text{g/L}$ , LPWM03 y VWM29 respectivamente, el primero en la región norte y el segundo en el sur, valores que superan ampliamente la mediana. El promedio de quince muestras que excluye a los valores más elevados se ubicó en  $16,3 \mu\text{g/L}$ . El mapa de distribución de concentraciones se representa en la figura 54.

Manganeso: máx.:  $838,0 \mu\text{g/L}$ , mín.:  $0,2 \mu\text{g/L}$ , prom.:  $158,6 \mu\text{g/L}$ , mediana:  $16,4 \mu\text{g/L}$ .  
Los resultados de Mn fueron variados y registraron en diez de las perforaciones valores inferiores a  $20 \mu\text{g/L}$  mientras que para las restantes siete se ubicaron por encima de  $145 \mu\text{g/L}$ . No se registraron valores del rango intermedio ( $20\text{-}145 \mu\text{g/L}$ ). El mapa de iguales concentraciones (figura 55) permite visualizar que hay mayores tenores de Mn en la región central del área de estudio. El manganeso presentó correlación positiva moderada con el sodio ( $r=0,52$ ;  $p=3 \times 10^{-4}$ ), el molibdeno ( $r=0,57$ ;  $p=0,02$ ) y el talio ( $r=0,68$ ;  $p=0,03$ ); y muy buena con el níquel ( $r=0,86$ ;  $p=0,02$ ).

Mercurio: máx.:  $0,277 \mu\text{g/L}$ , mín.:  $0,003 \mu\text{g/L}$ , prom.:  $0,038 \mu\text{g/L}$ , mediana:  $0,005 \mu\text{g/L}$ .  
El mercurio se ubicó en valores cercanos al mínimo para la región central y norte del área de estudio y concentró sus valores más elevados en área media del distrito minero Valentines (sur del área de estudio) en la ubicación de los pozos VWM29 y VWM34. No registró valores para seis de las muestras por no superar el límite de detección de  $0,001 \mu\text{g/L}$ . La interpolación de los datos para la elaboración del mapa de concentraciones de la figura 56 no consideró el máximo registrado en el pozo MPS33, en las inmediaciones de Cerro Chato, cuyo valor superó en casi veinte veces el promedio de concentración de los restantes pozos. Presentó buenas correlaciones positivas con calcio ( $r=0,92$ ;  $p=2 \times 10^{-3}$ ); magnesio ( $r=0,84$ ;  $p=3 \times 10^{-3}$ ); potasio ( $r=0,53$ ;  $p=3 \times 10^{-3}$ ) y sodio ( $r=0,49$ ;  $p=5 \times 10^{-3}$ ). Hay que considerar que para estas duplas la población de la muestra correspondió a 11 registros.

Molibdeno: máx.:  $20,80 \mu\text{g/L}$ , mín.:  $0,20 \mu\text{g/L}$ , prom.:  $4,48 \mu\text{g/L}$ , mediana:  $2,42 \mu\text{g/L}$ .  
La mayor concentración de Mo se registró en la zona centro norte del área de estudio y el siguiente valor más elevado se ubicó en el pozo VWM34 con  $14,20 \mu\text{g/L}$ . El mapa de



concentraciones inferidas se representa en la figura 57. Se correlacionó positivamente con el manganeso ( $r=0,57$ ;  $p=0,02$ ) y el níquel ( $r=0,56$ ;  $p=0,04$ ).

Níquel: máx.: 11,10  $\mu\text{g/L}$ , mín.: 0,03  $\mu\text{g/L}$ , prom.: 1,79  $\mu\text{g/L}$ , mediana: 0,64  $\mu\text{g/L}$ .  
Los mayores registros se concentran en los pozos MPS10 y MPS35 con 11,10  $\mu\text{g/L}$  y 7,41  $\mu\text{g/L}$  respectivamente. El níquel presentó buena correlación positiva con el manganeso ( $r=0,87$ ;  $p=0,02$ ) y moderada con el molibdeno ( $r=0,56$ ;  $p=0,04$ ). El mapa de concentraciones inferidas se representa en la figura 58.

Plata: máx.: 0,025  $\mu\text{g/L}$ , mín.: 0,006  $\mu\text{g/L}$ , prom.: 0,013  $\mu\text{g/L}$ , mediana: 0,011  $\mu\text{g/L}$ .  
En trece de las perforaciones no se superó el límite de detección (0,005  $\mu\text{g/L}$ ) por lo que la plata disuelta no tiene gran representatividad en el área. Los cuatro registros medidos de plata correspondieron a pozos de la zona ferrífera del sur y de ellos, los dos con valores más elevados, se ubicaron en cercanía de la localidad de Valentines.

Plomo: máx.: 4,110  $\mu\text{g/L}$ , mín.: 0,022  $\mu\text{g/L}$ , prom.: 1,035  $\mu\text{g/L}$ , mediana: 0,516  $\mu\text{g/L}$ .  
El modelo de distribución de la concentración de plomo (figura 59) presenta mayores valores a lo largo de la faja mineralizada del sur, extendiéndose hacia el norte, a la región de Las Palmas. Esa distribución espacial es semejante a la del hierro, aunque su correlación no resultó estadísticamente significativa ( $r=0,72$ ;  $p=0,13$ ). El valor superior correspondió al pozo MPS35 y el segundo más elevado se dio en LPWM04 con 3,110  $\mu\text{g/L}$ . El plomo presentó correlación positiva moderada con el cobre ( $r=0,78$ ;  $p=0,03$ ) y el talio ( $r=0,58$ ;  $p=0,01$ ).

Selenio: máx.: 3,14  $\mu\text{g/L}$ , mín.: 0,05  $\mu\text{g/L}$ , prom.: 0,42  $\mu\text{g/L}$ , mediana: 0,15  $\mu\text{g/L}$ .  
El valor máximo se dio en el pozo VWM29, valor casi catorce veces superior al promedio de concentración de las restantes perforaciones. El selenio presentó correlación positiva moderada con el cadmio ( $r=0,68$ ;  $p=0,05$ ).

Talio: máx.: 0,096  $\mu\text{g/L}$ , mín.: 0,002  $\mu\text{g/L}$ , prom.: 0,024  $\mu\text{g/L}$ , mediana: 0,011  $\mu\text{g/L}$ .  
El talio no fue detectado para seis de las diecisiete muestras por no alcanzarse el límite de detección (0,002  $\mu\text{g/L}$ ). El máximo lo tuvo la perforación VWM29 que superó en casi seis veces el promedio de los otros diez registros. Se correlacionó positivamente de forma moderada con el manganeso ( $r=0,68$ ;  $p=0,03$ ) y el plomo ( $r=0,58$ ;  $p=0,01$ ). No obstante, hay que considerar que en este caso la muestra tuvo un tamaño inferior,  $n=11$ .

Zinc: máx.: 16,0  $\mu\text{g/L}$ , mín.: 0,6  $\mu\text{g/L}$ , prom.: 4,3  $\mu\text{g/L}$ , mediana: 2,5  $\mu\text{g/L}$ .  
El Zn se distribuye con mayor concentración en la región sur del área de estudio, el máximo correspondió al pozo VWM24. El promedio de concentración de zinc en los pozos del norte del área se ubicó en 1,83  $\mu\text{g/L}$  y en la región sur en 6,10  $\mu\text{g/L}$ . Su distribución por interpolación de datos se presenta en la figura 60. El zinc presentó correlación positiva con el cobre ( $r=0,60$ ;  $p=0,02$ ).

La distribución de la concentración de las especies disueltas antes señaladas se graficó mediante interpolación por krigueado universal. Para ello se definió una grilla de mil metros de paso y distancia máxima de quince mil metros.

Para el análisis de correlaciones no se consideraron los parámetros antimonio, berilio, boro y plata. Los índices de correlación entre pares cuantitativos de variables resultan de la siguiente expresión:



$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}}$$

Donde  $r$  es índice de correlación y  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  son las medias de la muestra.

Se definió, a efectos de determinar la relación entre variables, que la correlación entre dos sustancias es buena cuando el valor absoluto de  $r$  queda comprendido en el rango 0,45 – 0,80 y muy buena cuando el valor absoluto del coeficiente es superior a 0,80. El nivel de significancia  $p$  quedó determinado por un  $\alpha = 0,05$ . Valores de  $p$  inferiores a  $\alpha$  determinan el rechazo de la hipótesis nula, estableciéndose así que la correlación entre los elementos resulta estadísticamente significativa. Los coeficientes de  $p$  fueron calculados para pares de elementos cuyo valor absoluto de  $r$  fue igual o superior a 0,45 (figura 47).

|    | Ca          | Mg          | K           | Na          | P     | Al          | As    | Ba    | Cd          | Cu          | Cr    | Fe    | Mn          | Hg    | Mo          | Ni    | Pb          | Se   | Ta   | Zn   |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|------|------|------|
| Ca | 1,00        | .           | .           | .           | .     | .           | .     | .     | .           | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Mg | 0,93        | 1,00        | .           | .           | .     | .           | .     | .     | .           | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| K  | 0,69        | 0,64        | 1,00        | .           | .     | .           | .     | .     | .           | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Na | 0,76        | 0,79        | 0,78        | 1,00        | .     | .           | .     | .     | .           | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| P  | -0,30       | -0,30       | -0,17       | -0,24       | 1,00  | .           | .     | .     | .           | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Al | -0,08       | 0,06        | -0,22       | -0,18       | 0,00  | 1,00        | .     | .     | .           | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| As | 0,35        | 0,17        | 0,34        | <b>0,48</b> | 0,11  | -0,13       | 1,00  | .     | .           | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Ba | 0,00        | 0,04        | 0,13        | 0,11        | 0,20  | 0,02        | 0,00  | 1,00  | .           | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Cd | -0,02       | 0,10        | 0,28        | 0,32        | 0,01  | -0,04       | -0,07 | -0,09 | 1,00        | .           | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Cu | -0,04       | 0,06        | -0,10       | -0,08       | 0,12  | <b>0,87</b> | -0,01 | 0,04  | 0,04        | 1,00        | .     | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Cr | 0,00        | -0,34       | -0,06       | -0,40       | -0,01 | 0,27        | -0,30 | -0,24 | -0,34       | 0,21        | 1,00  | .     | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Fe | -0,12       | 0,01        | -0,26       | -0,22       | -0,06 | <b>0,95</b> | -0,14 | 0,05  | -0,13       | <b>0,81</b> | 0,25  | 1,00  | .           | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Mn | 0,08        | 0,21        | 0,37        | <b>0,52</b> | -0,19 | 0,32        | 0,21  | 0,18  | 0,43        | 0,33        | -0,14 | 0,32  | 1,00        | .     | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Hg | <b>0,92</b> | <b>0,84</b> | <b>0,53</b> | <b>0,49</b> | -0,12 | -0,14       | 0,24  | 0,21  | -0,14       | -0,17       | -0,41 | -0,19 | -0,26       | 1,00  | .           | .     | .           | .    | .    | .    |
| Mo | -0,07       | -0,08       | 0,22        | 0,31        | -0,09 | -0,20       | 0,17  | -0,09 | 0,34        | -0,31       | -0,14 | -0,22 | <b>0,57</b> | -0,09 | 1,00        | .     | .           | .    | .    | .    |
| Ni | 0,01        | 0,12        | 0,27        | 0,34        | -0,04 | 0,48        | 0,10  | 0,19  | 0,13        | 0,43        | -0,01 | 0,45  | <b>0,87</b> | -0,22 | <b>0,56</b> | 1,00  | .           | .    | .    | .    |
| Pb | -0,04       | 0,09        | -0,15       | -0,11       | -0,20 | 0,69        | -0,24 | -0,05 | 0,08        | <b>0,78</b> | 0,11  | 0,72  | 0,35        | -0,12 | -0,21       | 0,27  | 1,00        | .    | .    | .    |
| Se | 0,00        | 0,14        | 0,04        | 0,19        | -0,18 | -0,11       | -0,16 | -0,06 | <b>0,68</b> | -0,05       | -0,27 | -0,09 | 0,31        | -0,07 | 0,02        | -0,14 | 0,33        | 1,00 | .    | .    |
| Ta | -0,11       | 0,01        | 0,13        | 0,26        | -0,28 | 0,15        | -0,25 | 0,12  | 0,65        | 0,27        | 0,04  | 0,12  | <b>0,68</b> | -0,27 | 0,30        | 0,29  | <b>0,58</b> | 0,80 | 1,00 | .    |
| Zn | -0,33       | -0,20       | -0,44       | -0,34       | 0,03  | 0,49        | -0,28 | 0,14  | 0,20        | <b>0,60</b> | -0,13 | 0,43  | 0,00        | -0,19 | -0,35       | 0,08  | 0,36        | 0,02 | 0,09 | 1,00 |

Figura 47: Matriz de correlación de metales disueltos. Se señalan en negrita los pares de metales cuyas correlaciones resultan estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ).

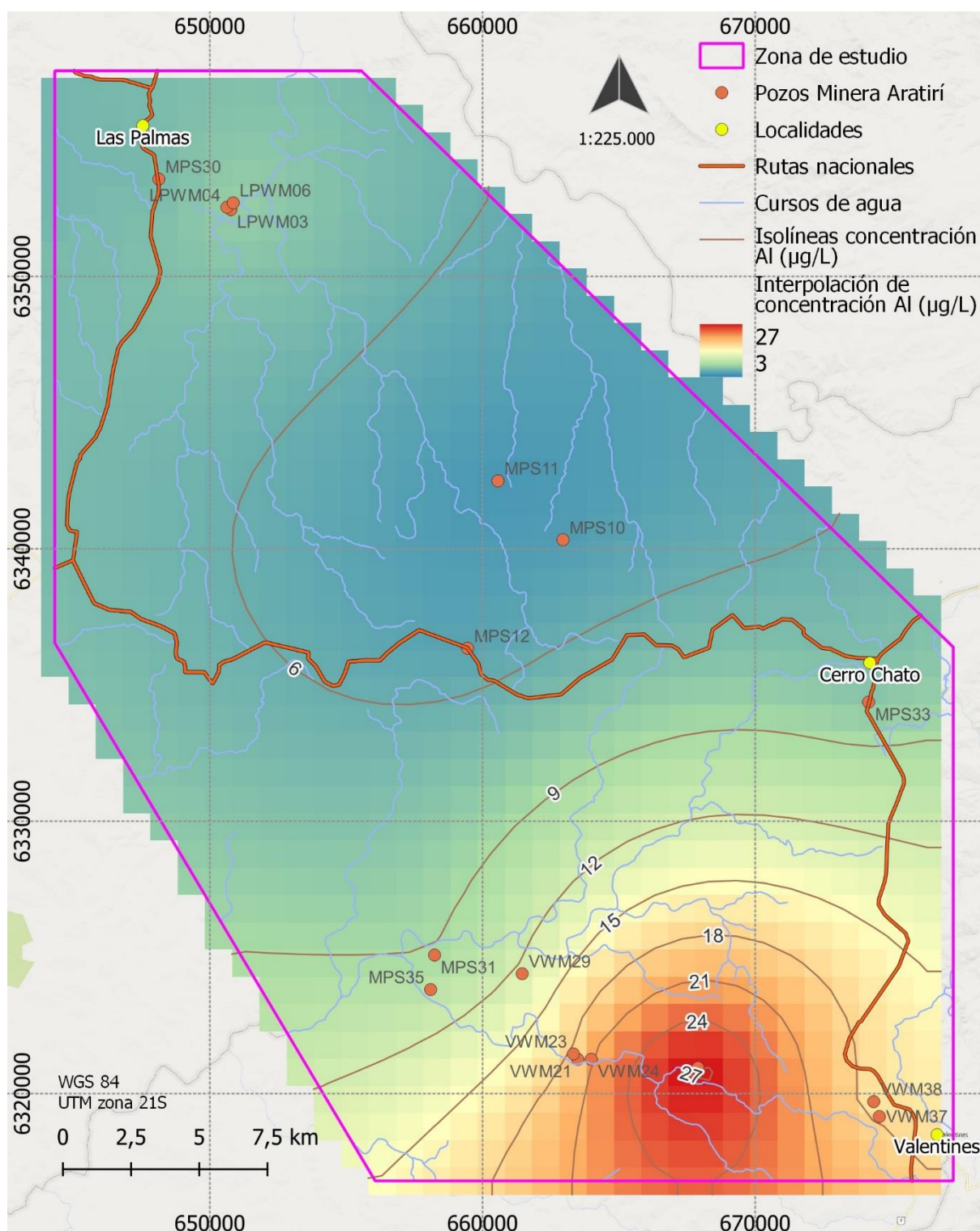


Figura 48: Mapa de iguales concentraciones de aluminio

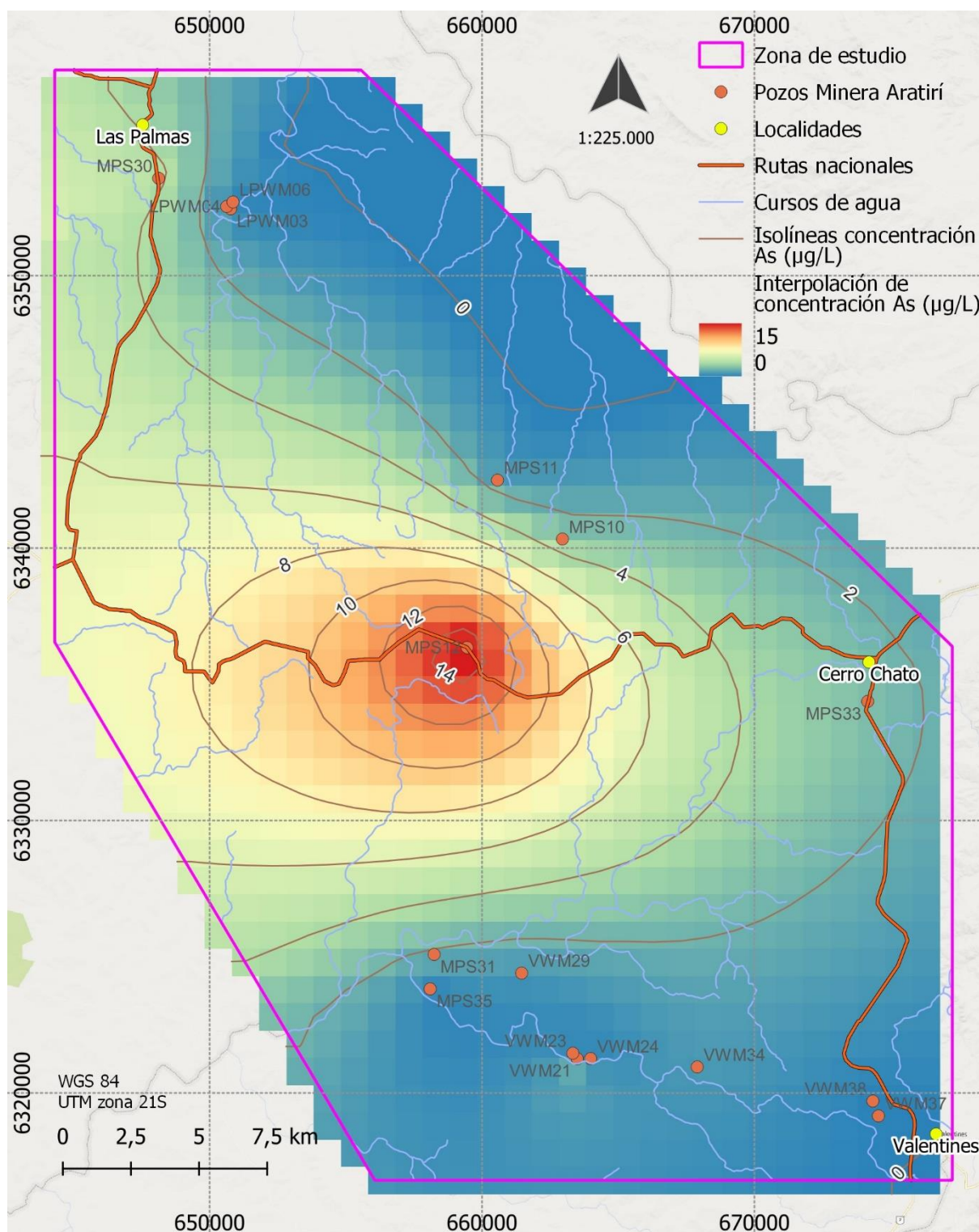


Figura 49: Mapa de iguales concentraciones de arsénico

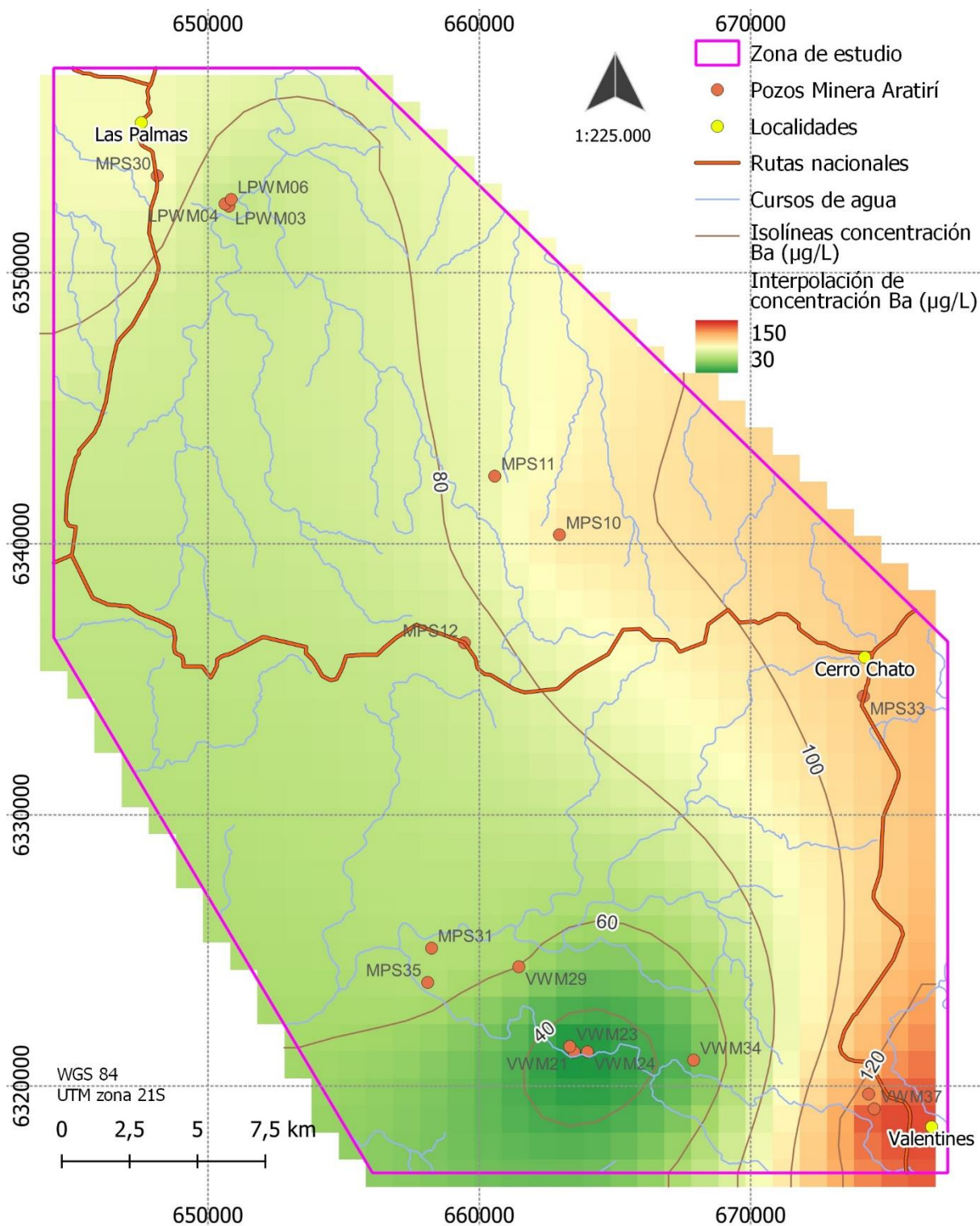
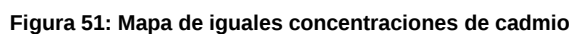


Figura 50: Mapa de iguales concentraciones de bario



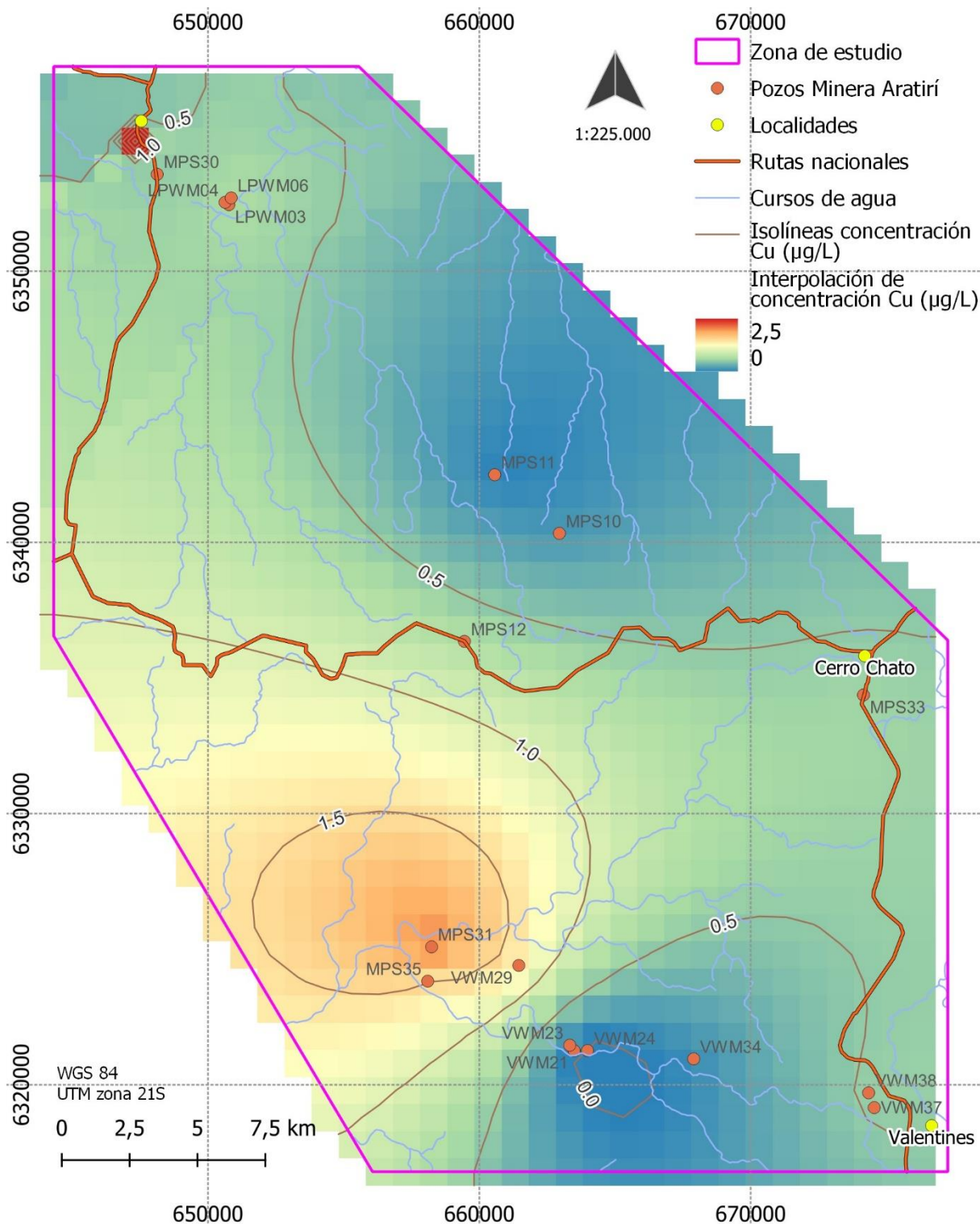


Figura 52: Mapa de iguales concentraciones de cobre

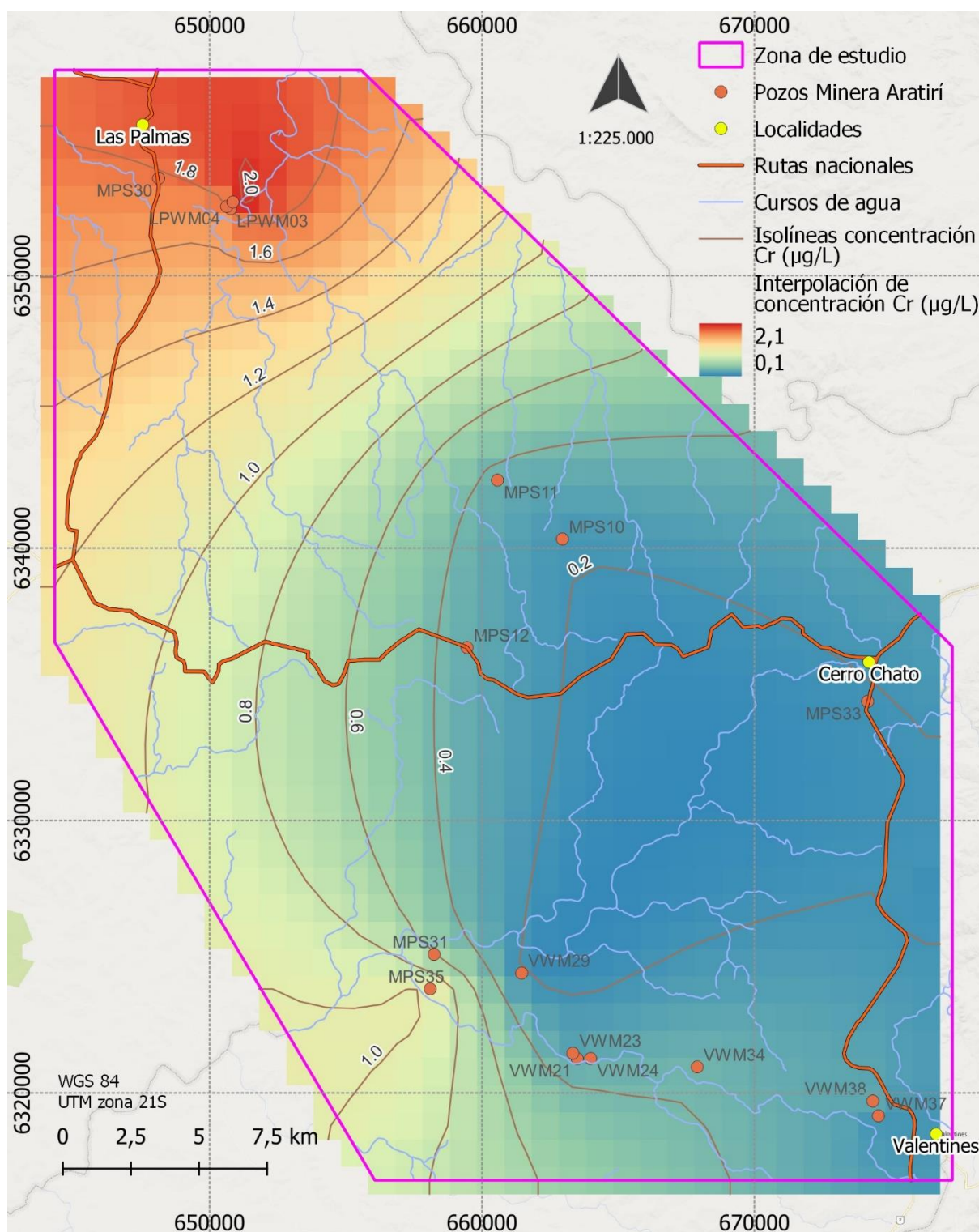


Figura 53: Mapa de iguales concentraciones de cromo

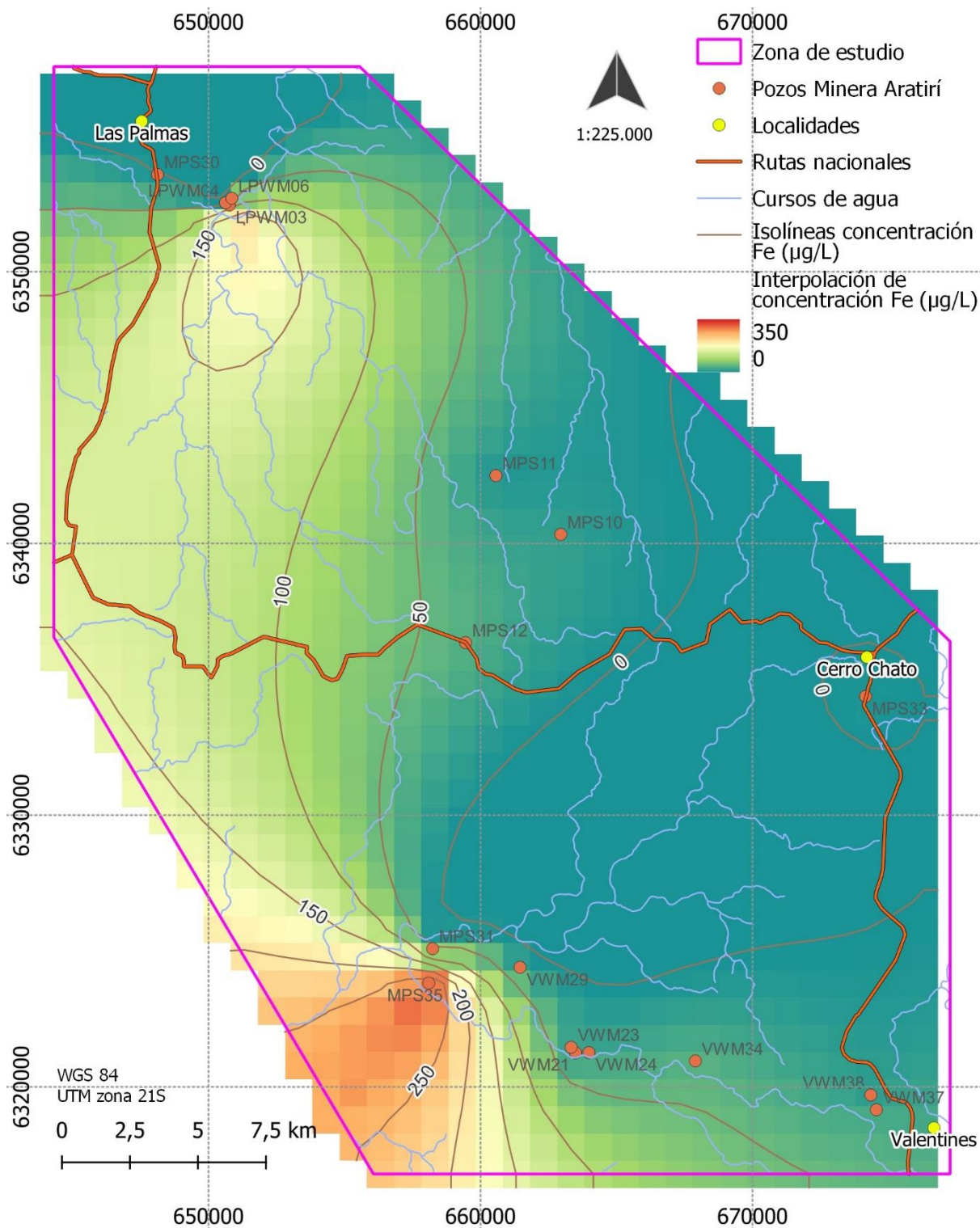


Figura 54: Mapa de iguales concentraciones de hierro

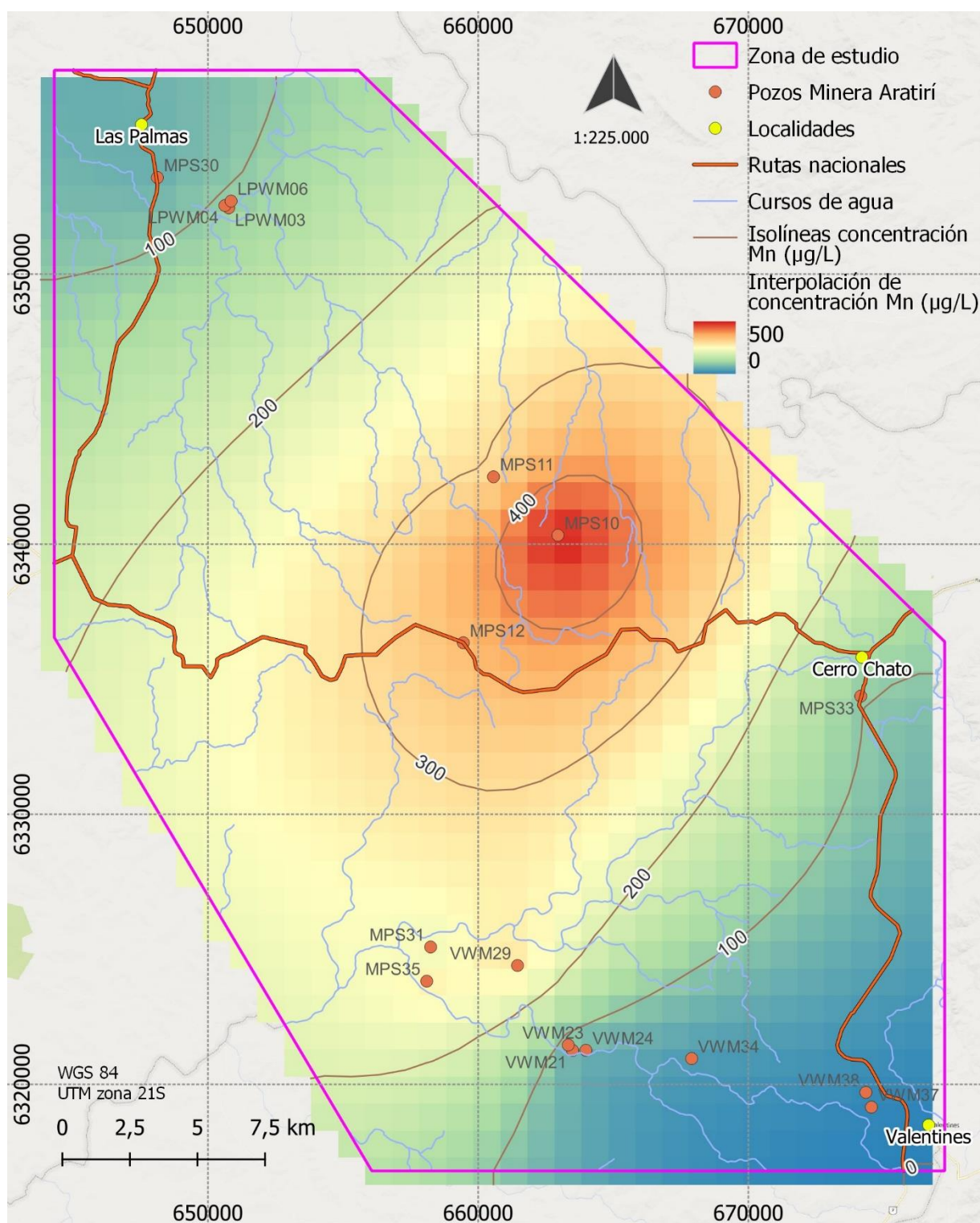


Figura 55: Mapa de iguales concentraciones de manganeso

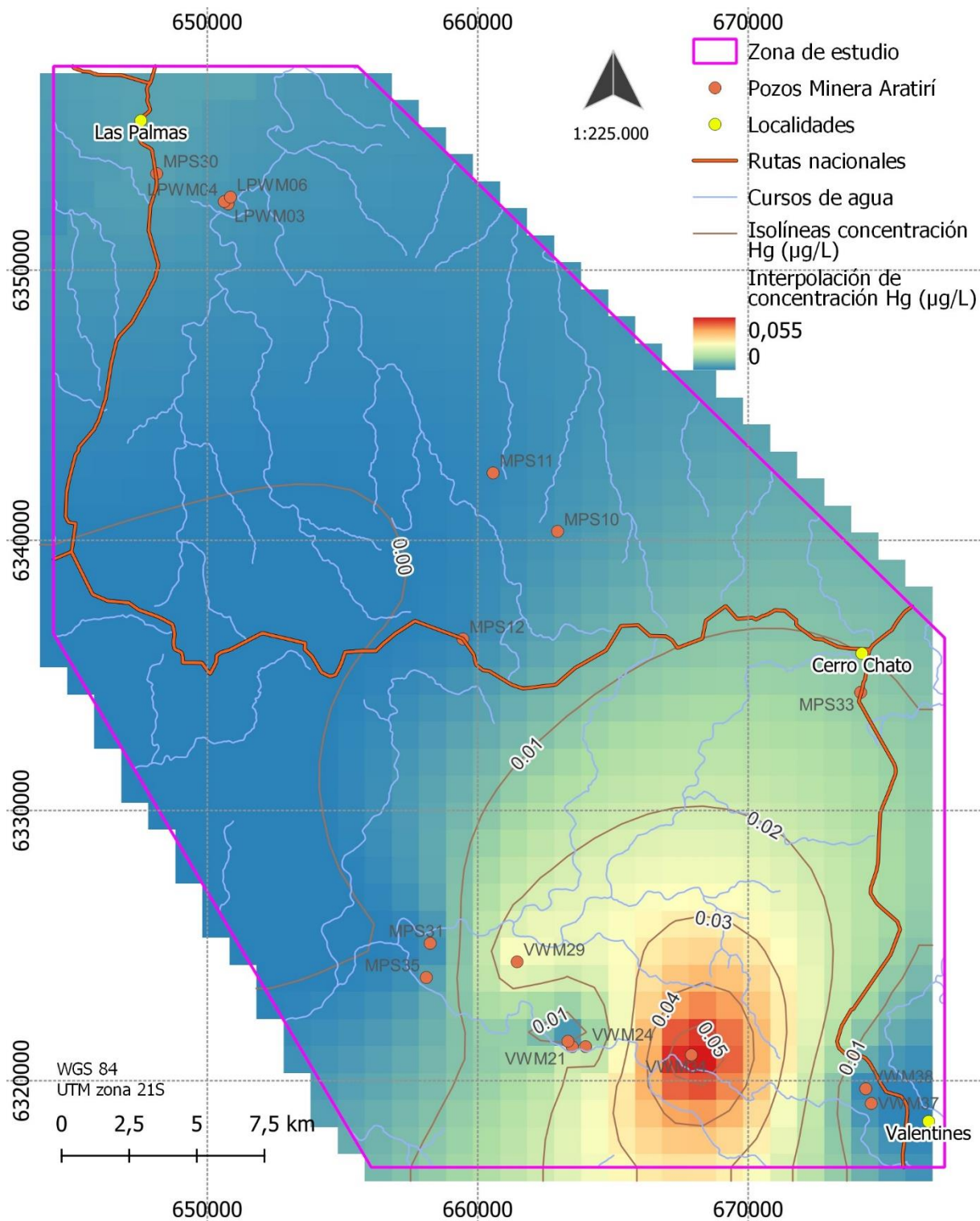


Figura 56: Mapa de iguales concentraciones de mercurio

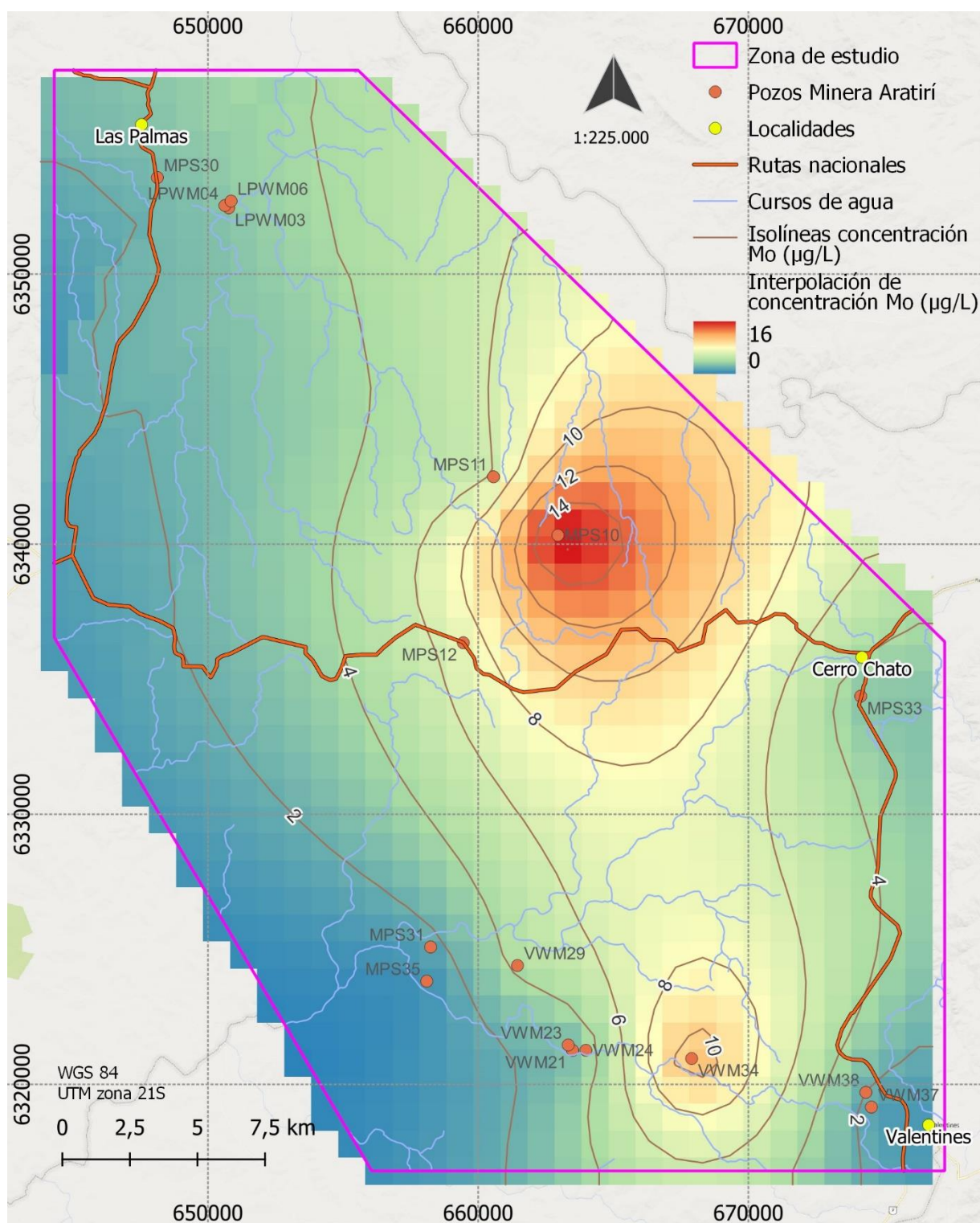


Figura 57: Mapa de iguales concentraciones de molibdeno

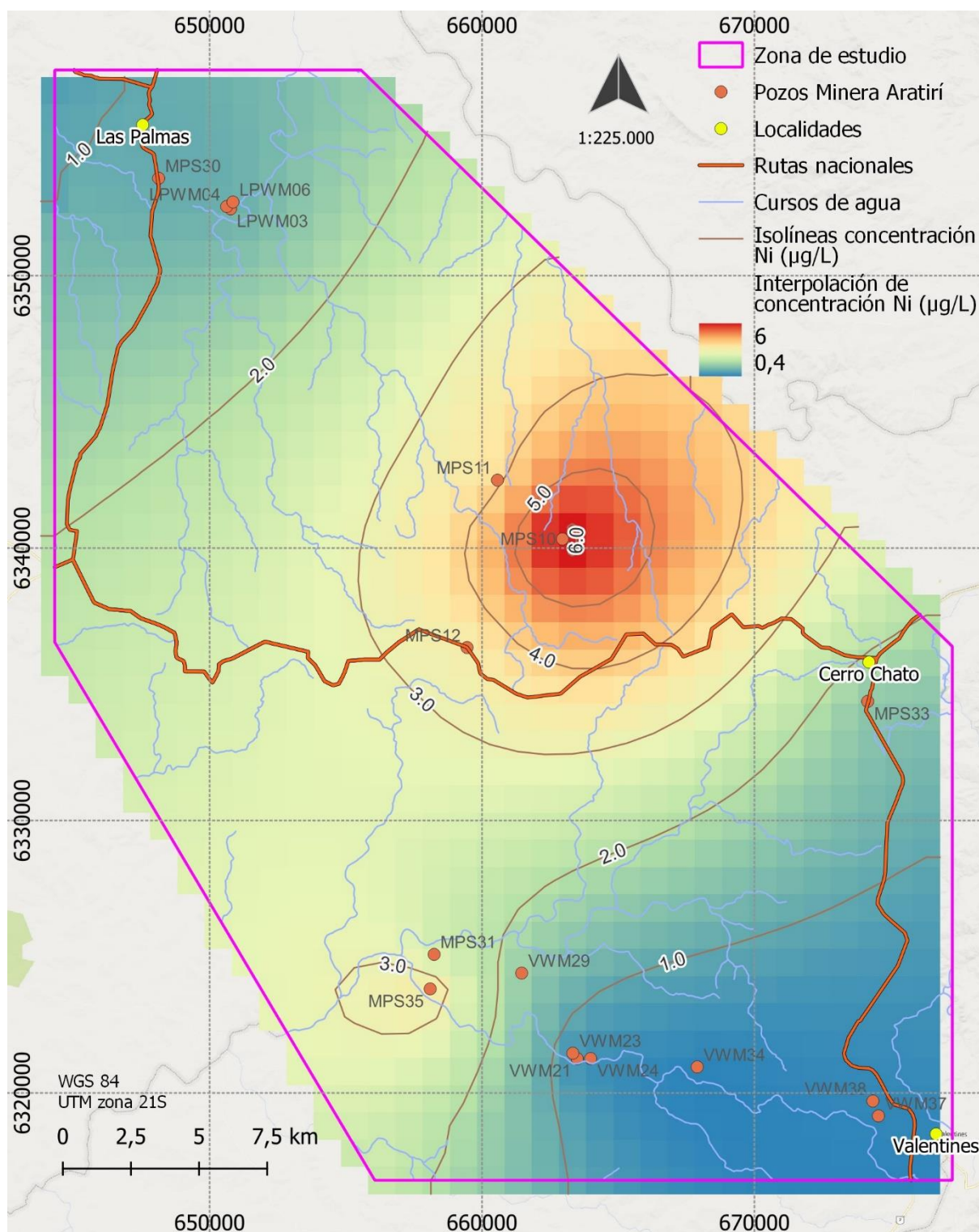


Figura 58: Mapa de iguales concentraciones de níquel

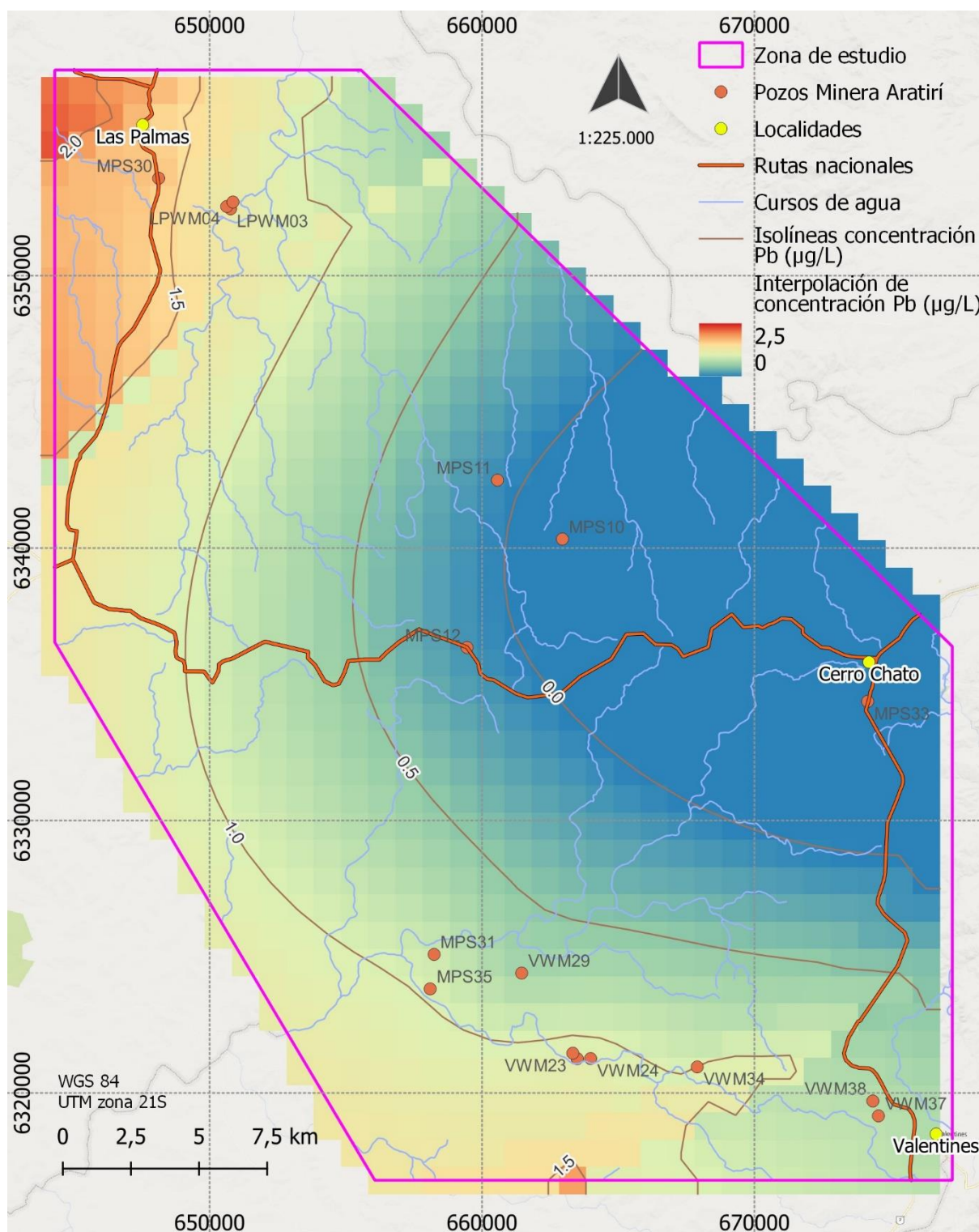


Figura 59: Mapa de iguales concentraciones de plomo

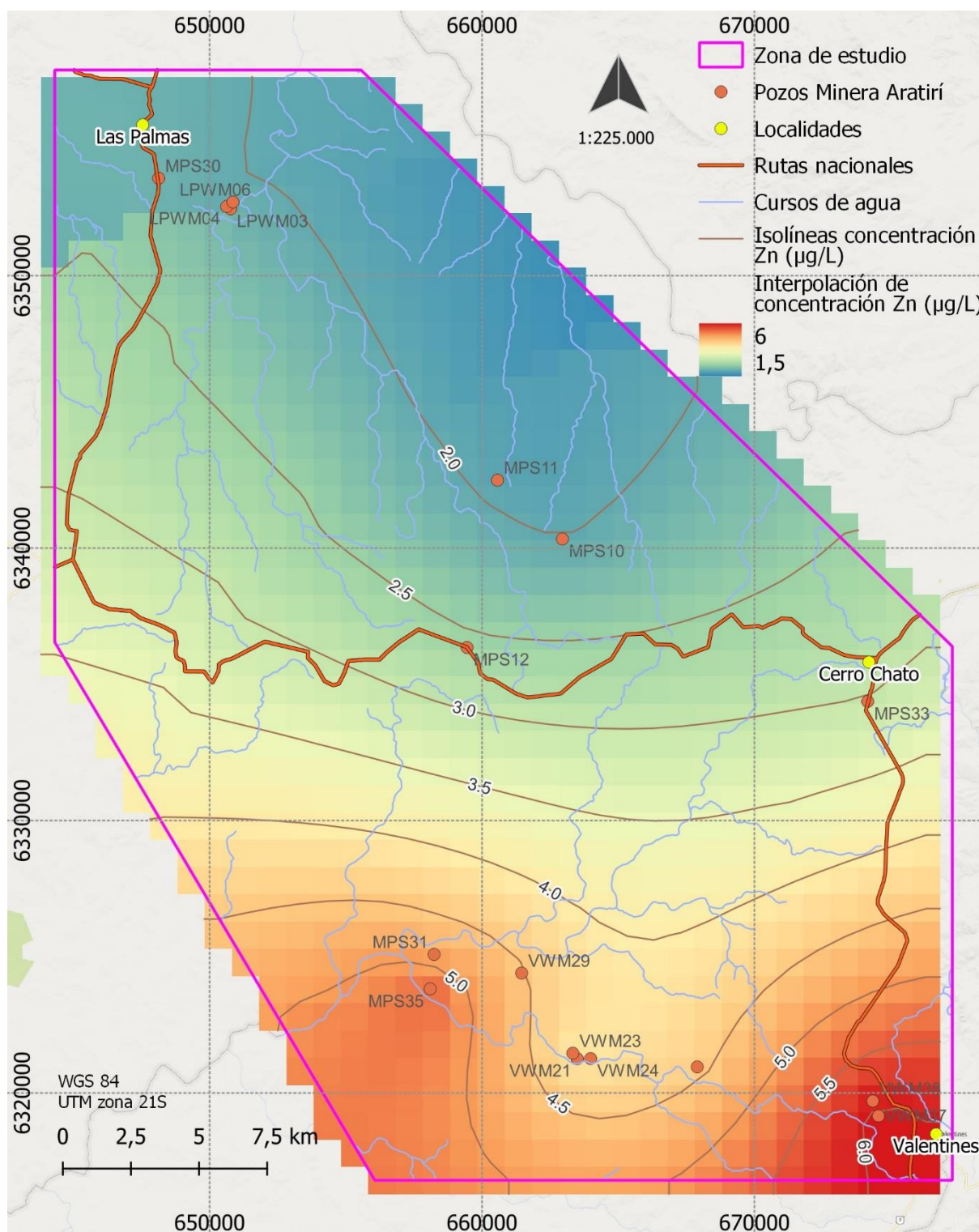


Figura 60: Mapa de iguales concentraciones de zinc



### 8.3.3. Clasificación del agua

Con los datos de concentración de principales aniones y cationes expresados en meq/L se realizó una clasificación del tipo de agua basada en diagramas de Piper. En lo previo se observó que para dos de las muestras el error de balance excedió el umbral admisible indicado por Custodio y Llamas (1983). Se trata de los pozos LPWM06 y VWM21, el primero con un error de balance de 36,2 % y el segundo con un error de 15,1 %. De acuerdo a la conductividad eléctrica de esas muestras la magnitud del error electroneutralidad para el pozo LPWM06 debió idealmente estar comprendida en el rango de 10 a 30 % (rango de conductividad de 50 a 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), y para el pozo VWM21 en el orden del 10 % (conductividad del entorno de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). No obstante, esas muestras fueron igualmente consideradas en los análisis.

Con la proporción relativa de cada sustancia y según la ubicación de los puntos en el diagrama de Piper (figura 61), el conjunto de aguas muestreadas corresponde a bicarbonatadas cálcicas a magnésicas y en menor medida bicarbonatadas sódicas. Concretamente las aguas de diez de las diecisiete perforaciones clasifican dentro de las bicarbonatadas cálcicas y magnésicas, siendo estrictamente cálcica el agua de la perforación LPWM06, las otras nueve, a saber: LPWM03; VWM21, VWM 23, VWM 24, VWM 34, VWM37, VWM 38; MPS33, MPS35, se clasifican como aguas intermedias cálcicas-magnésicas-sódicas.

El conjunto de las siete perforaciones restantes ingresa en la clasificación de aguas bicarbonatadas sódicas, cuatro de ellas con valores de borde en la clasificación de sódicas a intermedias por presentar tenores de sodio iguales o inferiores al 53 % de contenido relativo, estas son: LPWM04; MPS11, MPS12 y MPS31; las otras tres, dadas por las perforaciones VWM29, MPS10 y MPS30, resultaron más marcadamente sódicas, especialmente la muestra de MPS10.

En cuanto a procesos, según los criterios de evaluación propuestos por KELLY (2005) la distribución de puntos sugiere reacciones de intercambio catiónico propias de evolución natural. El desplazamiento que se representa en la figura 62 se interpreta como relación de intercambio iónico de maduración de aguas frescas dentro del acuífero por la interacción con el medio geológico e incorporación de solutos.

El análisis basado en el gráfico de TDS (fig. 46 derecha) permite pensar en la posibilidad de procesos de intercambio catiónico que desplazan la caracterización del agua desde la bicarbonatada calcio-magnésica a bicarbonatada sódica, esto podría ser explicado por mecanismos de descomposición mineral, neoformación de arcillas y disponibilización de sodio.

En el diagrama se interpretan además dos grupos de aguas, esto debido a las notorias diferencias en la dimensión del contenido de TDS, en algunos casos con diferencias de hasta un orden de magnitud. Esta situación se visualiza de mejor manera en los diagramas de Stiff (figuras 63 a 65) donde se puede distinguir al sur una serie de aguas bicarbonatadas calcio-magnesianas que incrementan su contenido en sales conforme se desplazan al oeste en el acuífero a lo largo de la trayectoria del arroyo Valentín. Las características químicas de esas aguas se apartan de otra serie que domina la zona central del área de estudio que se presenta con una carga iónica más elevada y un carácter típicamente sódico. Éstas últimas con desplazamiento en sentido semejante a la trayectoria del arroyo de las Conchas y arroyo Conchillas.

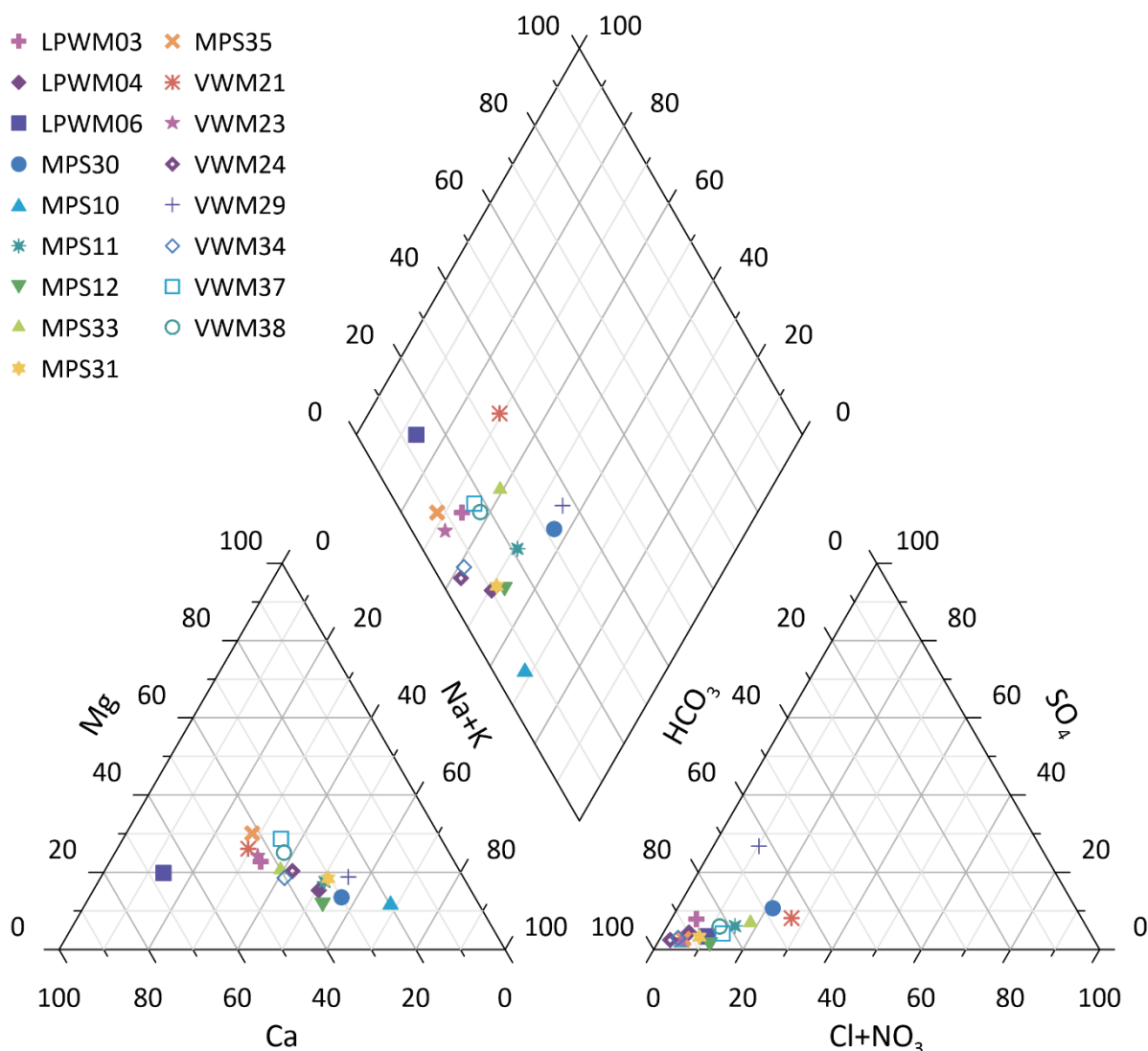


Figura 61: Clasificación de aguas según diagrama Piper-Hill-Langelier

En el norte la situación es algo menos evidente y por medio de los diagramas de Stiff se interpreta una situación mixta, para la misma región hay aguas bicarbonatadas sódicas y aguas bicarbonatadas cálcicas, ellas con distintas magnitudes de mineralización.

Dadas las concentraciones de solutos, se presume que las aguas del sector central del área de estudio tendrían un tiempo de residencia mayor en el acuífero o tasas de disolución de especies químicas superior que las aguas de la región sur y norte

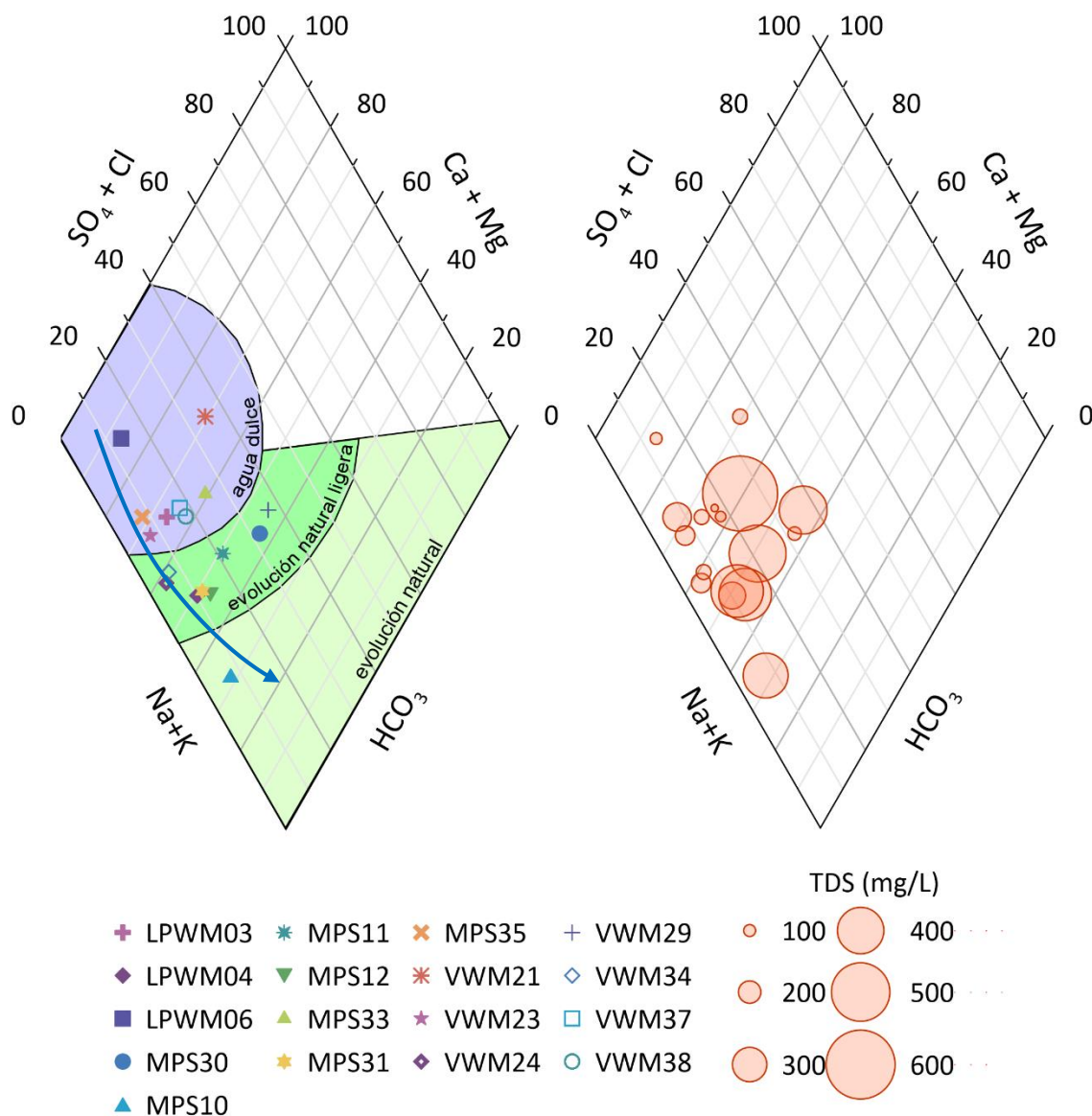
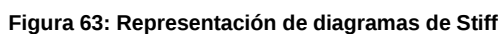


Figura 62: Izquierda: extracto de Piper-Hill-Langellier con criterios de evaluación de salinización, modificado de Kelly (2006). La flecha indica la tendencia natural de los procesos de intercambio iónico del agua con el medio geológico partiendo de aguas dulces bicarbonatadas a aguas bicarbonatadas sulfatadas y/o cloruradas, proceso análogo a la secuencia de Chevotareb. Derecha: extracto de Piper con representación gráfica de la concentración de TDS.



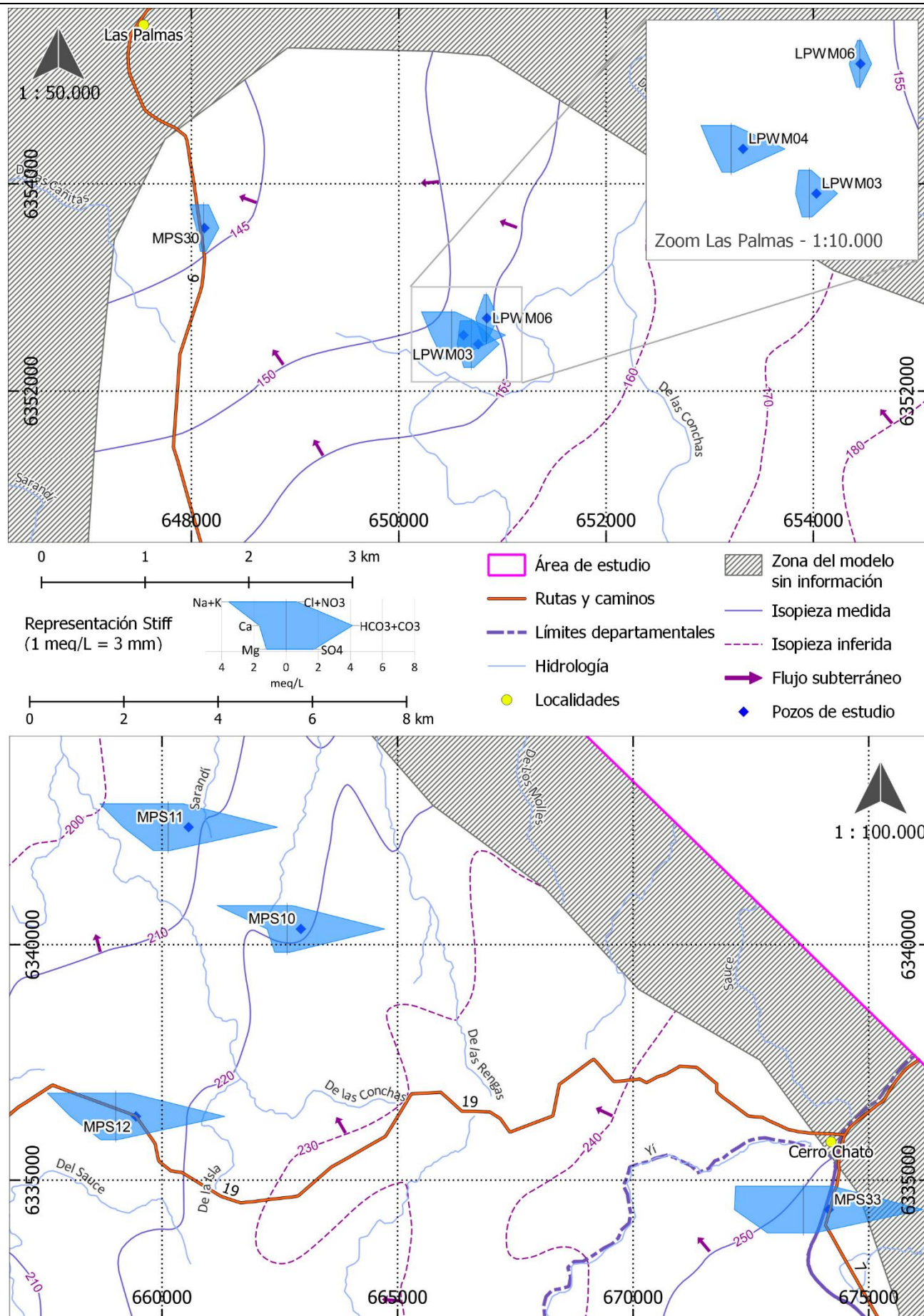


Figura 64: Representación de diagramas de Stiff del sector norte y central del área de estudio

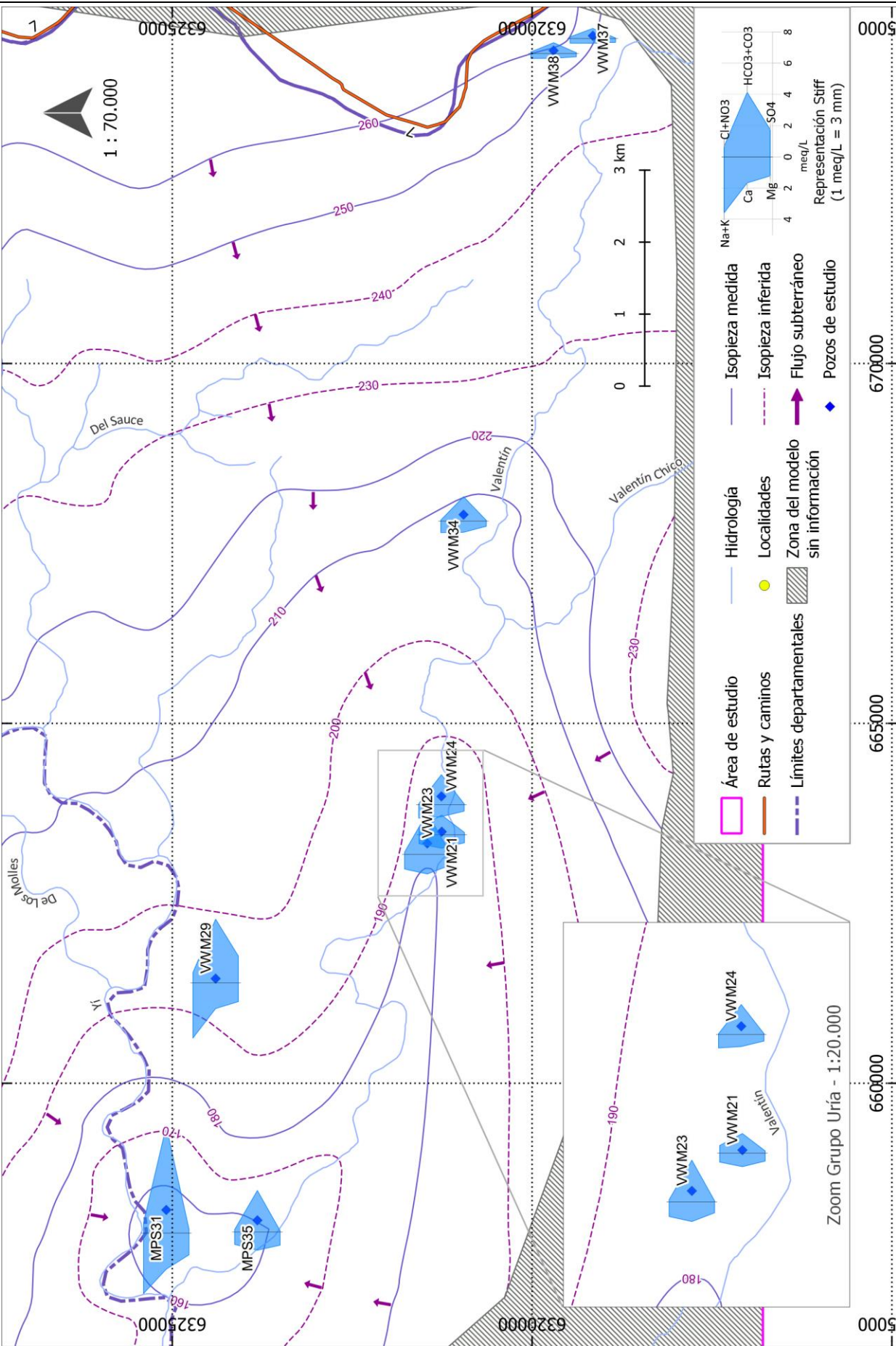


Figura 65: Representación de diagramas de Stiff del sector sur del área de estudio



#### 8.3.4. Evaluación de la calidad del agua para consumo humano

Los resultados obtenidos en las evaluaciones *in situ*, así como en los análisis de laboratorio fueron contrastados con los valores máximos permitidos de los requisitos de agua potable para consumo humano según lo que prevé la norma UNIT 833:2008. Fueron considerados para ello los requisitos para los parámetros de control químico inorgánico, los requisitos para los parámetros adicionales químicos inorgánicos y los requisitos para los parámetros complementarios químicos inorgánicos según lo dispuesto en las respectivas tablas 4, 5 y 6 de la citada norma.

Las muestras de agua analizadas se ubican por debajo de los valores máximos permitidos en los siguientes parámetros: conductividad eléctrica (2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), antimonio (0,005 mg/L), arsénico (0,02 mg/L), bario (0,7 mg/L), berilio (0,004 mg/L), boro (0,5 mg/L), cadmio (0,003 mg/L), cianuro (0,07 mg/L), cloruros (250 mg/L), cobre (1 mg/L), cromo (0,05 mg/L), dureza total (500 mg/L), flúor<sup>17</sup> (1,5 mg/L), mercurio (0,001 mg/L), molibdeno (0,07 mg/L), níquel (0,02 mg/L), nitratos (50 mg/L), plata (0,1 mg/L), plomo (0,03 mg/L), selenio (0,01 mg/L), sodio (200 mg/L), sulfato (400 mg/L), sulfuro (0,05 mg/L), talio (0,002 mg/L), sólidos totales disueltos (1000 mg/L) y zinc (4 mg/L).

Los apartamientos registrados se dieron en los parámetros de color verdadero, pH, aluminio, hierro, manganeso y nitritos de acuerdo a lo que indicado en la tabla 10.

**Tabla 10: Requisitos de calidad de agua para consumo humano, Norma UNIT 833:2008 y comparación con los resultados obtenidos de las perforaciones de monitoreo de la Formación Valentines.**

| Parámetro       | VMP         | Cumplimiento del requisito                                                                         | Observaciones                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Color verdadero | 15 U. Pt-Co | No cumple: LPWM04, MPS35, VWM24 y VWM37                                                            | El mayor índice de color se dio en la perforación MPS 35 con 250 U. Pt-Co. El segundo índice más elevado se dio en LPWM04 con 100 U. Pt-Co. Las restantes dos muestras se ubicaron en 25 U. Pt-Co. |
| pH              | 6,5-8,5     | Se registró valores fuera del rango en las perforaciones VWM21, VWM37, VWM38, MPS30, MPS35, LPWM06 | Los valores alejados del rango que resultaron más significativos corresponden a muestras de las perforaciones VWM38, MPS30 y LPWM06                                                                |
| Aluminio        | 0,2 mg/L    | No cumple la muestra de MPS35                                                                      | La concentración de aluminio alcanzó 1,75 mg/L                                                                                                                                                     |
| Hierro          | 0,3 mg/L    | No cumple: MPS35                                                                                   | MPS35 excedió el límite con casi 0,8 mg/L                                                                                                                                                          |
| Manganeso       | 0,1 mg/L    | No cumple: LPWM03, LPWM04, MPS10, MPS11, MPS12, MPS35 y VWM29                                      | Las muestras enumeradas se ubicaron por encima de 0,15 mg/L, alcanzando hasta un máximo de 0,84 mg/L (MPS10)                                                                                       |
| Nitritos        | 0,2 mg/L    | No cumple: LPWM04, LPWM06, MPS11, MPS12, MPS30, MPS31, MPS33, MPS35, VWM21.                        | Las muestras enumeradas se ubicaron por encima de 0,22 mg/L, alcanzando hasta un máximo de 6,10 mg/L (MPS33)                                                                                       |

Los valores de pH considerados son los que surgen de las mediciones *in situ*, con relación a estos, los que se apartaron del rango límite se registraron en los pozos VWM38 con registros

<sup>17</sup> La norma expresa el VPM para flúor y en los ensayos el valor con el que se contrastó corresponde a fluoruros por ausencia de mediciones de flúor total.



de 6,23, 6,28, 6,36 y 6,13 y MPS30 con registros de 6,04, 6,08, 6,05 y 6,28. Los más lejanos al rango fueron registrados en LPWM06 con valores de 9,93 y 9,36. Los desvíos menos significativos tuvieron lugar en los pozos: VWM21 con valores de 8,73 y 8,59; VWM37 con 6,48, 6,47 y 6,28; y MPS 35 con un registro de 6,48.

El aluminio presentó un único registro que excedió el VMP indicado en la norma, este correspondió a 1750  $\mu\text{g/L}$  en el pozo MPS35, cifra que superó por encima de cien veces al promedio de 16,8  $\mu\text{g/L}$  registrado en el sector sur del área de estudio. En el sector norte el promedio fue de 6,3  $\mu\text{g/L}$ . Por tratarse de un único registro no es posible determinar o plantear suposiciones con relación a si esa concentración responde a algún tipo de enriquecimiento local del acuífero con aluminio, o si se trata de un defecto, vicio o alteración en la toma de la muestra, su transporte o su análisis.

Para el hierro, como se señaló precedentemente, el máximo también se registró en el pozo MPS35 y correspondió a 797  $\mu\text{g/L}$ , cifra que superó el VMS de 0,3  $\text{mg/L}$  previsto por la norma.

El manganeso fue el constituyente minoritario con mayor número de registros que excedieron el VMP de la norma. De los siete pozos en los que se registró una concentración de Mn superior al VMP, cinco se ubicaron en la región norte del área de estudio y dos al sur. El promedio de concentración de Mn fue en el norte de 236  $\mu\text{g/L}$  y al sur 105  $\mu\text{g/L}$ .

La carga de nitritos registró cifras por encima del VMP en las perforaciones LPWM04, LPWM06, MPS11, MPS12, MPS30, MPS31, MPS33, MPS35 y VWM21, lo que totaliza nueve de las diecisiete perforaciones con nitritos por encima de 0,2  $\text{mg/L}$ . El máximo registro correspondió al pozo MPS33 con 6,1  $\text{mg/L}$  de nitritos, cifra muy superior al promedio de las restantes muestras (0,37  $\text{mg/L}$ ).

## 8.4. Discusión

La concentración de oxígeno disuelto para las muestras analizadas presentó un valor medio de 4,01  $\text{mg/L}$  y una mediana de 3,35  $\text{mg/L}$ , marcando en general concentraciones por debajo del rango esperable de 7 a 10  $\text{mg/L}$  para condiciones de acuífero freático con las temperaturas registradas (15 a 26  $^{\circ}\text{C}$ ). Además, se observó que hubo inferiores concentraciones de OD en las muestras invierno (campañas 3 y 4) donde la temperatura del agua del acuífero era más fría que en la condición de verano (campañas 1 y 2), observación que no se condice con la regla general de que la disolución de oxígeno en agua es inversamente proporcional a la temperatura. No obstante, en el gráfico de la figura 66, para los pares OD-temperatura se observó una fuerte dispersión, lo que hace suponer que las concentraciones de OD en el agua están influenciadas por otras causas, por ejemplo, reacciones biológicas y geoquímicas de oxidación-reducción dentro del acuífero. En particular las reacciones geoquímicas podrían estar operando en la faja mineralizada del sur, a lo largo del eje del arroyo Valentín desde la localidad de Valentines hasta el Río Yí. En esa región, donde las valentinesitas y piroxenitas están ampliamente representadas, es visible que la saturación de oxígeno disuelto en el agua disminuye con la distancia en el sentido de la dirección del flujo subterráneo (figura 67), lo que podría dar lugar a plantearse que su agotamiento, por ejemplo, se vincule a la oxidación de  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  en magnetitas y piroxenos, situación compatible con observaciones de BOSSI (1963) y BOSSI Y GAUCHER (2014) donde se plantea que en las condiciones climáticas actuales del territorio uruguayo hay meteorización de minerales máficos de poca energía de enlace, sin necesidad de intervención de fluidos de alta temperatura.



Las perforaciones VWM37 y VWM38 presentaron valores de pH ácidos de forma recurrente. Estas dos perforaciones se ubican en un alto topográfico y sus aguas presentan bajos tenores de mineralización, de lo cual se interpreta que el pH ligeramente ácido podría responder a una rápida recarga de agua de precipitación atmosférica. Una situación análoga podría configurarse para el pozo MPS 30, pero es necesario considerar que se interponen sedimentitas de la Formación Cerrezuelo que podrían ralentizar la percolación. En la misma región, el pozo LPWM06 en las primeras dos campañas reveló valores excepcionalmente alcalinos (pH = 9,93 y 9,36 respectivamente), alejados de los valores de la tercera y cuarta campaña de monitoreo cuyas medidas de pH fueron 7,06 y 7,35 respectivamente. Los valores de pH medidos en campo como los registrados por el laboratorio mantuvieron coherencia, por lo cual se descartan defectos de lectura instrumental o vicios del procedimiento. Además, en las mediciones de las campañas 1 y 2 las relaciones entre carbonato y bicarbonato son consistentes con condiciones de pH del entorno de 10. No se halló relación de causa para la diferencia entre los dos pares de valores de pH. Considerando el antecedente de MASSA *et al.* (2016) para el sector de la perforación en cuestión (figura 19), el pH no superó el valor de 8,5. Esto reafirma la idea de que los registros de 9,93 y 9,36 fueron excepcionales, no pudiendo explicarse el fenómeno más allá de una posible interferencia con posibles fluidos de perforación durante las labores exploratorias.

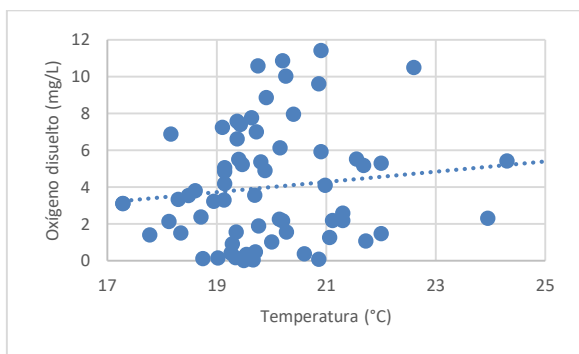


Figura 66: Oxígeno disuelto vs. temperatura

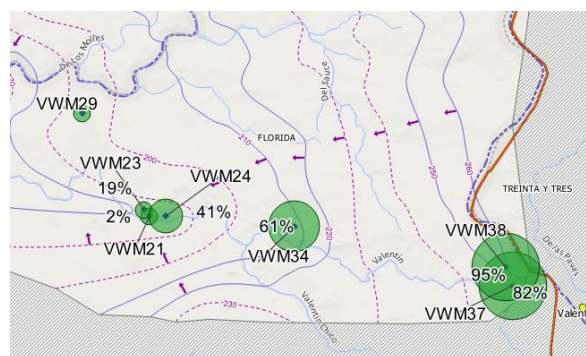


Figura 67: Saturación de oxígeno disuelto en los pozos de la región sur a lo largo del eje del arroyo Valentín (indicado en puntos porcentuales)

La distribución de manganeso, representada en la figura 68 para cada punto de muestreo, podría mantener relación, al menos el distrito ferrífero del sur, con un incremento de MnO en Valentinesitas de lo cual se determinó en instancias exploratorias que ocurre de este a oeste en los distintos prospectos mineros.

Los resultados de aluminio indican que los mayores niveles se observaron en el pozo MPS35, así como también registró los valores más elevados de berilio, cobre, hierro y plomo. También en esa perforación se registraron los segundos niveles más importantes de concentración en cromo, níquel y zinc del conjunto de pozos, sin desestimar el alto contenido de manganeso señalado precedentemente. Debido a que este pozo es de los últimos registros del oeste para la serie de pozos del área Valentines (sur) y analizados los mapas de distribución de concentraciones de metales disueltos se infiere que, en ausencia de fuentes externas de aportes contaminantes, no identificadas, el enriquecimiento de concentración de metales podrá darse por adición acumulativa en el sentido del flujo subterráneo en un área



litológicamente diversa y fuertemente mineralizada (valentinesitas, piroxenitas, metagranitos), o por efecto de la litología que es atravesada por el pozo, aunque ésta última resulta homogénea para todo el perfil (ver anexo).

Se observó que en nueve pozos las concentraciones de nitritos excedieron el VMP previsto por la Norma UNIT 833:2008. Su origen podría vincularse a procesos de nitrificación incompletos de amonio cuya fuente puede ser estiércol de ganado, fertilizantes, aguas residuales y sitios de disposición de residuos, que disponibilizarían nitritos y estos lixiviarían al agua subterránea. Considerando el contexto físico parece factible que las dos primeras opciones pudieran operar como posible fuente. Esto también podría relacionarse con presencia de suelos con baja capacidad de amortiguación a compuestos de nitrógeno.

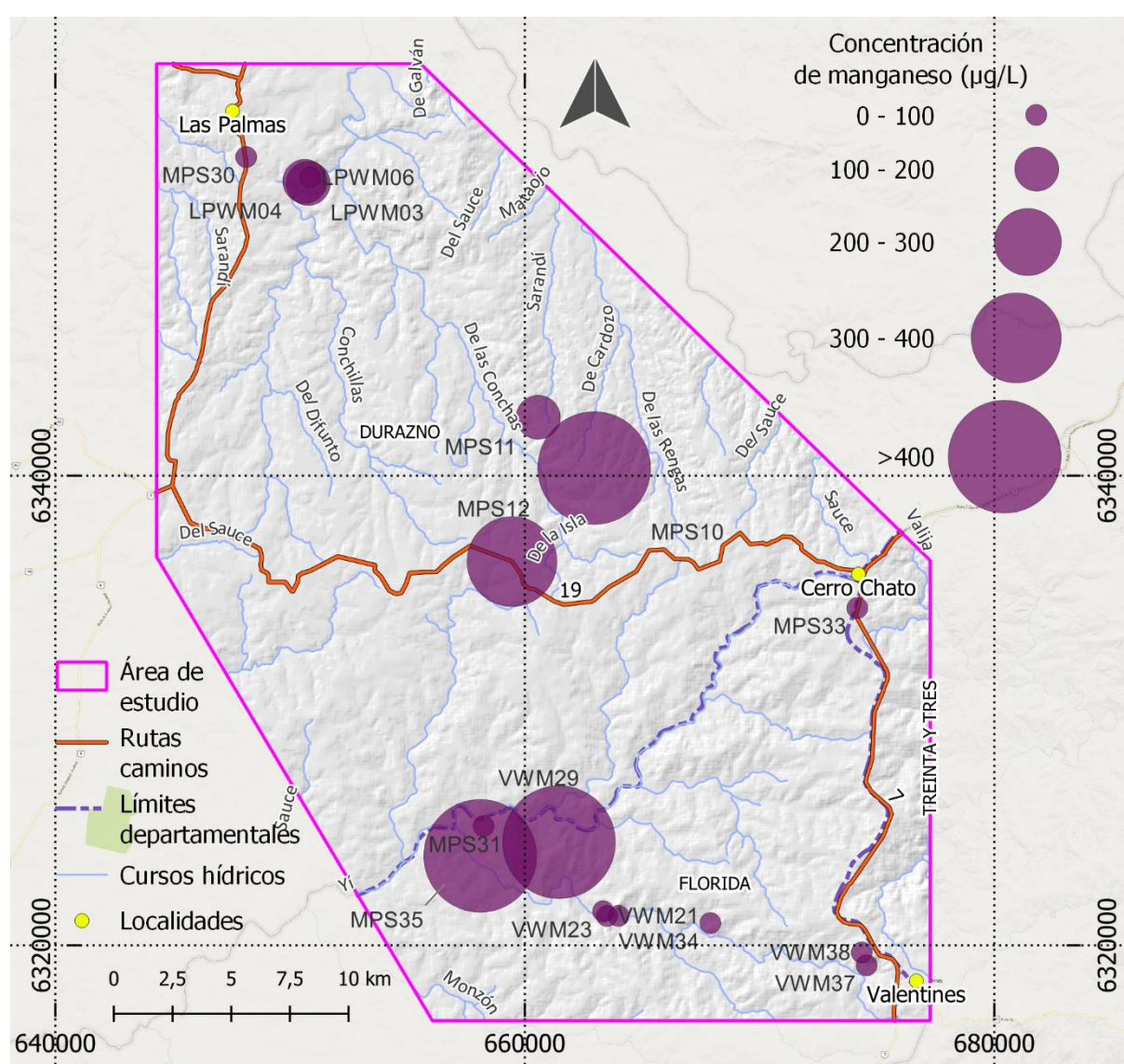


Figura 68:- Mapa de valores de concentración de manganeso



## 9. CONCLUSIONES

### 9.1.1. Hidrogeología

La hidrogeología de la mayor parte del área de estudio queda comprendida por la definición del Acuífero Fracturado Valentines, acuífero libre, desarrollado a expensas de la fracturación mecánica de rocas metamórficas de la Formación Valentines. En el área de estudio posee un 14 % de la extensión cubierta por sedimentitas devónicas de la Formación Cerrezuelo.

Desde el punto de vista hidráulico el acuífero posee los siguientes atributos: caudal específico de 1 m<sup>3</sup>/h/m, conductividad hidráulica de 0,05 m/día en la capa superior de 60 metros y de 0,01 m/día para el espesor de 40 metros inferiores; coeficiente de almacenamiento de 0,01. La variación estacional del nivel freático fue en promedio de 1,67 metros, incrementándose en los meses fríos del año. Ese incremento de niveles piezométricos se puede vincular a un aumento de la infiltración y recarga del acuífero por la disminución de la evapotranspiración y el consecuente aumento de la escorrentía, lo anterior sin perjuicio de la influencia de las precipitaciones dados los elevados registros de julio y agosto de 2011, que se ubicó por encima de la media histórica<sup>18</sup> de la región.

En el área de estudio se analizaron registros de perforación y datos constructivos de 48 pozos de captación y 17 freatímetros. La profundidad mínima de perforación registrada fue de 13,0 metros y la máxima de 210,1 metros, con un promedio de 48,1 metros. Los niveles de los aportes subterráneos se ubican en un mínimo de 37,0 msnm y un máximo de 270,4 msnm.

El azimut de las principales fracturas de los pozos, evaluadas como fotolineaciones en base a fotoanálisis, corresponde a N60±20 y N140±30.

El caudal máximo que se registra en la zona de estudio es de 29 m<sup>3</sup>/hora, el mínimo 0,5 m<sup>3</sup>/hora. El 90 % de las perforaciones registra un caudal inferior a 5 m<sup>3</sup>/hora (34 datos en 65 registros).

La piezometría del área en base a los registros del año 2011 reveló para las perforaciones estudiadas valores de NE comprendidos en el rango de +145 a +260 msnm, donde se pudo apreciar dos principales dominios de comportamiento. La mitad occidental de la zona de estudio mostró una dinámica de flujo hacia el norte y hacia el sur, con una zona común de mayor potencial hidráulico (+240 a +210 msnm) a lo largo de la Cuchilla Grande de Durazno, eje de la ruta 19. Por otra parte, la mitad oriental de la zona de estudio mostró una dinámica de flujo de este a oeste. La piezometría marca origen en la Cuchilla Grande, donde se tiene mayor carga hidráulica que en la Cuchilla Grande de Durazno (+260 msnm).

### 9.1.2. Geoquímica

Del conjunto de perforaciones realizadas por Minera Aratirí, se consideraron hidráulicamente aptas para asegurar la representatividad del agua subterránea 17 de 38 pozos ejecutados. De los DINAMIGE y DINAGUA surgen 48 pozos inventariados para el área de estudio, de los cuales no se conocen datos de resultados de parámetros para estudios de caracterización de agua y de calidad según su uso.

Desde el punto de vista hidroquímico, el agua del Acuífero Fisurado Valentines presentó una variación térmica promedio de 1,6 °C en el período enero-agosto de 2011.

---

<sup>18</sup> Registro de estación Inumet Treinta y Tres del período 1991-2020. <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/graficas-estadisticas-pluviometricas>



Los rangos de conductividad eléctrica se ubicaron en 50-400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para los sectores norte y sur del área de estudio, y en el rango de 550-950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la zona central.

El pH varió estacionalmente de un valor medio de 7,07 (verano) a un promedio de 7,29 (invierno), en relación directa con los cambios de temperatura estacional.

El oxígeno disuelto presentó un valor mínimo de 0,02 mg/L y máximo 11,42 mg/L marcando en general condiciones de aguas deficitarias en OD hasta anóxicas. El promedio fue de 4,01 mg/L, los registros presentaron mayor vinculación con las sales disueltas que con las variaciones de temperatura.

La clasificación hidrogeoquímica en base a diagramas de Piper marca que un conjunto de diez muestras corresponde a aguas bicarbonatadas cálcicas a magnésicas, especialmente en la zona sur. Las restantes siete muestras se clasificaron como aguas bicarbonatadas sódicas, especialmente en el área central de la zona de estudio. Cuatro de estas siete muestras se ubicaron cerca del límite del diagrama para aguas intermedias.

En relación a metales minoritarios y traza disueltos en el agua se determinó que las aguas subterráneas de la Formación Valentines en el área de estudio presentaron tenores promedio de aluminio 12,2  $\mu\text{g}/\text{L}$ , antimonio 0,07  $\mu\text{g}/\text{L}$ , arsénico 2,06  $\mu\text{g}/\text{L}$ , bario 73,8  $\mu\text{g}/\text{L}$ , berilio 0,07  $\mu\text{g}/\text{L}$ , boro 106  $\mu\text{g}/\text{L}$ , cadmio 0,026  $\mu\text{g}/\text{L}$ , cobre 0,58  $\mu\text{g}/\text{L}$ , cromo 0,6  $\mu\text{g}/\text{L}$ , hierro 76  $\mu\text{g}/\text{L}$ , manganeso 158,6  $\mu\text{g}/\text{L}$ , mercurio 0,038  $\mu\text{g}/\text{L}$ , molibdeno 4,48  $\mu\text{g}/\text{L}$ , níquel 1,79  $\mu\text{g}/\text{L}$ , plata 0,013  $\mu\text{g}/\text{L}$ , plomo 1,035  $\mu\text{g}/\text{L}$ , selenio 0,42  $\mu\text{g}/\text{L}$ , talio 0,024  $\mu\text{g}/\text{L}$ , zinc 4,3  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

Se observó para algunos pares de elementos disueltos buenos índices de correlación positiva ( $0,45 < r \leq 0,80$ ;  $p \leq 0,05$ ) y muy buenos ( $r > 0,80$ ;  $p \leq 0,05$ ); estos son: Na - As ( $r = 0,48$ ;  $p = 3 \times 10^{-4}$ ); Na - Mn ( $r = 0,52$ ;  $p = 3 \times 10^{-4}$ ); Na - Hg ( $r = 0,49$ ;  $p = 5 \times 10^{-3}$ ); Hg - Ca ( $r = 0,92$ ;  $p = 2 \times 10^{-3}$ ); Hg - Mg ( $r = 0,84$ ;  $p = 3 \times 10^{-3}$ ); Hg - K ( $r = 0,53$ ;  $p = 3 \times 10^{-3}$ ); Cu - Zn ( $r = 0,60$ ;  $p = 0,02$ ); Cu - Pb ( $r = 0,78$ ;  $p = 0,03$ ); Pb - Ta ( $r = 0,58$ ;  $p = 0,01$ ); Ni - Mn ( $r = 0,86$ ;  $p = 0,02$ ); Ni - Mo ( $r = 0,56$ ;  $p = 0,04$ ); Mn - Mo ( $r = 0,57$ ;  $p = 0,02$ ); Mn - Ta ( $r = 0,68$ ;  $p = 0,03$ ); y Cd - Se ( $r = 0,68$ ;  $p = 0,05$ ).

### 9.1.3. Evaluación de requisitos del agua para el consumo humano

En términos de requisitos para agua potable (Norma 833:2008) las aguas de algunas muestras analizadas excedieron índices de valores máximos permitidos para los siguientes parámetros: color verdadero, pH, aluminio, hierro, manganeso y nitritos según lo siguiente. El color verdadero (VMP=15 U. Pt-Co) fue superado en las muestras de los pozos LPWM04, MPS35, VWM24 y VWM37; el pH (VMP comprendido entre 6,5-8,5) fue superado en las perforaciones VWM21, VWM37, VWM38, MPS30, MPS35, LPWM06; el aluminio (VMP=0,2 mg/L) se superó en la muestra del pozo MPS35, también el hierro (VMP=0,3 mg/L) en el mismo pozo; el manganeso (VMP=0,1 mg/L) se superó en los pozos LPWM03, LPWM04, MPS10, MPS11, MPS12, MPS35 y VWM2; y finalmente para los nitritos el VMP=0,2 mg/L fue superado en nueve pozos: LPWM04, LPWM06, MPS11, MPS12, MPS30, MPS31, MPS33, MPS35 y VWM21.

En definitiva, solo las muestras de agua y mediciones realizadas en los pozos VWM23 y VWM34 cumplieron satisfactoriamente con los valores máximos admitidos por la norma UNIT 833:2008 en sus requisitos de potabilidad para los parámetros considerados. Las aguas de los restantes 15 pozos, en base a los datos obtenidos de los análisis de laboratorio y



mediciones *in situ*, requerirían medidas de tratamiento previo para ser consideradas aptas para consumo humano.

#### 9.1.4. Recomendaciones

De generarse nuevas instancias de monitoreo en pozos de suministro o freáticos del Acuífero Fisurado Valentines, se recomienda incluir especialmente la perforación MPS35, esto en virtud de lo observado por su excepcionalmente alta concentración de aluminio (1750 µg/L), por presentar los valores más elevados en berilio, cobre, hierro y plomo, resultar con los segundos registros más elevados de cromo, níquel y zinc; y a la vez poseer una conductividad eléctrica medida de 284 µS/cm, baja en relación a la concentración de TDS de 525 mg/L y los tenores de iones metálicos en solución.



## 10. AGRADECIMIENTOS

Institucionales:

A la Facultad de Ciencias (UDELAR) por el espacio de formación; a la Dra. Paula Collazo por su orientación en el desarrollo de este trabajo, al tribunal evaluador Dr. Claudio Gaucher, Dra. Elena Peel y Dra. Elena Alvareda por sus atinados y constructivos comentarios; a Minera Aratirí en el nombre de Derick Helm<sup>19</sup> por la experiencia transmitida y la autorización para la utilización de la información aquí vertida; a Justin Boreson, Cyro Croce, Malena Pessi y Andrés Pérez por su disposición y gentileza.

Personales:

A Noelia por honrarme compartiendo su vida, por su invaluable paciencia y apoyo incondicional; a mi madre por su permanente amor manifiesto y preocupación constante, a mi finado padre, mi referente, de quien mucho aprendí en el breve tiempo que la vida nos permitió; a mis hermanos, familia y amigos, por lo que significaron y lo que significan en el transcurso de cada momento. A Clari, gracias por el tiempo concedido. A Javier, a Mauricio, gracias por su permanente apoyo y aliento.

---

<sup>19</sup> En reconocimiento póstumo.



## 11. REFERENCIAS

- Almeida, F. F., Amaral, G., G., C. U., & Kawashita, K. (1973). The Precambrian Evolution of the South American Cratonic Margin, South of the Amazon River. En *The Ocean Basins and Margins*. Vol. 1 (págs. 441-446). Plenum Pub. Co.
- BGR-DINAMIGE. (1999). Prospección de aguas subterráneas en rocas cristalinas. Florida, Uruguay. Montevideo, Uruguay: DINAMIGE.
- Bossi, J. (1963). El Yacimiento de Hierro del Arroyo Valentines, Florida, Uruguay. Parte I: La Mena Ferrífera. *Boletín Sociedad Brasileira de Geología* #12, 109-163.
- Bossi, J. (1966). Geología del Uruguay. Montevideo, Uruguay: Departamento de Publicaciones, Universidad de la República.
- Bossi, J. (1978). Recursos Minerales del Uruguay. Montevideo, Uruguay. Ed. Daniel Aljanati.
- Bossi, J., Fernández, A., & Elizalde, G. (1965). Predevoniano en el Uruguay: Univ. de la Republica, Fac.
- Bossi, J., & Campal, N. (1992). Magmatismo y tectónica transcurrente durante el Paleozoico Inferior en Uruguay. En J. Gutiérrez, J. Saavedra, & I. Rábano, *Paleozoico Inferior en Iberoamérica* (págs. 343-356). Extremadura: Universidad de Extremadura.
- Bossi, J.; Preciozzi, F. & Campal, N. (1993): Predevoniano en el Uruguay, 1: Terreno Piedra Alta. Dirección Nacional de Minería y Geología, Montevideo. I: 1-50.
- Bossi J., Ferrando L., Montaña J., Campal N., Morales H., Gancio F., Schipilov A., Piñeyro D. & Sprechmann P. (1998): Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000. Fac. Agronomía, Udelar, 122 p.
- Bossi, J., & Ferrando, L. (2001). Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.00 v.2.0, versión digital. Montevideo, Uruguay: Cátedra de Geología, Facultad de Agronomía.
- Bossi, J., Campal, N., Hartmann, L. A., & Schipilov, A. (2001). Predevoniano en el Uruguay: terrenos y SHRIMP II. XI Congreso Latinoamericano y III Congreso Uruguayo de Geología. In *Digital Proceedings* (No. 94).
- Bossi, J., & Gaucher, C. (2004). The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: an allochthonous block accreted in the Cambrian to SW-Gondwana. *Gondwana Research*, 7(3), 661-674.
- Bossi, J., & Gaucher, C. (2014). Geología del Uruguay - Tomo 1 Predevónico. Montevideo: Polo S.A.
- Bossi, J., & Piñeyro, D. (2014). Terreno Piedra Alta. En J. G. Bossi, *Geología del Uruguay - Tomo 1: Predevónico* (págs. 45-86). Montevideo: Polo.
- Bossi, J., Campal, N., & Preciozzi, F. (1993). Predevoniano del Uruguay. Parte I: Terreno Piedra Alta. Montevideo, Uruguay: DINAMIGE-Udelar, pp. 1-58.
- Bossi, J., Campal, N., Hartmann, L., & Schipilov, A. (2001). Predevoniano en el Uruguay: Terrenos y SHRIMP II. *Actas XI Congreso Latinoamericano de Geología*. Montevideo: CD ROM.
- Bossi, J., Ferrando, L. A., Montaña, J., Morales, H., Campal, N., Gancio, F., & Piñeyro, D. (1998). Carta Geológica del Uruguay, escala 1/500.000. Montevideo, Uruguay: Geoeditores.



- Bossi, J., Piñeyro, D., & Cingolani, C. (2005). El límite sur del Terreno Piedra Alta (Uruguay). Importancia de la faja milonítica sinistral de Colonia. Congreso Geológico Argentino - Actas XVI, (págs. (1) 173-180).
- Cameron, J. (1965). Nuclear raw materials prospection mission report to the Government of the Republic Oriental del Uruguay (No. TR--380-GEO). International Atomic Energy Agency.
- Campal, N., & Schipilov, A. (1995). The Illescas bluish quartz rapakivi granite (Uruguay-South America): some geological features. Symposium on Rapakivi Granites and Related Rocks, Belém., 18.
- Campal, N., & Schipilov, A. (1999). The eastern edge of the Río de la Plata Craton: A history of tangential collisions. *Basement Tectonics* 13, 33-48.
- Caorsi, J., & Goñi, J. (1958). Geología Uruguay. Inst. Geol. del Uruguay, boletín 37. Montevideo: Instituto Geológico del Uruguay.
- Coffey Geotechnics Inc. (2011). ESIA Proyecto Aratirí - Características generales del medio receptor. Montevideo: Minera Aratirí.
- Collazo, P., & Montaña, J., (2012). Manual de Agua Subterránea. MGAP. Montevideo., pp. 26
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). Hidrología Subterránea. Barcelona: Omega.
- De Santa Ana Alvarez, H. B. (2004). Análise tectono-estratigráfica das sequências permotriássica e jurocretácea da bacia Chacoparanense Uruguia (Cuenca Norte).
- De Santa Ana H & Ucha N (1994): Exploration perspectives and hydrocarbon potential of the uruguayan sedimentary basins. ANCAP, Montevideo, 98pp. En G. Veroslavsky, M. Ubilla, & S. M. Martínez, Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Geología, Paleontología y Recursos Minerales. Mesozoico (pág. 123). Montevideo, Uruguay: DIRAC.
- De Santa Ana, H., Veroslavsky, G., Fulfaro, V., & Rossello, E. (2006). Cuenca Norte: Evolución tectónica y sedimentaria del Carbonífero-Pérmico. En G. Veroslavsky, M. Ubilla, & S. M. Martínez, Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Geología, Paleontología y Recursos Minerales. Paleozoico (pág. 214). Montevideo, Uruguay: DIRAC.
- DINAMIGE - BGR. (1999). Prospección de aguas Subterránea en Rocas Cristalinas Florida Uruguay. Montevideo, Uruguay: DINAMIGE.
- Dubrovsky, N.M., Burow, K.R., Clark, G.M., Gronberg, J.M., Hamilton P.A., Hitt, K.J., Mueller, D.K., Munn, M.D., Nolan, B.T. Puckett, L.J., Rupert, M.G., Short, T.M., Spahr, N.E., Sprague, L.A., and Wilber, W.G. 2010. The quality of our Nation's waters—Nutrients in the Nation's streams and groundwater, 1992–2004: U.S. Geological Survey Circular 1350.
- Durán, A. (1976). Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca - Dirección de Suelos
- Fernández, A. (1960). "Informe interno" Citado de Bossi, J. "Recursos Minerales del Uruguay (1978). Instituto Geológico del Uruguay.
- Ferrous, Z. (2011). Proyecto Valentines - Minera Aratirí, Solicitud de Autorización Ambiental Previa, Tomo I: Documentos del proyecto, pp 1-148.



- Fragoso César, A. R. (1980). O Cratón do Río de la Plata e o Cinturao Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. Congreso Brasileiro de Geologia, 31 (págs. 2879-2892). Camboiriú: S. B. Geologia, Anais, 5.
- Gaucher, C., Finney, S.C., Poire, D.G., Valencia, V.A., Grove, M., Blanco, G., Pamoukaghlian, K., Gómez Peral, L. (2008). Detrital zircon ages of Neoproterozoic sedimentary successions in Uruguay and Argentina: Insights into the geological evolution of the Río de la Plata Craton; Precambrian Research; 167; 150-170.
- Gaucher, C. (2000). Sedimentology, paleontology, and stratigraphy of the Arroyo del Soldado Group (Vendian to Cambrian, Uruguay). Beringeria, 26, 1-120.
- Gaucher, C., Chemale Jr., F., Bossi, J., & Castiglioni, E. (2010). Grupo Cebollatí, Terreno Nico Pérez: definición y edad. VI Congreso Uruguayo de Geología, 1-8 (CDROM).
- Gaucher, C., Frei, R., Chemale Jr., F., Frei, D., Bossi, J., Martínez, G., . . . Cernuschi, F. (2011). Mesoproterozoic evolution of the Río de la Plata Craton un Uruguay: at the hearth of Rodinia? International Journal of Earth Sciences, 100: 273-288.
- Gaucher, C., Sprechmann, P., & Montaña, J. (1998). New advances in the geology and paleontology of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado Group of the Nico Pérez Terrane of Uruguay. En N. J. Paläontologie-Monatshefte.
- Gómez Rifas, C. (1995): A zona de cisalhamento sinistral "Sierra Ballena" no Uruguai. Tese de Doutoramento, USP, Programa de Pós-Graduação em Geotectônica: pp 1-262. São Paulo.
- Gonzalez Ramos, F. I. (2010). Geología y evaluación de los recursos minerales del sector oeste de la localidad de Valentines (Dpto. de Florida).
- Halls, H. C., Campal, N., Davis, D. W., & Bossi, J. (2001). Magnetic studies and U-Pb geochronology of the Uruguayan dike swarm, Rio de la Plata craton, Uruguay: paleomagnetic and economic implications. Journal of South American Earth Sciences. Vol. 14, 349-361.
- Hartmann, L. A., Campal, N., Santos, J. O., McNaughton, N. J., Bossi, J., Schipilov, A., & Lafon, J. M. (2001). Archean crust in the Río de la Plata Craton, Uruguay - SHRIMP U-Pb zircon reconnaissance geochronology. Journal of South American Earth Sciences. Volume 14, Issue 6, 557-570.
- Heinzen, W., Carrión, R., Massa, E., Pena, S., & Stapff, M. (2003). Carta Hidrogeológica del Uruguay escala 1.000.000. Montevideo, Uruguay: DI.NA.MI.GE.
- Hem, J. D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U. S. Geological Survey Water, 2254, 263 pp.
- Kelly, D. (2005). Seawater intrusion. Island County/WRIA 6 Watershed Planning Process.
- Marstrander, R. (1915). Informe Preliminar Sobre las Riquezas Minerales de la República Oriental del Uruguay, Instituto de Geología y Perforaciones. Boletín no.2. Montevideo: Talleres gráficos del estado.
- Masquelin, H. (2006). El Escudo Uruguayo. En G. Veroslavsky, M. Ubilla, & S. Martínez, Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Geología, Paleontología y Recursos Minerales. Paleozoico (págs. 37-38). Montevideo, Uruguay: DI.R.A.C.
- Masquelin, H. (2006). El Escudo Uruguayo. En G. Veroslavsky, M. Ubilla, & S. (. Martínez, Cuencas Sedimentarias del Uruguay. Paleozoico. (págs. 37-106). Montevideo: DIRAC.



- Masquelin, H., Lara, H. S., Bettucci, L. S., Demarco, P. N., Pascual, S., Muzio, R., ... & Scaglia, F. (2017). Lithologies, structure and basement-cover relationships in the schist belt of the Dom Feliciano Belt in Uruguay. *Brazilian Journal of Geology*, 47, 21-42.
- Massa, E., Pintos, V., Pena, S., Abelenda, E., & Heinzen, W. (2016). Línea base de la calidad de las aguas subterráneas Zona Ferrífera de Valentines - Uruguay. *Actas VIII Congreso Uruguayo de Geología y 1er Simposio de Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata*. Montevideo.
- Minera Aratirí (2011a). Zamin Ferrous - Minera Aratirí, Estudio de Impacto Ambiental (EIA) Proyecto Valentines; Anexo A, Estándares. A.2 Metodologías. Recuperado en Setiembre de 2013, <https://www.aratiri.com.uy/sustentabilidad/estudio-de-impacto-ambiental-y-social-proyecto-valentines-aratiri-2/>
- Minera Aratirí (2011b). Zamin Ferrous - Minera Aratirí, Estudio de Impacto Ambiental (EIA) Proyecto Valentines; Anexo F, Agua. F.1 Muestreo de agua subterránea. Recuperado en Setiembre de 2013, <https://www.aratiri.com.uy/sustentabilidad/estudio-de-impacto-ambiental-y-social-proyecto-valentines-aratiri-2/>
- Minera Aratirí (2011c). Zamin Ferrous - Minera Aratirí, Estudio de Impacto Ambiental (EIA) Proyecto Valentines; Anexo G, Agua. G.3 Informe del modelado de aguas subterráneas. Recuperado en Setiembre de 2013, <https://www.aratiri.com.uy/sustentabilidad/estudio-de-impacto-ambiental-y-social-proyecto-valentines-aratiri-2/>
- Minera Aratirí (2011d). Zamin Ferrous - Minera Aratirí, Estudio de Impacto Ambiental (EIA) Proyecto Valentines; Anexo H, Geo. H1 Geología y geomorfología. Recuperado en Setiembre de 2013, <https://www.aratiri.com.uy/sustentabilidad/estudio-de-impacto-ambiental-y-social-proyecto-valentines-aratiri-2/>
- Minera Aratirí. (2011e). Zamin Ferrous - Minera Aratirí. Recuperado en Setiembre de 2013, de Estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS) - Proyecto Valentines - Anexo F (ELB) Agua: <https://www.aratiri.com.uy/sustentabilidad/estudio-de-impacto-ambiental-y-social-proyecto-valentines-aratiri-2/>
- Muzio Sauer, R., Olivera Ichazo, L., Fort, S., & Peel, E. (2022). Petrological features of the first Cenozoic alkaline magmatic event recorded in northwestern Uruguay, southern extreme of the Paraná basin. *Journal of South American Earth Sciences*, 116 pp.
- Núñez Demarco, P. A., Masquelín, E., & Sánchez Bettucci, L. (2018). Historia de la geología precámbrica del Uruguay: revisión de las divisiones estructurales, tectoestratigráficas sus límites y nomenclaturas. En *Revista Investigaciones* (págs. 1-16). Montevideo.
- ONU. (1976). Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo. Asistencia en exploración minera Uruguay. Conclusiones y recomendaciones finales del proyecto-Suplemento. Naciones Unidas. En: GONZALEZ RAMOS, F. Geología y evaluación de los recursos minerales del sector oeste de la localidad de Valentines (Dpto. de Florida). Tesis de grado, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias, 2010.
- Oyhantçabal, P. B. (2005): The Sierra Ballena Shear Zone: kinematics, timing and its significance for the geotectonic evolution of southeast Uruguay. Doctoral dissertation, Niedersächsische Staats-und Universitätsbibliothek Göttingen.



- Oyhantçabal, P., Spoturno, J., & Laureiro, J. (2007). Caracterización geológica de las rocas paleoproterozoicas de la región centro-sur del Uruguay (Terreno Piedra Alta - Cratón Río de la Plata). V Congreso Uruguayo de Geología, (pág. 113). Montevideo.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., & Wemmer, K. (2011). The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*, 100(2), 201-220.
- Oyhantçabal, P.; Wagner-Eimer, M.; Wemmer, K.; Schulz, B.; Frei, R.; Siegesmund, S. (2012). Paleo- and Neoproterozoic magmatic and tectonometamorphic evolution of the Isla Cristalina de Rivera (Nico Pérez Terrane, Uruguay). *Journal of South American Earth Sciences* 101: 1745-1762.
- Pamoukaghlián, K., Gaucher, C., Frei, R., Poiré, D. G., Chemale, F., Frei, D., & Will, T. M. (2017). U-Pb age constraints for the La Tuna Granite and Montevideo Formation (Paleoproterozoic, Uruguay): unravelling the structure of the Río de la Plata Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 443-458.
- Panario, D. (1988). Geomorfología del Uruguay. *Avances de Investigación - Departamento de Publicaciones - Facultad de humanidades y ciencias*, 44.
- Preciozzi, F., Masquelin, H., & Basei, M. A. S. (1999). The namaqua/grenville terrane of eastern Uruguay. In *II South American Symposium on Isotope Geology*, Carlos Paz.
- Rossello, E. A., Santa Ana, H., & Veroslavsky, G. (1999). Rasgos transtensivos dextrales Juro-Cretácicos en la Cuenca Santa Lucía (Uruguay): Un corredor tectónico extensivo y transcurrente dextral precursor de la apertura atlántica. En M. U. Gerardo Veroslavsky, *Cuencas Sedimentarias del Uruguay - Mesozoico* (págs. 115-139). Montevideo: DIRAC.
- Rossi, P., Bellon, F., Califra, A., Coronel, N., & Massa, E. (1979). Report of detailed prospection in Las Cañas district [Study of Uranium prospection in Uruguay]; Informe sobre la prospección detallada del Distrito Las Cañas.
- Sánchez Bettucci, L. (1998). Evolución tectónica del cinturón DOM feliciano en la región minas-Piriápolis, República Oriental del Uruguay (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).
- Sánchez Bettucci, L., Cordani, U., Loureiro, J., Peel, E., Fort, S., & Sato, K. (2021). The Nico Pérez terrane (Uruguay) and its archaic and paleoproterozoic inheritance. *Andean geology*, 48(3), 442-471.
- Sánchez San Román, F. J. (2012). Hidroquímica. Conceptos fundamentales. Obtenido de Dpto Geología – Univ Salamanca – España: [hidrologia.usal.es](http://hidrologia.usal.es)
- Sánchez San Román, F. J. (2022). Hidrología superficial y subterránea 2ª edición. Autoedición, 9, 177-187.
- Santos, J. O., Hartmann, L. A., Bossi, J., McNaughton, N. J., & Fletcher, I. R. (2003). Duration of the Trans-Amazon Cycle in South America based on U-Pb SHRIMP geochronology of Rio de la Plata Craton. *International Geology Review* 45.
- Spoturno Pioppo, J., & Lara Vigil, P. (1990). Comunicación sobre el hallazgo de un conjunto de indicios polimetálicos inéditos en la región de Valentines (dpto. de Florida). *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología*, II época, número 4.



- Sprechmann, P., Montaña, J. y, Gaucher, C. (1993). Devónico. En: Geología y Recursos Minerales del Departamento de Durazno. Intendencia Municipal de Durazno, pp. 25-55.
- Taylor, J. (1976). Programa de Prospección de Uranio. Informe al Gobierno del Uruguay. Vienna: OIEA TA Informe N° 1111.
- Ucha N, de Santa Ana H & Veroslavsky G (2004): La Cuenca Punta del Este: geología y potencial hidrocarburífero, pp. 171-190 de Veroslavsky G, Ubilla M & Martínez S (eds): Cuencas Sedimentarias de Uruguay: Geología, Paleontología y recursos naturales – Mesozoico. 2a ed., DIRAC, Facultad de Ciencias, Montevideo.
- Veroslavsky, G., Fulfaro, V., & de Santa Ana, H. (2006). El Devónico en Uruguay: estratigrafía, correlación geológica y recursos minerales. En M. U. Gerardo Veroslavsky, Cuencas Sedimentarias del Uruguay - Paleozoico (págs. 107-132). Montevideo: DIRAC.
- Veroslavsky, G., Martínez, S., & Ubilla, M. (2006). El Paleozóico. En M. U. Gerardo Veroslavsky, Cuencas Sedimentarias del Uruguay - Paleozoico (págs. 11-36). Montevideo: DIRAC.
- Veroslavsky, G., Rossello, E. A., & Santa Ana Alvarez, H. B. D. (2006) Depósitos del jurásico y cretácico temprano de la región meridional de Uruguay: el lineamiento Santa Lucía-Aiguá-Merín Cuencas Sedimentarias del Uruguay – Mesozóico (págs. 115-139). Montevideo: DIRAC.
- Walther, K. (1932). La Existencia de Yacimientos Minerales y Rocas Explotables de la R.O.U. Revista Fac. Agronomía No.6.



## 12. ANEXOS

Se incluye en este anexo las tablas de inventario de pozos, mediciones de parámetros de campo, metodología y resultados de los análisis de laboratorio, tablas de cálculo, características técnicas de los equipos utilizados y perfiles esquemáticos de los pozos de Minera Aratirí.



## I: Parámetros y métodos de análisis

| Parámetro        | Unidad                 | Metodología                                              | Procedimiento                                                                   |
|------------------|------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| pH               | U. de pH               | Potenciométrico                                          | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4500 H+, A y B                                           |
| Conductividad    | μS/cm                  | Conductimétrico                                          | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 2510 A y B / EPA Meth, Chem, water & wastes 2th Ed, 1983 |
| STD              | mg/L                   | Gravimétrico                                             | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 2540 Sólidos C                                           |
| Color            | Unidades               | Comparación visual                                       | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 2120 A y 2120 B                                          |
| DBO <sub>5</sub> | mgO <sub>2</sub> /L    | Dilución                                                 | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 5210 A y B                                               |
| Bicarbonato      | mgCaCO <sub>3</sub> /L | Potenciométrico                                          | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 2320 A y B                                               |
| Carbonato        | mgCaCO <sub>3</sub> /L | Potenciométrico                                          | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 2320 A y B                                               |
| Cloruros         | mg/L                   | HPLC/Cromatografía iónica                                | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4110 A y 4110 C                                          |
| Fluoruros        | mg/L                   | HPLC/Cromatografía iónica                                | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4110 A y 4110 C                                          |
| Sulfatos         | mg/L                   | HPLC/Cromatografía iónica                                | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4110 A y 4110 C                                          |
| Calcio           | mg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Magnesio         | mg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Potasio          | mg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Sodio            | mg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Mercurio         | μg/L                   | EAA con generación de vapor frío –FIS                    | EPA 7470-A                                                                      |
| Aluminio         | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Antimonio        | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Arsénico         | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Bario            | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Berilio          | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Boro             | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Cadmio           | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Cromo            | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Cobre            | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Hierro           | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Plomo            | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Manganeso        | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Molibdeno        | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Níquel           | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Selenio          | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Plata            | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Estroncio        | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Talio            | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Vanadio          | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Zinc             | μg/L                   | ICP-Ultratrazo                                           | EPA- 6020                                                                       |
| Cianuro total    | mg/L                   | Colorimétrico con destilación en medio ácido en caliente | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4500 CN, C y E                                           |
| Nitrito (como N) | μgNO <sub>2</sub> -N/L | Espectrofotométrico por reducción por cadmio FIAS        | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4500-NO2 I; Lachat 10-107-01-1-A                         |
| Nitrato (como N) | mgNO <sub>3</sub> -N/L | Espectrofotométrico por reducción por cadmio FIAS        | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4500-NO2 I; Lachat 10-107-01-1-A                         |
| Nitrógeno total  | mgN/L                  | Mineralización, destilación y titulación                 | ISO 5663                                                                        |
| Fósforo total    | μgPO <sub>4</sub> -P/L | Digestión ácida, destilación con ascórbico               | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4500 P A, B 5 y E                                        |
| Sulfuros         | mg/L                   | Potenciométrico                                          | APHA 21 Ed, 2005, Sec. 4500 S2- A, 4500 S2- G                                   |

Adaptado de Metodologías del estudio de línea de base (Minera Aratirí 2011a).



## II: Características de las perforaciones

| Ubicación |         |               |               | Característica    |                  |                     |                    |                 |                      |                       |                         |                                 |                     |                     |                        |                          |
|-----------|---------|---------------|---------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|
| Nº        | ID      | Coord X (UTM) | Coord Y (UTM) | Fecha realización | Elevación (msnm) | Prof. perforado (m) | Prof. entubado (m) | Cota casing (m) | Diámetro casing (mm) | Altura sobre sup (cm) | Diam. aro metálico (in) | Altura aro metal sobre sup (cm) | Base del filtro (m) | Tope del filtro (m) | Tope del prefiltro (m) | Esp. sello bentonita (m) |
| 1         | VWM21   | 663493,03     | 6321254,75    | 03/11/2010        | 184,42           | 121,50              | 121,5              | 185,15          | 90                   | 73,0                  | 6,0                     | 74,0                            | 121,5               | 103,5               | 101,5                  | 1,0                      |
| 2         | VWM23   | 663331,18     | 6321455,33    | 15/11/2010        | 181,15           | 51,6                | 51,6               | 181,55          | 63                   | 40,0                  | 6,0                     | 38,0                            | 51,6                | 39,6                | 36,0                   | 31,0                     |
| 3         | VWM24   | 663984,65     | 6321259,22    | 16/11/2010        | 180,84           | 51,6                | 51,6               | 181,16          | 63                   | 32,0                  | 6,0                     | 30,0                            | 51,6                | 39,6                | 32,0                   | 31,0                     |
| 4         | VWM29   | 661451,95     | 6324397,13    | 26/11/2010        | 195,89           | 50,0                | 50,0               | 196,10          | 63                   | 21,0                  | 6,0                     | 21,0                            | 50,0                | 38,0                | 30,0                   | 8,0                      |
| 5         | VWM34   | 667898,90     | 6320951,72    | 23/11/2010        | 212,38           | 50,0                | 50,0               | 212,62          | 63                   | 24,0                  | 6,0                     | 24,0                            | 50,0                | 38,0                | 32,0                   | 23,0                     |
| 6         | VWM37   | 674552,71     | 6319154,77    | 10/12/2010        | 254,70           | 50,0                | 50,0               | 255,09          | 63                   | 39,0                  | 6,0                     | 23,0                            | 50,0                | 37,6                | 35,0                   | 1,0                      |
| 7         | VWM38   | 674346,85     | 6319700,41    | 09/12/2010        | 266,83           | 50,0                | 50,0               | 267,43          | 63                   | 60,0                  | 6,0                     | 30,0                            | 50,0                | 25,6                | 21,6                   | 0,27                     |
| 8         | MPS 10  | 662948,38     | 6340331,52    | 16/12/2010        | 224,43           | 24,0                | 24,0               | 224,69          | 63                   | 26,0                  | 6,0                     | 25,0                            | 24,0                | 12,0                | 10,0                   | 8,0                      |
| 9         | MPS 11  | 660565,59     | 6342493,57    | 15/12/2010        | 210,13           | 37,0                | 37,0               | 210,44          | 63                   | 31,0                  | 6,0                     | 30,0                            | 37,0                | 25,0                | 23,0                   | 21,0                     |
| 10        | MPS 12  | 659447,46     | 6336349,53    | 17/12/2010        | 221,65           | 50,0                | 50,0               | 222,00          | 63                   | 35,0                  | 6,0                     | 34,0                            | 50,0                | 38,0                | 36,0                   | 34,0                     |
| 11        | MPS 30  | 648125,83     | 6353573,69    | 13/01/2011        | 170,94           | 43,0                | 43,0               | 171,19          | 63                   | 25,0                  | 6,0                     | 25,0                            | 43,0                | 31,0                | 29,0                   | 27,0                     |
| 12        | MPS 31  | 658238,03     | 6325082,93    | 07/12/2010        | 155,56           | 19,0                | 19,0               | 155,84          | 63                   | 28,0                  | 6,0                     | 27,5                            | 19,0                | 7,0                 | 4,9                    | 0,8                      |
| 13        | MPS 33  | 674155,92     | 6334370,77    | 13/12/2010        | 256,56           | 31,0                | 31,0               | 256,82          | 63                   | 26,0                  | 6,0                     | 26,0                            | 31,0                | 19,0                | 17,0                   | 15,0                     |
| 14        | MPS 35  | 658093,81     | 6323816,96    | 09/12/2010        | 162,77           | 21,9                | 21,9               | 163,13          | 63                   | 36,0                  | 6,0                     | 35,0                            | 21,9                | 9,9                 | 6,5                    | 1,1                      |
| 15        | LPWM 03 | 650767,27     | 6352453,02    | 12/01/2011        | 159,90           | 120,5               | 120,5              | 160,12          | 63                   | 22,0                  | 6,0                     | 21,0                            | 120,5               | 102,5               | 100,5                  | 10,0                     |
| 16        | LPWM 04 | 650625,53     | 6352539,37    | 30/12/2010        | 166,71           | 51,7                | 51,7               | 167,18          | 63                   | 47,0                  | 6,0                     | 46,0                            | 51,7                | 39,7                | 36,7                   | 31,0                     |
| 17        | LPWM 06 | 650852,27     | 6352703,69    | 21/01/2011        | 157,92           | 120,9               | 120,9              | 158,33          | 63                   | 41,0                  | 6,0                     | 40,0                            | 120,9               | 102,9               | 100,9                  | 10,0                     |

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011) bajo autorización de Minera Aratirí.



III: Parámetros medidos en campo

| Ubicación |         |               |               | Campaña 1 |               |                      |                         |      | Campaña 2 |               |                      |                         |      | Campaña 3 |               |                      |                         |      | Campaña 4 |               |                      |                         |      |
|-----------|---------|---------------|---------------|-----------|---------------|----------------------|-------------------------|------|-----------|---------------|----------------------|-------------------------|------|-----------|---------------|----------------------|-------------------------|------|-----------|---------------|----------------------|-------------------------|------|
| Nº        | ID      | Coord X (UTM) | Coord Y (UTM) | T (°C)    | Cond. (uS/cm) | Oxígeno disuelto (%) | Oxígeno disuelto (mg/L) | pH   | T (°C)    | Cond. (uS/cm) | Oxígeno disuelto (%) | Oxígeno disuelto (mg/L) | pH   | T (°C)    | Cond. (uS/cm) | Oxígeno disuelto (%) | Oxígeno disuelto (mg/L) | pH   | T (°C)    | Cond. (uS/cm) | Oxígeno disuelto (%) | Oxígeno disuelto (mg/L) | pH   |
| 1         | VWM21   | 663493.03     | 6321254.75    | 19,28     | 191           | 10,0                 | 0,92                    | 8,37 | 19,64     | 211           | 1,0                  | 0,09                    | 8,50 | 19,02     | 175           | 1,7                  | 0,16                    | 8,73 | 18,74     | 173           | 1,3                  | 0,12                    | 8,59 |
| 2         | VWM23   | 663331.18     | 6321455.33    | 18,94     | 275           | 34,8                 | 3,23                    | 7,24 | 19,76     | 304           | 20,8                 | 1,90                    | 7,50 | 19,35     | 249           | 17,0                 | 1,57                    | 7,69 | 18,34     | 239           | 16,1                 | 1,51                    | 7,54 |
| 3         | VWM24   | 663984.65     | 6321259.22    | 15,30     | 182           | *                    | *                       | 6,89 | 20,98     | 212           | 46,1                 | 4,11                    | 7,06 | 18,48     | 152           | 37,8                 | 3,55                    | 7,20 | 18,60     | 166           | 40,7                 | 3,81                    | 7,21 |
| 4         | VWM29   | 661451.95     | 6324397.13    | 22,00     | 601           | 17,1                 | 1,48                    | 7,26 | 21,06     | 686           | 14,3                 | 1,27                    | 7,44 | 19,34     | 772           | 1,9                  | 0,17                    | 7,32 | 19,70     | 562           | 5,3                  | 0,49                    | 7,84 |
| 5         | VWM34   | 667898.90     | 6320951.72    | 19,90     | 144           | 97,4                 | 8,87                    | 7,35 | 20,15     | 177           | 67,8                 | 6,15                    | 7,26 | 19,14     | 199           | 52,5                 | 4,86                    | 7,49 | 19,88     | 148           | 53,8                 | 4,90                    | 7,37 |
| 6         | VWM37   | 674552.71     | 6319154.77    | 20,40     | 85            | 88,7                 | 7,96                    | 6,48 | 19,63     | 110           | 85,0                 | 7,77                    | 6,47 | 19,10     | 73            | 78,2                 | 7,25                    | 6,28 | 19,46     | 75            | 57,1                 | 5,24                    | 6,64 |
| 7         | VWM38   | 674346.85     | 6319700.41    | 20,90     | 75            | 127,2                | 11,42                   | 6,23 | 19,75     | 87            | 115,9                | 10,60                   | 6,28 | 18,16     | 101           | 73,2                 | 6,89                    | 6,36 | 21,55     | 78            | 62,2                 | 5,53                    | 6,13 |
| 8         | MPS 10  | 662948.38     | 6340331.52    | 21,30     | 577           | 25,0                 | 2,20                    | 6,94 | 20,27     | 652           | 17,4                 | 1,57                    | 7,01 | 21,72     | 735           | 12,3                 | 1,08                    | 7,13 | 17,77     | 509           | 14,8                 | 1,41                    | 7,19 |
| 9         | MPS 11  | 660565.59     | 6342493.57    | 22,00     | 677           | 60,5                 | 5,30                    | 7,10 | 19,14     | 788           | 45,3                 | 4,19                    | 7,23 | 19,13     | 975           | 35,8                 | 3,30                    | 7,37 | 18,29     | 752           | 35,6                 | 3,35                    | 8,07 |
| 10        | MPS 12  | 659447.46     | 6336349.53    | 19,80     | 681           | 59,1                 | 5,38                    | 7,24 | 19,69     | 818           | 39,0                 | 3,56                    | 7,23 | 18,12     | 802           | 22,7                 | 2,14                    | 7,35 | 18,71     | 608           | 25,7                 | 2,39                    | 7,61 |
| 11        | MPS 30  | 648125.83     | 6353573.69    | 22,60     | 142           | 121,2                | 10,50                   | 6,04 | 20,26     | 176           | 110,9                | 10,03                   | 6,08 | 19,72     | 197           | 76,7                 | 7,01                    | 6,05 | 19,37     | 275           | 72,3                 | 6,63                    | 6,28 |
| 12        | MPS 31  | 658238.03     | 6325082.93    | 21,30     | 670           | 29,5                 | 2,60                    | 7,16 | 23,95     | 796           | 26,3                 | 2,32                    | 7,20 | 21,11     | 864           | 24,6                 | 2,19                    | 7,38 | 20,14     | 647           | 25,0                 | 2,26                    | 7,51 |
| 13        | MPS 33  | 674155.92     | 6334370.77    | 20,20     | 955           | 24,2                 | 2,18                    | 6,87 | 20,00     | 1110          | 11,4                 | 1,03                    | 6,94 | 19,26     | 1185          | 4,6                  | 0,42                    | 7,09 | 19,54     | 898           | 3,7                  | 0,35                    | 6,96 |
| 14        | MPS 35  | 658093.81     | 6323816.96    | 24,30     | 244           | 64,0                 | 5,42                    | 6,48 | 26,15     | 304           | 48,2                 | 4,08                    | 6,52 | 17,28     | 305           | 32,6                 | 3,12                    | 6,56 | 17,28     | 305           | 32,6                 | 3,12                    | 6,56 |
| 15        | LPWM 03 | 650767.27     | 6352453.02    | 20,60     | 180           | 4,3                  | 0,39                    | 7,39 | 20,86     | 226           | 1,0                  | 0,09                    | 7,65 | 19,49     | 238           | 0,2                  | 0,02                    | 8,21 | 19,66     | 178           | 0,6                  | 0,06                    | 8,21 |
| 16        | LPWM 04 | 650625.53     | 6352539.37    | 20,90     | 340           | 66,0                 | 5,94                    | 7,35 | 21,68     | 404           | 59,2                 | 5,19                    | 7,51 | 19,40     | 413           | 60,1                 | 5,52                    | 7,63 | 19,14     | 299           | 54,7                 | 5,07                    | 7,98 |
| 17        | LPWM 06 | 650852.27     | 6352703.69    | 20,20     | 145           | 120,9                | 10,87                   | 9,93 | 20,86     | 119           | 108,0                | 9,62                    | 9,36 | 19,37     | 114           | 82,1                 | 7,59                    | 7,06 | 19,43     | 78            | 80,2                 | 7,41                    | 7,35 |

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011) bajo autorización Minera Aratirí.



IV: Resultados de laboratorio

| PARÁMETRO     | Unidad                  | Límite de detección | LPWM03 | LPWM04 | LPWM06 | MPS30 | MPS10 | MPS11 | MPS12 | MPS33  | MPS31 | MPS35 | VWM21 | VWM23 | VWM24 | VWM29 | VWM34 | VWM37 | VWM38 |
|---------------|-------------------------|---------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Generales     |                         |                     |        |        |        |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| pH            | pH                      | 0,01                | 7,44   | 7,59   | 10,17  | 6,36  | 7,27  | 7,38  | 7,41  | 7,13   | 7,33  | 6,89  | 8,28  | 7,60  | 7,09  | 7,40  | 7,53  | 6,59  | 6,56  |
| Conductividad | uS/cm                   | 1,7                 | 206,4  | 384,4  | 160,1  | 167,6 | 647,0 | 766,0 | 767,0 | 1061,0 | 758,0 | 283,5 | 201,3 | 286,4 | 199,9 | 635,0 | 173,1 | 105,2 | 90,0  |
| TDS           | mg/L                    | 2,4                 | 116    | 251    | 108    | 130   | 410   | 481   | 451   | 653    | 448   | 525   | 161   | 179   | 180   | 371   | 114   | 71    | 92    |
| Dureza total  | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 0,6                 | 73,4   | 104,0  | 70,0   | 34,0  | 111,0 | 191,0 | 177,0 | 338,0  | 195,0 | 133,0 | 75,0  | 112,0 | 72,2  | 164,0 | 58,3  | 32,2  | 37,7  |
| Color         | U. Pt-Co                | 5                   | 10     | 100    | 15     | nd    | 5     | 5     | 5     | nd     | nd    | 250   | nd    | 5     | 25    | 15    | 5     | 25    | nd    |
| DBO5          | mg O <sub>2</sub> /L    | 0,5                 | 2,4    | 1,2    | 1,0    | 0,8   | 0,7   | 1,6   | nd    | nd     | nd    | 1,0   | 0,5   | 0,6   | 0,3   | 1,5   | nd    | 1,0   | nd    |
| Aniones       |                         |                     |        |        |        |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Bicarbonato   | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 0,1                 | 86,5   | 166,0  | 13,7   | 48,3  | 315,0 | 302,0 | 343,0 | 379,0  | 344,0 | 132,0 | 61,4  | 133,0 | 97,4  | 203,0 | 77,0  | 33,8  | 35,3  |
| Carbonato     | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 0,01                | 0,3    | 3,2    | 13,5   | 0,0   | 0,4   | 1,4   | 3,9   | 2,1    | 2,4   | 1,0   | 1,1   | 0,6   | 0,3   | 0,5   | 0,3   | 0,0   | 0,1   |
| Cloruros      | mg/L                    | 0,08                | 4,24   | 5,64   | 2,14   | 8,45  | 9,70  | 38,40 | 26,10 | 50,60  | 20,60 | 4,78  | 6,56  | 3,51  | 1,36  | 27,50 | 1,86  | 2,22  | 2,94  |
| Fluoruros     | mg/L                    | 0,01                | 1,11   | 0,70   | 0,24   | 0,38  | 0,87  | 0,93  | 0,67  | 0,94   | 0,78  | 0,57  | 0,19  | 0,30  | 0,19  | 0,43  | 0,29  | 0,14  | 0,13  |
| Sulfatos      | mg/L                    | 0,2                 | 7,7    | 11,3   | 2,9    | 7,3   | 8,3   | 33,4  | 6,1   | 31,0   | 12,6  | 4,1   | 2,1   | 3,2   | 2,2   | 83,6  | 2,3   | 1,1   | 2,9   |
| Nitrito       | mg/L N                  | 0,011               | 0,03   | 0,35   | 0,83   | 1,00  | 0,15  | 0,25  | 0,22  | 6,10   | 0,91  | 0,26  | 0,35  | nd    | 0,05  | nd    | nd    | 0,04  | nd    |
| Nitrato       | mg/L N                  | 0,09                | nd     | 0,38   | 1,21   | 0,87  | 0,19  | 0,86  | 0,29  | 7,04   | 1,09  | 0,40  | 4,79  | 1,06  | nd    | 0,79  | nd    | 0,98  | 1,52  |
| Sulfuros      | mg/L                    | 0,005               | 0,006  | nd     | 0,006  | nd    | nd    | nd    | nd    | nd     | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    | 0,010 | 0,027 | nd    | 0,005 |
| Cianuro Total | mg/L                    | 0,004               | nd     | nd     | nd     | nd    | nd    | nd    | nd    | nd     | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    |
| Cationes      |                         |                     |        |        |        |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Calcio        | mg/L                    | 0,05                | 17,6   | 26,3   | 24,2   | 9,18  | 25,6  | 42,2  | 51,2  | 89,6   | 46,1  | 22,3  | 16,9  | 25,3  | 15,7  | 33,4  | 14,7  | 7,54  | 6,36  |
| Magnesio      | mg/L                    | 0,05                | 5,6    | 7,24   | 1,7    | 2,52  | 9,7   | 14,6  | 11,4  | 26,9   | 16,9  | 10,5  | 5,71  | 8,24  | 5,12  | 13,9  | 4,08  | 2,48  | 2,86  |
| Potasio       | mg/L                    | 0,05                | 1,33   | 3,88   | 2,85   | 1,86  | 5,66  | 9,41  | 5,79  | 6,62   | 2,43  | 0,71  | 0,6   | 0,67  | 0,55  | 4,18  | 0,25  | 0,68  | 1,14  |
| Sodio         | mg/L                    | 0,05                | 13,1   | 39,1   | 3,2    | 17,5  | 92,9  | 73,9  | 95,8  | 88,2   | 87,2  | 17,2  | 12,2  | 20,2  | 19,5  | 80,3  | 14,4  | 8,46  | 5,58  |

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011) bajo autorización de Minera Aratirí. Ref.: nd - no detectable.



| PARÁMETRO                    | Unidad | Límite de<br>detección | LPWM03 | LPWM04 | LPWM06 | MPS30 | MPS10 | MPS11 | MPS12 | MPS33 | MPS31 | MPS35  | VWM21 | VWM23 | VWM24 | VWM29 | VWM34 | VWM37 | VWM38 |
|------------------------------|--------|------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Metales minoritarios y traza |        |                        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |
| Aluminio                     | µg/L   | 0,2                    | 6,2    | 10,2   | 11,7   | 4,4   | 4,5   | 3,3   | 4,1   | 4,9   | 5,6   | 1750,0 | 3,1   | 12,9  | 42,2  | 9,5   | 43,7  | 22,8  | 6,2   |
| Antimonio                    | µg/L   | 0,02                   | 0,32   | 0,04   | 0,02   | nd    | 0,02  | nd    | 0,04  | nd    | nd    | 0,02   | nd    | nd    | 0,05  | 0,09  | nd    | 0,02  | nd    |
| Arsénico                     | µg/L   | 0,02                   | 0,39   | 0,43   | 0,19   | 4,53  | 2,87  | 0,99  | 15,80 | 2,56  | 1,82  | 0,22   | 2,73  | 0,24  | 0,25  | 0,79  | 0,98  | 0,12  | 0,03  |
| Bario                        | µg/L   | 0,02                   | 97,8   | 42,7   | 41,4   | 116,0 | 122,0 | 73,3  | 64,2  | 110,0 | 62,5  | 78,8   | 8,1   | 13,4  | 18,0  | 85,9  | 6,3   | 270,0 | 43,5  |
| Berilio                      | µg/L   | 0,01                   | 0,03   | 0,01   | nd     | 0,04  | 0,02  | nd    | 0,02  | 0,03  | nd    | 0,38   | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    | 0,02  | nd    |
| Boro                         | µg/L   | 50                     | 131    | 130    | nd     | nd    | 51    | nd    | 111   | 80    | 112   | nd     | nd    | nd    | nd    | 129   | nd    | nd    | nd    |
| Cadmio                       | µg/L   | 0,005                  | 0,005  | 0,012  | nd     | nd    | 0,035 | 0,044 | 0,022 | 0,014 | 0,012 | 0,022  | 0,007 | 0,012 | 0,042 | 0,081 | 0,040 | 0,012 | nd    |
| Cobre                        | µg/L   | 0,05                   | 0,25   | 1,15   | 0,22   | 0,72  | 0,29  | 0,41  | 0,70  | 0,47  | 0,22  | 2,43   | 0,14  | 0,35  | 0,85  | 0,61  | 0,21  | 0,46  | 0,35  |
| Cromo                        | µg/L   | 0,1                    | nd     | 1,0    | 2,8    | nd    | 0,2   | 0,3   | nd    | nd    | 0,4   | 1,3    | nd    | 0,2   | 0,4   | 0,1   | 0,4   | 0,1   | 0,4   |
| Hierro                       | µg/L   | 1                      | 256    | 16     | 3      | 3     | 17    | 4     | 38    | 4     | 8     | 797    | 5     | 21    | 26    | 17    | 40    | 28    | 15    |
| Manganeso                    | µg/L   | 0,05                   | 149,0  | 184,0  | 0,2    | 0,7   | 838,0 | 145,0 | 334,0 | 16,4  | 6,7   | 463,0  | 1,8   | 1,9   | 19,9  | 510,0 | 6,3   | 14,4  | 4,9   |
| Mercurio                     | µg/L   | 0,001                  | 0,003  | 0,003  | 0,003  | 0,005 | 0,003 | nd    | nd    | 0,277 | nd    | 0,004  | 0,026 | nd    | 0,009 | 0,029 | 0,061 | nd    | nd    |
| Molibdeno                    | µg/L   | 0,05                   | 2,08   | 2,42   | 4,67   | 2,42  | 20,80 | 3,35  | 6,21  | 2,10  | 1,21  | 0,20   | 3,83  | 1,04  | 1,61  | 5,32  | 14,20 | 0,23  | nd    |
| Níquel                       | µg/L   | 0,02                   | 0,60   | 1,90   | 0,30   | 0,93  | 11,10 | 1,84  | 2,29  | 0,71  | 0,22  | 7,41   | 0,03  | 0,14  | 0,64  | 1,03  | 0,22  | 0,45  | 0,60  |
| Plata                        | µg/L   | 0,005                  | nd     | nd     | nd     | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    | nd    | 0,007  | nd    | 0,006 | nd    | nd    | nd    | 0,015 | 0,025 |
| Plomo                        | µg/L   | 0,005                  | 1,660  | 3,110  | 0,022  | 0,179 | 0,241 | 0,338 | 0,502 | 0,870 | 0,081 | 4,110  | 0,366 | 0,978 | 0,509 | 2,290 | 1,230 | 0,590 | 0,516 |
| Selenio                      | µg/L   | 0,04                   | 0,57   | 0,42   | 0,05   | 0,11  | 0,14  | 0,19  | 0,06  | 0,15  | 0,11  | 0,11   | 0,54  | 0,50  | 0,15  | 3,14  | 0,33  | 0,08  | nd    |
| Talio                        | µg/L   | 0,002                  | 0,011  | 0,051  | nd     | 0,002 | 0,039 | 0,011 | nd    | 0,004 | 0,005 | 0,038  | nd    | 0,006 | 0,004 | 0,096 | nd    | nd    | nd    |
| Zinc                         | µg/L   | 0,1                    | 1,8    | 3,6    | 0,6    | 2,5   | 1,0   | 1,4   | 1,9   | 2,0   | 1,8   | 12,4   | 1,3   | 2,9   | 16    | 5,5   | 2,7   | 9,7   | 6,4   |

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011) bajo autorización de Minera Aratirí. Ref.: nd - no detectable.



V: Resultados expresados en meq/L

| PARÁMETRO          | Unidades | LPWM03 | LPWM04 | LPWM06 | MPS30 | MPS10 | MPS11 | MPS12 | MPS33  | MPS31 | MPS35 | VWM21 | VWM23 | VWM24 | VWM29 | VWM34 | VWM37 | VWM38 |
|--------------------|----------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cálcio disuelto    | meq/L    | 0,878  | 1,312  | 1,208  | 0,458 | 1,277 | 2,106 | 2,555 | 4,471  | 2,3   | 1,113 | 0,843 | 1,262 | 0,783 | 1,667 | 0,734 | 0,376 | 0,317 |
| Magnesio disuelto  | meq/L    | 0,461  | 0,595  | 0,14   | 0,207 | 0,798 | 1,201 | 0,938 | 2,212  | 1,39  | 0,863 | 0,47  | 0,678 | 0,421 | 1,143 | 0,336 | 0,204 | 0,235 |
| Potasio disuelto   | meq/L    | 0,034  | 0,099  | 0,073  | 0,048 | 0,145 | 0,241 | 0,148 | 0,169  | 0,062 | 0,018 | 0,015 | 0,017 | 0,014 | 0,107 | 0,006 | 0,017 | 0,029 |
| Sodio disuelto     | meq/L    | 0,57   | 1,701  | 0,139  | 0,761 | 4,041 | 3,214 | 4,167 | 3,836  | 3,793 | 0,748 | 0,531 | 0,879 | 0,848 | 3,493 | 0,626 | 0,368 | 0,243 |
| Sulfatos           | meq/L    | 0,159  | 0,235  | 0,061  | 0,152 | 0,173 | 0,695 | 0,127 | 0,645  | 0,262 | 0,085 | 0,044 | 0,067 | 0,046 | 1,741 | 0,047 | 0,023 | 0,06  |
| Nitrato            | meq/L    | 0,001  | 0,006  | 0,02   | 0,014 | 0,003 | 0,014 | 0,005 | 0,114  | 0,018 | 0,006 | 0,077 | 0,017 | 0,001 | 0,013 | 0,001 | 0,016 | 0,025 |
| Cloruro            | meq/L    | 0,12   | 0,159  | 0,06   | 0,238 | 0,274 | 1,083 | 0,736 | 1,427  | 0,581 | 0,135 | 0,185 | 0,099 | 0,038 | 0,776 | 0,052 | 0,063 | 0,083 |
| Bicarbonato        | meq/L    | 1,735  | 3,379  | 0,65   | 0,966 | 6,298 | 6,078 | 6,938 | 7,618  | 6,938 | 2,659 | 1,252 | 2,679 | 1,953 | 4,059 | 1,545 | 0,676 | 0,706 |
| Carbonato          | meq/L    | 0,009  | 0,106  | 0,45   | 0,0   | 0,012 | 0,045 | 0,13  | 0,071  | 0,08  | 0,032 | 0,037 | 0,018 | 0,009 | 0,016 | 0,011 | 0,001 | 0,002 |
| Sumatoria Cationes | meq/L    | 1,943  | 3,708  | 1,559  | 1,474 | 6,261 | 6,762 | 7,808 | 10,689 | 7,545 | 2,743 | 1,859 | 2,836 | 2,067 | 6,409 | 1,702 | 0,966 | 0,824 |
| Sumatoria Aniones  | meq/L    | 1,9    | 3,62   | 0,73   | 1,13  | 6,47  | 6,79  | 7,07  | 8,38   | 7,22  | 2,75  | 1,37  | 2,76  | 2     | 5,81  | 1,59  | 0,71  | 0,79  |
| Error de balance   | meq/L    | 1,2%   | 1,2%   | 36,2%  | 13,2% | 1,7%  | 0,2%  | 5,0%  | 12,1%  | 2,2%  | 0,1%  | 15,1% | 1,3%  | 1,6%  | 4,9%  | 3,3%  | 14,9% | 2,1%  |



## VI: Registro público de perforaciones

| N pozo | Origen dato | X registro    | Y registro     | Id Pozo      | Ult. Q (m3/h) | Prof. (m) | Registro | Fecha     | NE (m) | ND (m) | Prof. aportes (m) | Litología | Lineación estructural* | Observaciones* |
|--------|-------------|---------------|----------------|--------------|---------------|-----------|----------|-----------|--------|--------|-------------------|-----------|------------------------|----------------|
| 456    | DNMG        | 6.637.845.884 | 63.210.010.875 | DIN A 1237/1 | 0             | 46,7      | DNMG     | 22/6/1979 |        |        |                   |           | 132                    |                |
| 457    | DNMG        | 6.637.845.884 | 63.210.010.875 | DIN A 1237/2 | 0             | 51        | DNMG     | 28/9/1980 |        |        |                   |           | 132                    | Dup. de 456    |
| 518    | DNMG        | 6.752.504.254 | 63.364.919.662 | DIN A 170    | 0,7           | 210,1     | DNMG     | 15/6/1937 | 16,0   | 42,0   |                   |           | 163                    |                |
| 519    | DNMG        | 6.744.495.409 | 63.352.751.671 | DIN A 136    | 0             | 100,5     |          |           |        |        |                   |           | 54                     |                |
| 520    | DNMG        | 6.735.379.755 | 63.352.216.016 | DIN A 219/4  | 0             | 35,85     | DNMG     | 16/1/1938 |        |        |                   |           | 0                      |                |
| 521    | DNMG        | 6.745.420.904 | 63.356.730.957 | DIN A 1175   | 11,5          | 13,1      | DNMG     | 30/4/1975 | 3,3    | 9,6    | 11.8              |           | 0                      |                |
| 522    | DNMG        | 673.773.105   | 63.356.708.958 | DIN A 219/2  | 0             | 52,7      |          |           |        |        |                   |           | 0                      |                |
| 523    | DNMG        | 673.773.105   | 63.356.708.958 | DIN A 219/1  | 1             | 40,3      |          |           |        |        |                   |           | 0                      | Dup. de 522    |
| 524    | DNMG        | 6.761.814.298 | 63.373.702.912 | DIN A 257    | 29            | 17,4      | DNMG     |           | 8,0    | 15,5   | 15-16             |           | 107                    |                |
| 525    | DNMG        | 6.745.308.895 | 63.351.312.405 | DIN A 151/1  | 0             | 95        | DNMG     |           |        |        |                   |           | 48                     |                |
| 769    | DNMG        | 6.718.411.605 | 63.331.331.012 | DIN E 688    | 4,2           | 15,1      | PRIV     |           |        |        | 15                |           | 73                     |                |
| 1388   | DNMG        | 6.746.681.686 | 63.359.426.447 | DIN A 151/2  | 0             | 49,95     | DNMG     |           |        |        |                   |           | 0                      |                |
| 1389   | DNMG        | 6.735.379.755 | 63.352.216.016 | DIN A 219/3  | 0             | 34,25     | DNMG     | 15/8/1937 |        |        |                   |           | 0                      | Dup. de 1388   |
| 1426   | DNMG        | 6.767.590.931 | 63.188.521.381 | DIN A 1035   | 2,8           | 20        | DNMG     | 17/4/1968 | 0,3    | 16,9   | 10,5; 16          |           | 53                     |                |
| 4660   | DNMG        | 6.746.372.167 | 63.343.740.467 | DIN E 1464   | 0,8           | 38,6      | PRIV     |           |        |        | 35                |           | 48                     |                |
| 6117   | DNMG        | 6.498.820.538 | 63.521.216.742 | DIN A 1148   | 0,8           | 25,3      | DNMG     | 31/5/1974 | 10,0   | 21,0   | 19.5              |           | 0                      |                |
| 6137   | DNMG        | 6.479.713.414 | 63.531.793.434 | DIN A 925/8  | 4,2           | 54,15     | DNMG     | 15/6/1964 | 32,4   | 41,7   | 46                |           | 0                      |                |
| 6150   | DNMG        | 6.460.479.931 | 63.367.510.617 | DIN P 63     | 1,3           | 35        | PRIV     |           |        |        | 33                |           | 0                      |                |
| 6155   | DNMG        | 6.449.673.067 | 63.410.509.425 | DIN P 60     | 1,5           | 30        | PRIV     |           |        |        | 29                |           | 0                      |                |
| 6157   | DNMG        | 649.947.388   | 63.475.923.773 | DIN T 24/1   | 0             | 53        | PRIV     |           |        |        |                   |           | 0                      |                |
| 6160   | DNMG        | 6.512.784.415 | 63.487.500.783 | DIN E 1538   | 0,6           | 29        | PRIV     |           |        |        |                   |           | 0                      |                |
| 6162   | DNMG        | 6.507.915.427 | 63.567.346.662 | DIN A 925/7  | 2,2           | 31,1      | DNMG     | 15/5/1964 | 11,1   | 16,1   | 24                |           | 115                    |                |
| 6165   | DNMG        | 6.477.976.051 | 63.397.967.253 | DIN T 19/1   | 0             | 60        | PRIV     |           |        |        |                   |           | 139                    |                |
| 6166   | DNMG        | 649.990.488   | 63.406.845.671 | DIN T 19/2   | 0             | 30        | PRIV     |           |        |        |                   |           | 0                      |                |
| 6167   | DNMG        | 6.481.653.934 | 63.407.444.222 | DIN T 19/3   | 4,5           | 29        | PRIV     |           |        |        | 28                |           | 135                    |                |
| 6170   | DNMG        | 6.598.575.192 | 63.350.951.839 | DIN E 1525   | 2,9           | 19,2      | PRIV     |           |        |        | 18                |           | 152                    |                |
| 6188   | DNMG        | 6.453.362.649 | 63.574.448.957 | DIN A 165    | 15            | 71,04     | DNMG     | 15/2/1932 | 44,5   | 48,7   | 70                |           | 0                      |                |
| 9806   | DNMG        | 6.673.036.662 | 63.415.436.322 | DIN O 58     | 1             | 65        | PRIV     |           |        |        | 63                |           | 134                    |                |
| 9807   | DNMG        | 644561303     | 63.397.337.325 | DIN V 25     | 0,5           | 70,7      | PRIV     |           |        |        |                   |           | 0                      |                |



|        |         |                 |                 |          |     |    |       |            |      |      |                   |                |     |  |
|--------|---------|-----------------|-----------------|----------|-----|----|-------|------------|------|------|-------------------|----------------|-----|--|
| 10614  | DNMG    | 647.344.484.877 | 635.538.802.818 | PRN 18   | 4   | 50 | PREN  |            |      |      | 34-36; 42-44      | Arn., Ac.      | 0   |  |
| 11160  | DNMG    | 647.848.932.034 | 635.578.224.975 | PRN 564  | 5   | 50 | PREN  |            |      |      | 40-42; 46-48      | Arn.           | 0   |  |
| 11870  | DNMG    | 647.923.287.412 | 635.353.159.103 | PRN 1274 | 3   | 50 | PREN  |            |      |      | 22-24;32-34;46-47 | Ar., Ac. alt.  | 0   |  |
| 12119  | DNMG    | 673.903.966.096 | 633.443.577.703 | PRN 1523 | 2   | 25 | PREN  |            | 3,0  | 23,0 | 6-12              | Gr.            | 0   |  |
| 12172  | DNMG    | 667.221.001.826 | 633.591.223.294 | PRN 1576 | 2   | 37 | PREN  |            | 6,0  | 33,0 | 12-30             | Gr.            | 55  |  |
| 12176  | DNMG    | 667.200.403.908 | 633.411.252.246 | PRN 1580 | 5   | 31 | PREN  |            | 4,0  | 28,0 | 12-30             | Gr.            | 145 |  |
| 12464  | DNMG    | 673.783.947.026 | 633.268.717.134 | PRN 1868 | 0   | 46 | PREN  |            |      |      |                   | Gr.            | 80  |  |
| 12465  | DNMG    | 673.385.721.835 | 633.284.172.976 | PRN 1869 | 0   | 43 | PREN  |            |      |      |                   | Gr.            | 81  |  |
| 12738  | DNMG    | 663.410.762.926 | 633.500.587.016 | PRN 2142 | 1   | 37 | PREN  |            | 12,0 | 33,0 | 10-27             | Gr.            | 118 |  |
| 12805  | DNMG    | 675.283.163.421 | 633.262.000.314 | PRN 2209 | 1   | 49 | PREN  |            | 18,0 | 41,0 | 40                | Gr. ros.       | 120 |  |
| 12806  | DNMG    | 675.132.611.734 | 633.257.172.764 | PRN 2210 | 0   | 49 | PREN  |            |      |      |                   | Gr.            | 119 |  |
| 12808  | DNMG    | 651.930.075.934 | 633.663.715.648 | PRN 2212 | 10  | 13 | PREN  |            | 8,0  |      | 13                | Ar., Pel., Gra | 0   |  |
| 12809  | DNMG    | 651.930.304.696 | 633.665.715.242 | PRN 2213 | 2   | 25 |       |            |      |      |                   |                | 0   |  |
| 12992  | DNMG    | 67.129.203.715  | 632.466.585.672 | PRN 2396 | 1   | 37 | PREN  |            | 12,0 | 34,0 | 13-33             | Gr. gris       | 109 |  |
| 12995  | DNMG    | 675.540.850.627 | 632.456.710.675 | PRN 2399 | 4   | 40 | PREN  |            | 3,0  | 38,0 | 18-37             | Gr. ros.       | 105 |  |
| 121107 | DINAGUA | -33.164.698     | -55.186.569     | DUR462   | 4   | 40 | PRIV  |            | 7    |      |                   |                | 60  |  |
| 131302 | DINAGUA | -33.234.431     | -5.512.421      | TYT2870  | 0,5 | 60 | PRIV  | 17/5/2013  | 1    | 29   |                   |                | 62  |  |
| 154335 | DINAGUA | -32.921.295     | -55.416.557     | DUR6068  | 1,5 | 50 | MEVIR |            | 24   |      |                   |                | 0   |  |
| 161432 | DINAGUA | -33.203.036     | -55.211.055     | FLO14874 | 1,8 | 30 | PRIV  | 31/10/2016 | 5    | 27   |                   |                | 84  |  |

Referencias: DNMG – Dirección Nacional de Minería y Geología; DINAGUA – Dirección Nacional de Agua; PRIV – Privado; PREN – Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego; MEVIR - Comisión Honoraria pro Erradicación de la Vivienda Rural Insalubre; Anr. – Arenisca; Ac. – Arcilla; alt. – alternancia; Gr. – Granito; Gr. ros – Granito rosado; Pel. – Pelitas; Gr. gris – Granito gris; Dup. – duplicado. Lo indicado con (\*) no corresponde a datos de los registros sino a información desprendida del análisis. Tomado de [https://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/Dinamige\\_MVC2/](https://visualizadorgeominero.dinamige.gub.uy/Dinamige_MVC2/) y <https://lastmile.presidencia.gub.uy/portal/apps/webappviewer/index.html?id=8666d11d6b664b39b58a2b7471f64333>



## VII: Características técnicas de los equipos:

### Características técnicas del equipo de bombeo Geotech SS Geosub Sampling Pump:

| Elemento                                  | Características                                                                    |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de fuente:                           | Eléctrica                                                                          |
| Potencia máxima                           | 2/3 HP                                                                             |
| Máxima corriente                          | 35 A                                                                               |
| Fusible de sobrecarga                     | Incorporado al controlador                                                         |
| Puerto de conexión de descarga            | Hembra 1/4" NPT (incluye rebarba 3/8")                                             |
| Temperatura ambiental mínima del fluido   | 1°C (34°F)                                                                         |
| Temperatura ambiental máxima del fluido   | 28°C (80°F)                                                                        |
| Partes húmedas                            | Acero inoxidable 316, PTFE, Viton®                                                 |
| Dimensiones de la bomba                   | Largo 31 cm (12,2"), diámetro 4,45 cm (1,75")                                      |
| Peso neto de la bomba sin carga           | 1,77 Kg (3.9 lbs)                                                                  |
| Material del cable                        | Dos conductores calibre 12 con cobertura de Tefzel® y cable de seguridad integrado |
| Peso con <i>reel</i> y cable de seguridad | 11,5 Kg (60 m de cable calibre 12).                                                |

### Especificaciones del instrumento de medición YSI

| Elemento                | Características                                                                                   |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Barómetro               | Integrado                                                                                         |
| Cable                   | 4 metros (13,1 ft)                                                                                |
| Comunicaciones          | Puerto serial RS-232                                                                              |
| Conector                | MS (military spec.) a prueba de agua con encastre bayoneta                                        |
| Administración de datos | Compatible con software EcoWatch                                                                  |
| Memoria de datos        | 49.000 sets de datos (lectura, fecha, hora, información de usuario) en intervalos o logueo manual |
| Dimensiones             | Ancho: 11,9 cm, largo 22,9 cm (4.7 in x 9 in)                                                     |
| Fuente de poder         | 4x pilas alcalinas tipo C. Paquete recargable opcional                                            |



#### Especificaciones de los electrodos YSI

| Sonda                           | Tipo de sensor                              | Rango                           | Precisión                                                                                                                                                     | Resolución                                     |
|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Oxígeno disuelto %              | Polarográfico                               | 0 to 500% de saturación de aire | 0 a 200% saturación de aire, $\pm 2\%$ de la lectura o $\pm 2\%$ saturación de aire, lo que sea mayor; 200 to 500% saturación de aire $\pm 6\%$ de la lectura | 0.1% saturación de aire                        |
| Oxígeno disuelto (mg/L)         | Polarográfico                               | 0 a 50 mg/L                     | 0 a 20 mg/L, $\pm 0,2$ mg/L o $\pm 2\%$ de la lectura, lo que sea mayor; 20 a 50 mg/L $\pm 6\%$ de la lectura                                                 | 0,01 mg/L                                      |
| Temperatura                     | Termistor                                   | -5 a 45°C                       | $\pm 0,15^\circ\text{C}$                                                                                                                                      | 0,1°C                                          |
| Conductividad eléctrica         | Celda de cuatro electrodos                  | 0 a 200 mS/cm (auto rango)      | $\pm 0.5\%$ de la lectura o 0,001 mS/cm, lo que sea más alto (4-m cable) $\pm 1\%$ de la lectura o 0,001 mS/cm, lo que sea más alto (20-m cable)              | 0,01 mS/cm a 0,1 mS/cm (dependiente del rango) |
| Salinidad                       | Calculada de la conductividad y temperatura | 0 a 70 ppt                      | $\pm 1.0\%$ de la lectura o 0,1 ppt, lo que sea más alto                                                                                                      | 0,01 ppt                                       |
| pH (opcional)                   | Electrodo de combinación de vidrio          | 0 a 14 unidades                 | $\pm 0,2$ unidades                                                                                                                                            | 0,01 unidades                                  |
| ORP (potencial redox, opcional) | Botón de platino                            | -1999 a +1999 mV                | $\pm 20$ mV                                                                                                                                                   | 0,1 mV                                         |
| Sólidos disueltos totales (TDS) | Calculado de la conductividad y temperatura | 0 a 100 g/L                     |                                                                                                                                                               | 4 dígitos                                      |
| Barómetro (opcional)            | Barómetro                                   | 500 a 800 mmHg                  | $\pm 3$ mmHg en un rango de temperatura de $\pm 10^\circ\text{C}$ a partir del punto de calibración                                                           | 0,1 mmHg                                       |

#### Especificaciones del grupo electrógeno

| Elemento        | Características                       | Elemento       | Características                           |
|-----------------|---------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|
| Voltaje         | 110 V + 12 V con regulador automático | Dimensiones    | Largo 510 mm, ancho 415 mm, altura 425 mm |
| Alternador      | Sin escobillas                        | Motor          | 182 cc, 1 cilindro, 4 tiempos             |
| Frecuencia      | 50 Hz                                 | Nivel de ruido | 65 dBL a 7 metros                         |
| Depósito        | 12 litros                             | Autonomía      | 8 horas                                   |
| Salida máxima   | 2,8 kVA                               | Peso           | 42 Kg                                     |
| Salida continua | 2,5 kVA                               |                |                                           |



## VIII: Perfil constructivo de las perforaciones

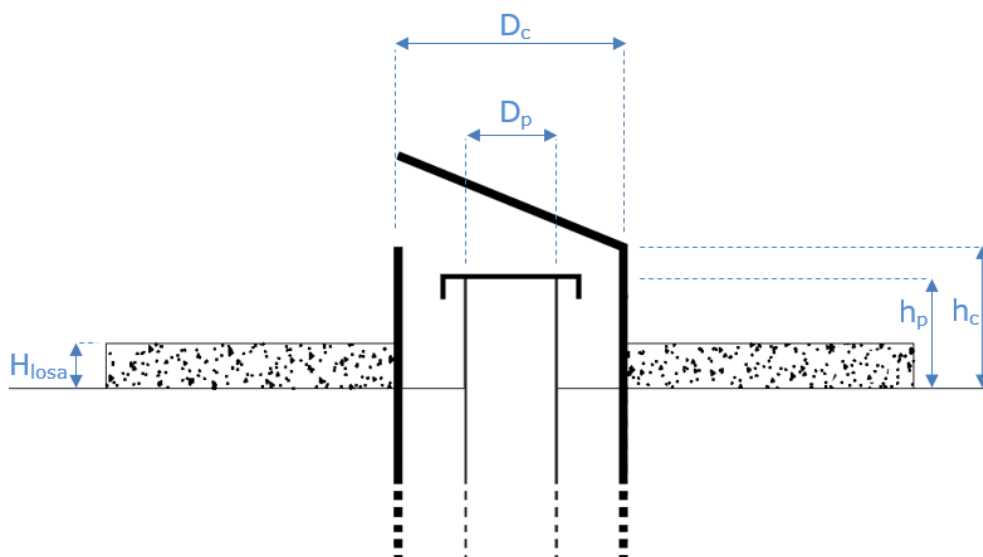
Las perforaciones realizadas se ejecutaron según criterios de construcción de pozos de monitoreo de agua subterránea basados en la norma ASTM D5092, en ubicaciones definidas previamente por las gerencias de exploración y medio ambiente de la empresa minera. Las ubicaciones escogidas mantuvieron estrecho vínculo con la ubicación de las distintas componentes del proyecto extractivo y productivo.

El diseño de cada perforación varió en su profundidad, pero mantuvo en común los siguientes elementos: perforación de 6" de diámetro con entubado de PVC de 63 o 90 mm y tramos de filtro de 12 a 18 metros medidos desde la base con tubería ranurada de 1 mm de ancho de rendija y tapa ciega de fondo.

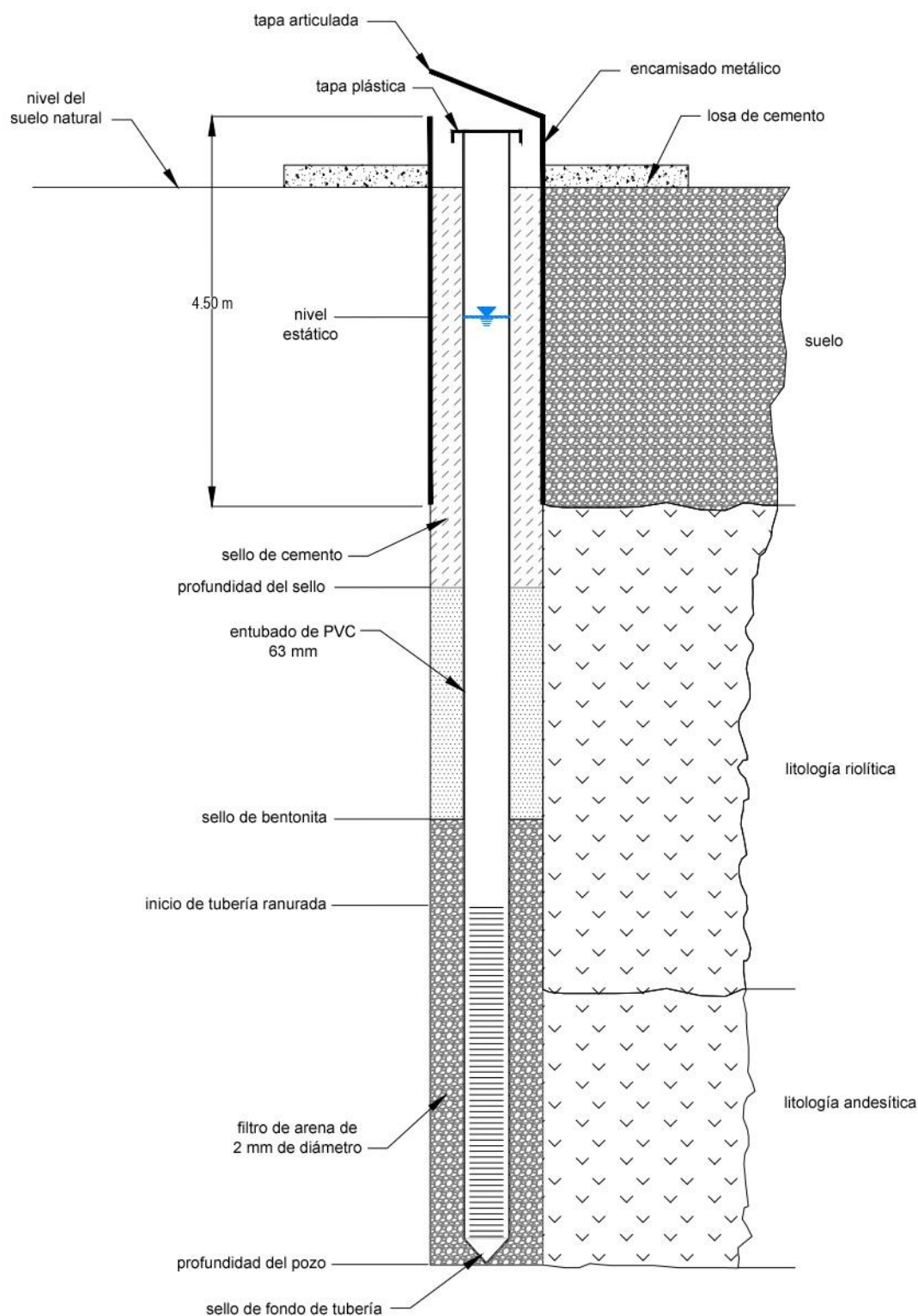
En el sector superior y con altura variable se instaló camisa metálica de la cual se fijó un anclaje para una tapa de seguridad metálica. La tubería plástica en la boca de pozo contaba con tapa plástica removible.

El espacio anular entre la perforación y la tubería fue rellenado con prefiltro de grava fina sub-redondeada de 2 a 5 mm de diámetro de grano hasta una altura de 2 metros por encima del límite superior del filtro, luego de eso se aplicó un sello de bentonita de espesor variable y finalmente una lechada de cemento para completar hasta el nivel del terreno.

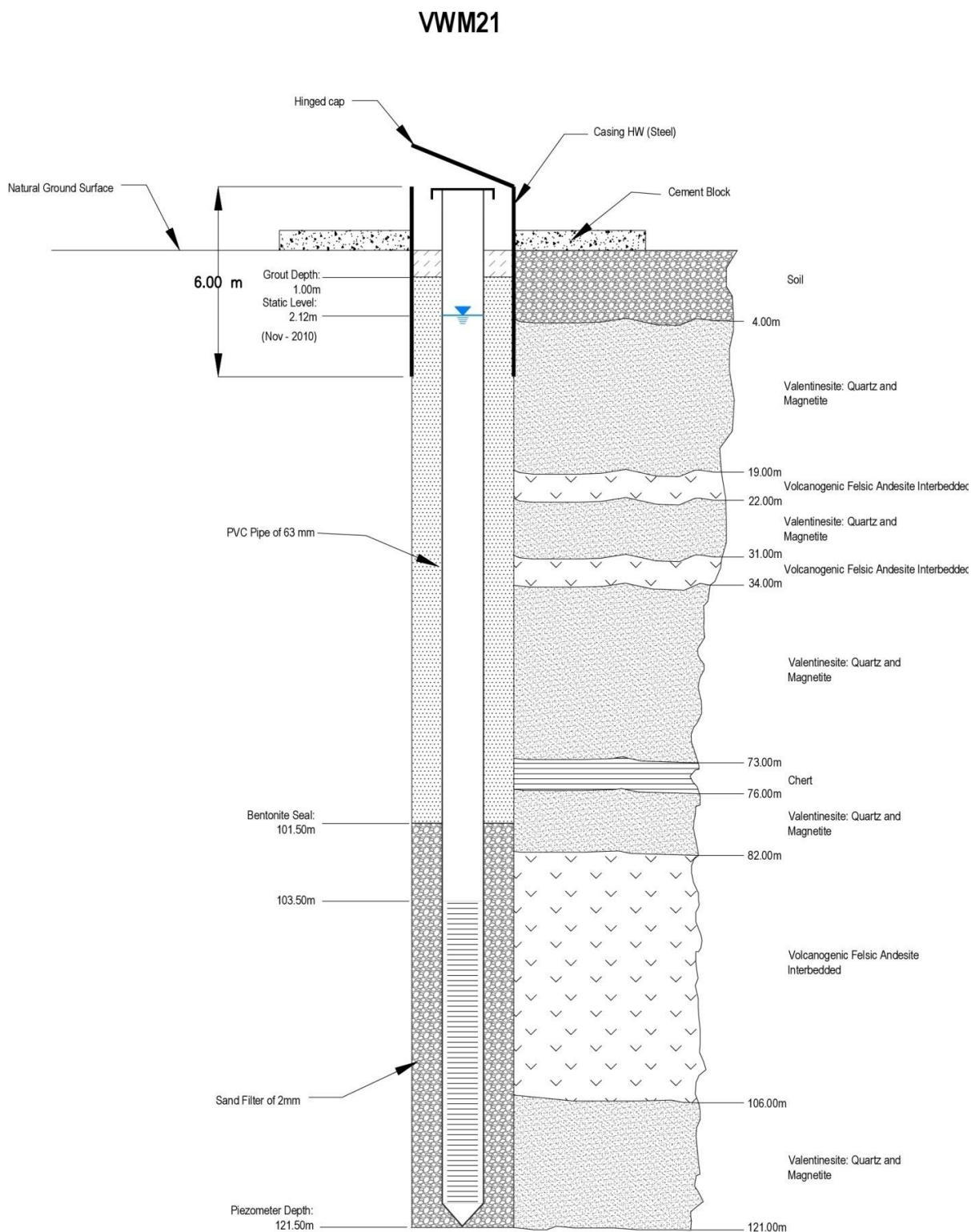
De acuerdo a metodología hidrogeológica, al final de la instalación de cada perforación se inyectó aire comprimido para remover residuos de fluidos de perforación y sedimentos para favorecer su desarrollo hidráulico.



Perfil esquemático de la distribución de elementos de la cabeza de pozo. Referencias:  $D_c$  - diámetro encamisado;  $D_p$  - diámetro entubado;  $h_c$  - altura de la camisa respecto al nivel de terreno;  $h_p$  - altura del entubado respecto al nivel de terreno;  $H_{losa}$  - altura de la losa de protección.



Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)

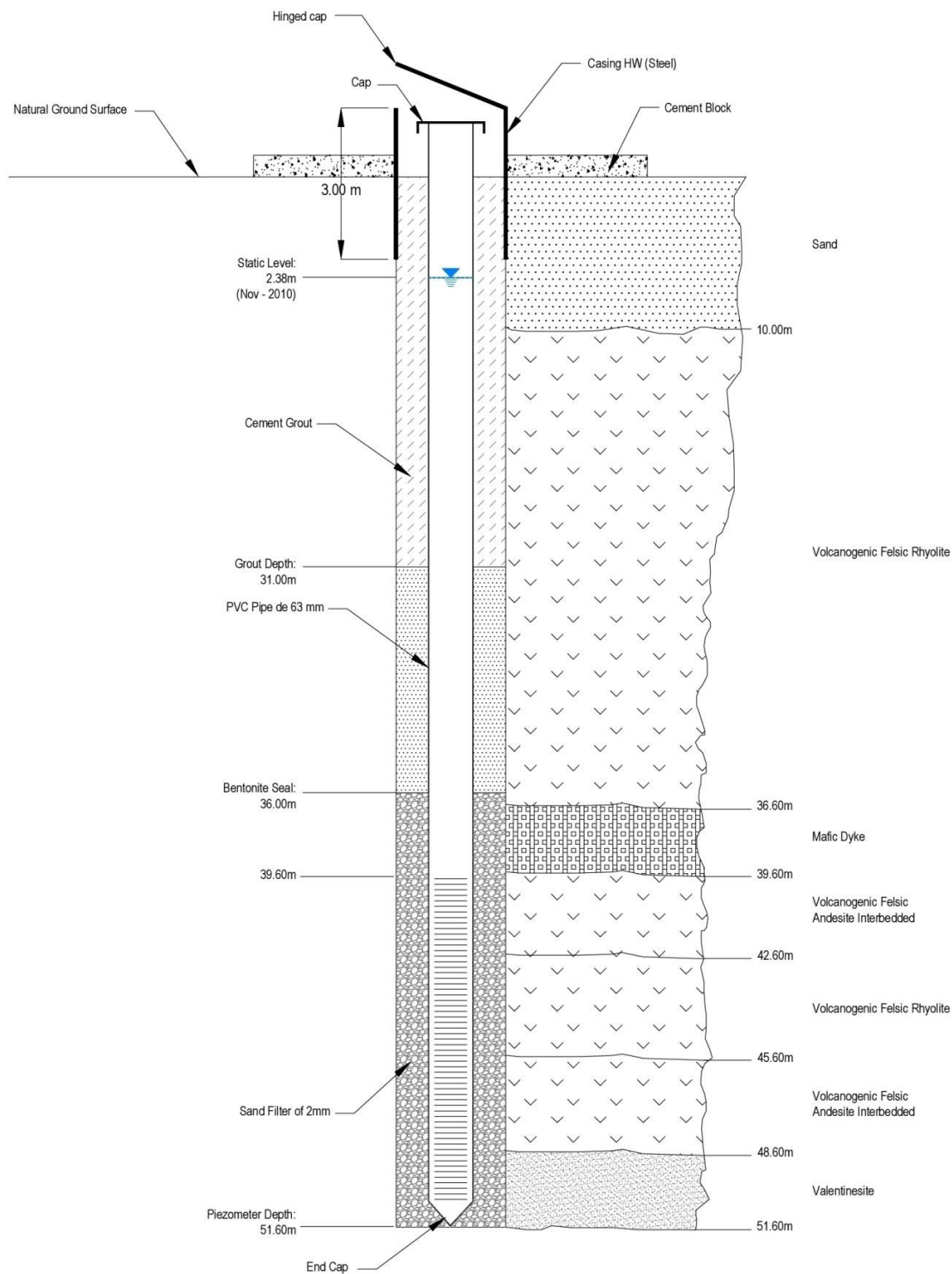


## DEEP MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)

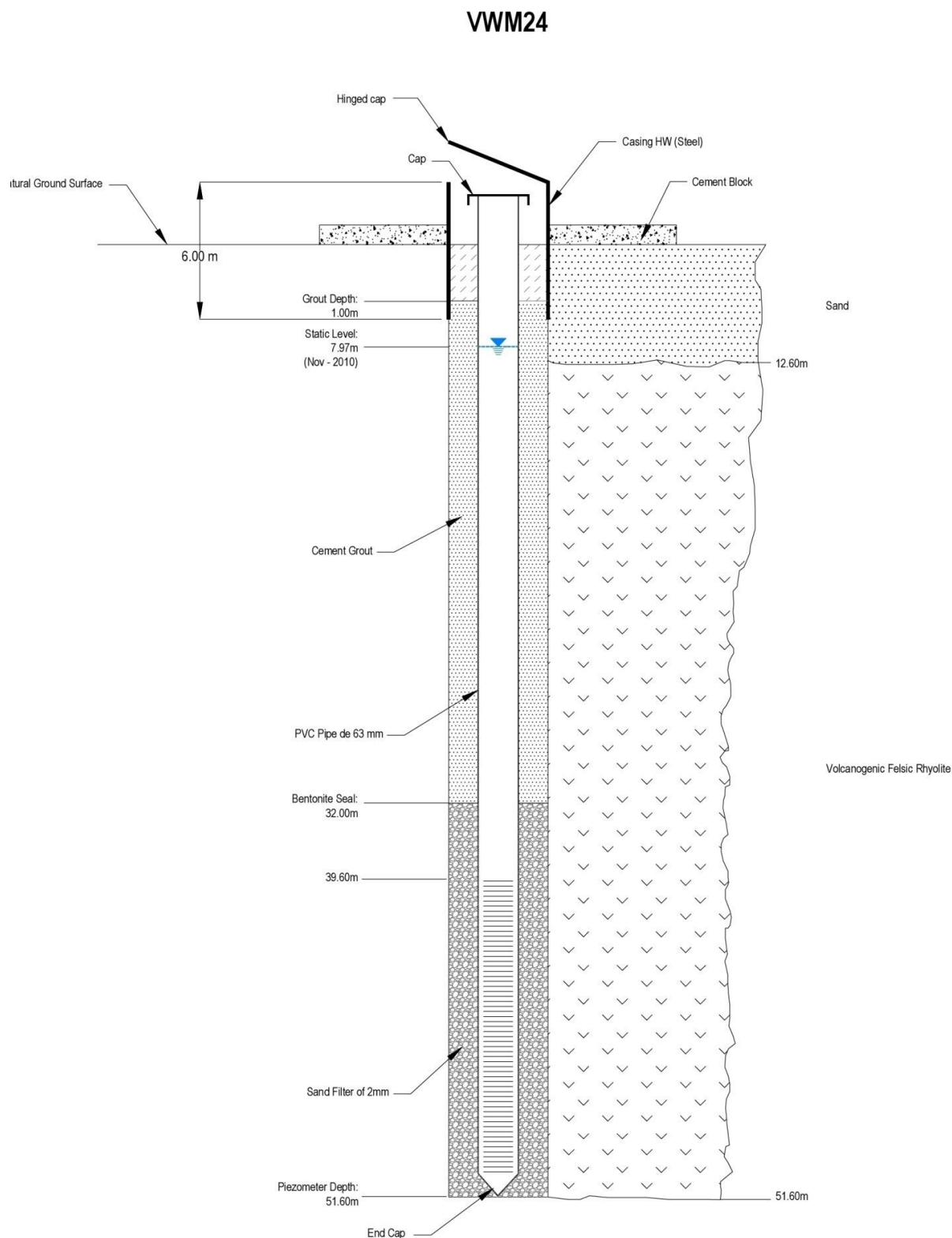


## VWM23



## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)

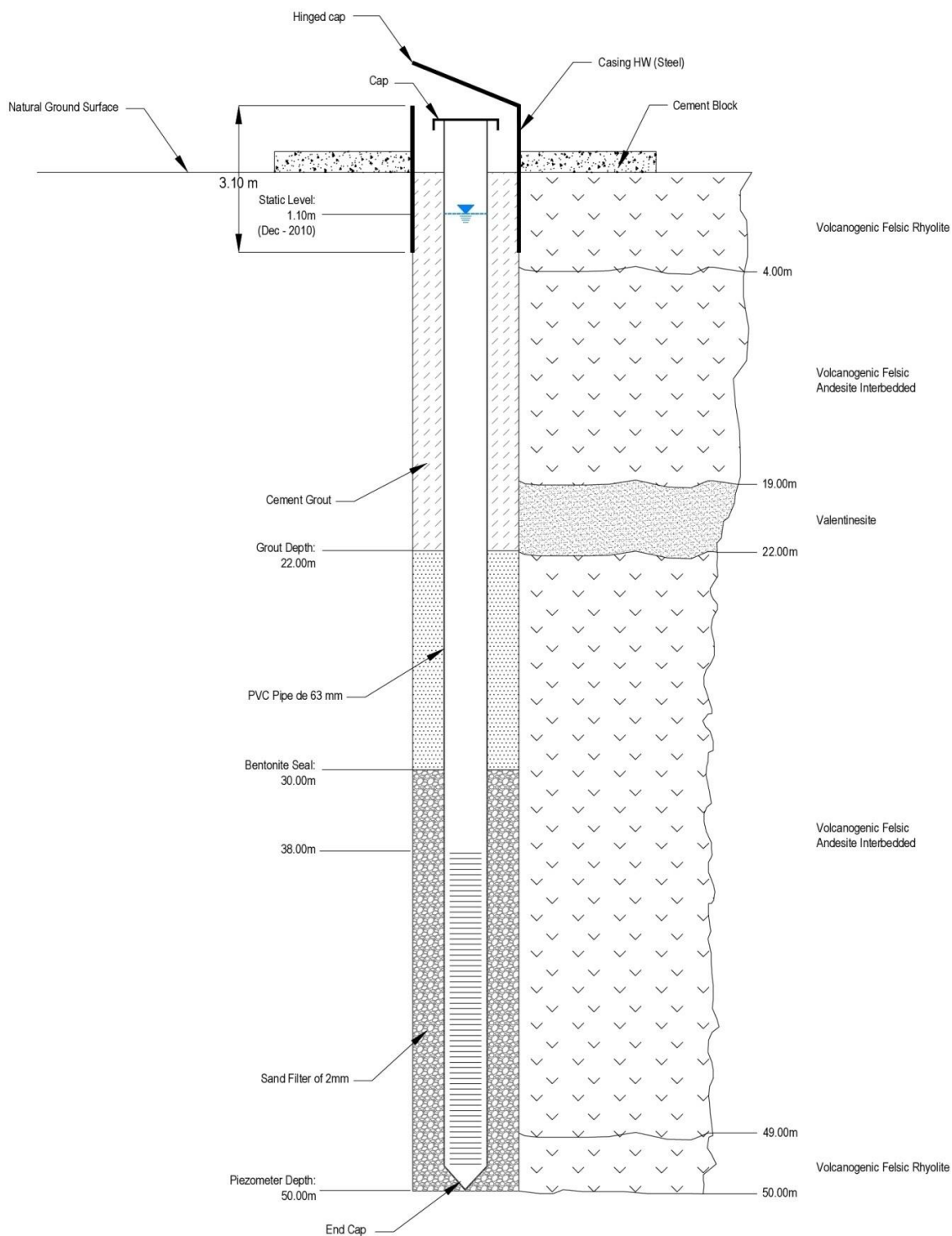


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## VWM29

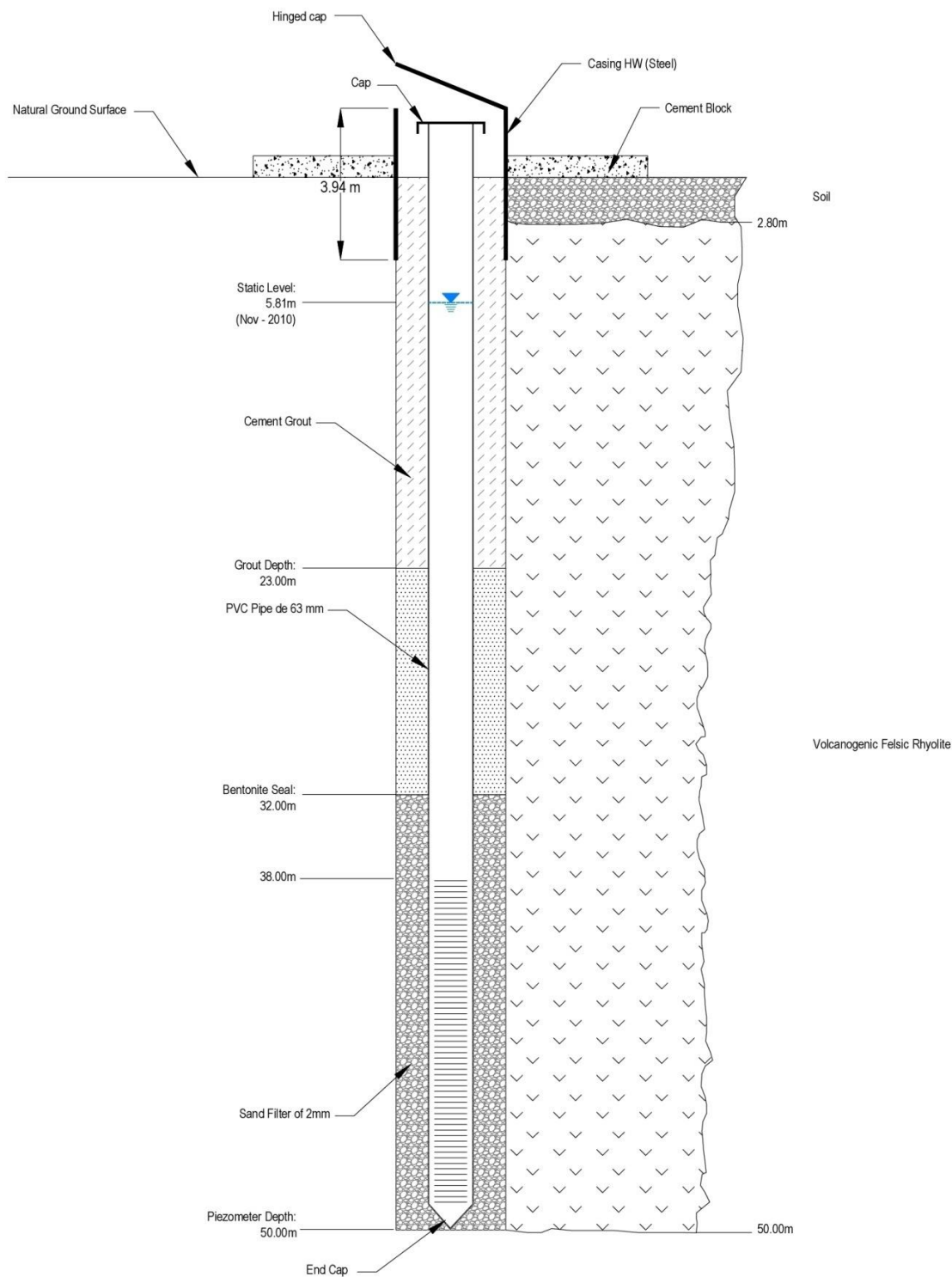


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## VWM34

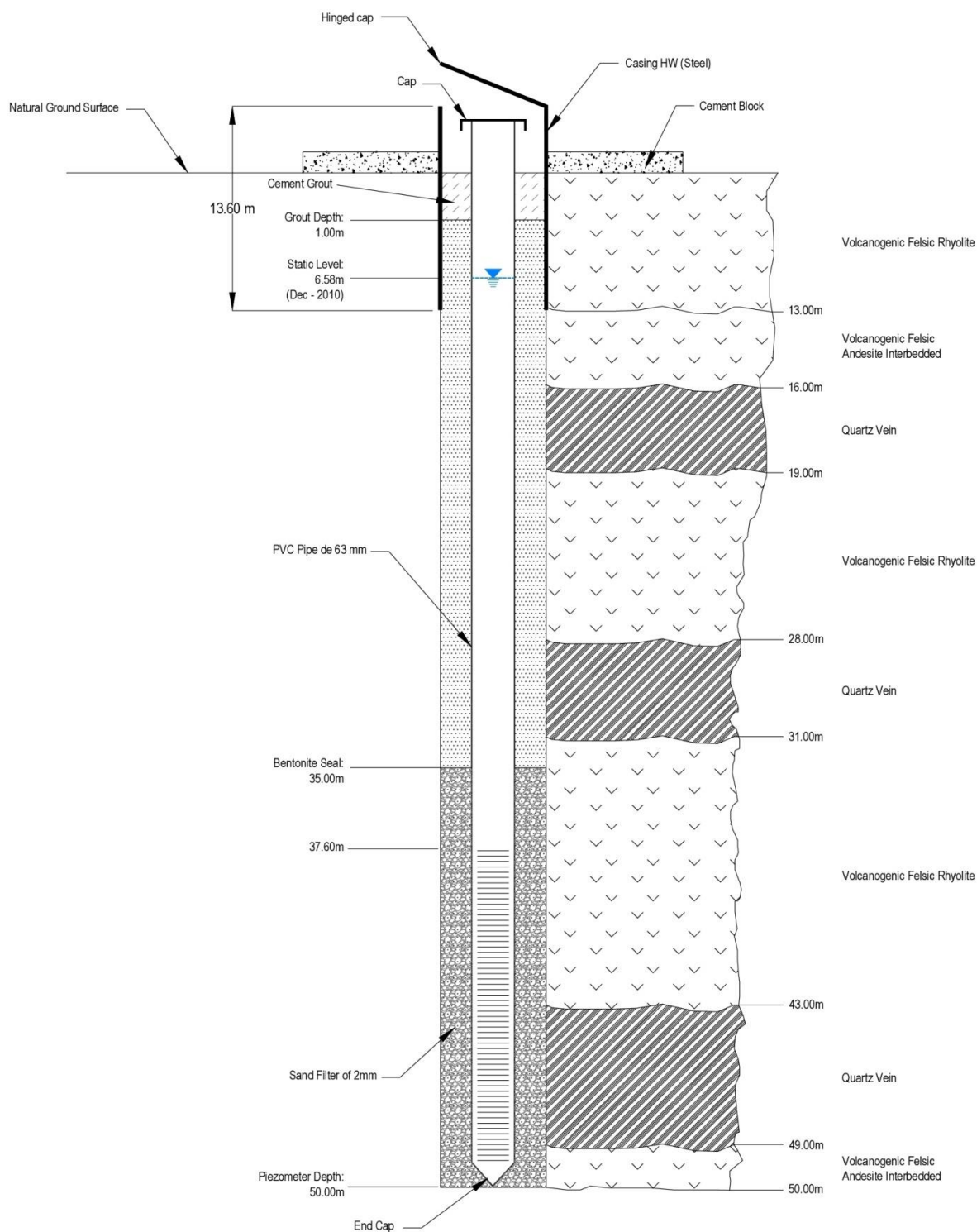


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## VWM37

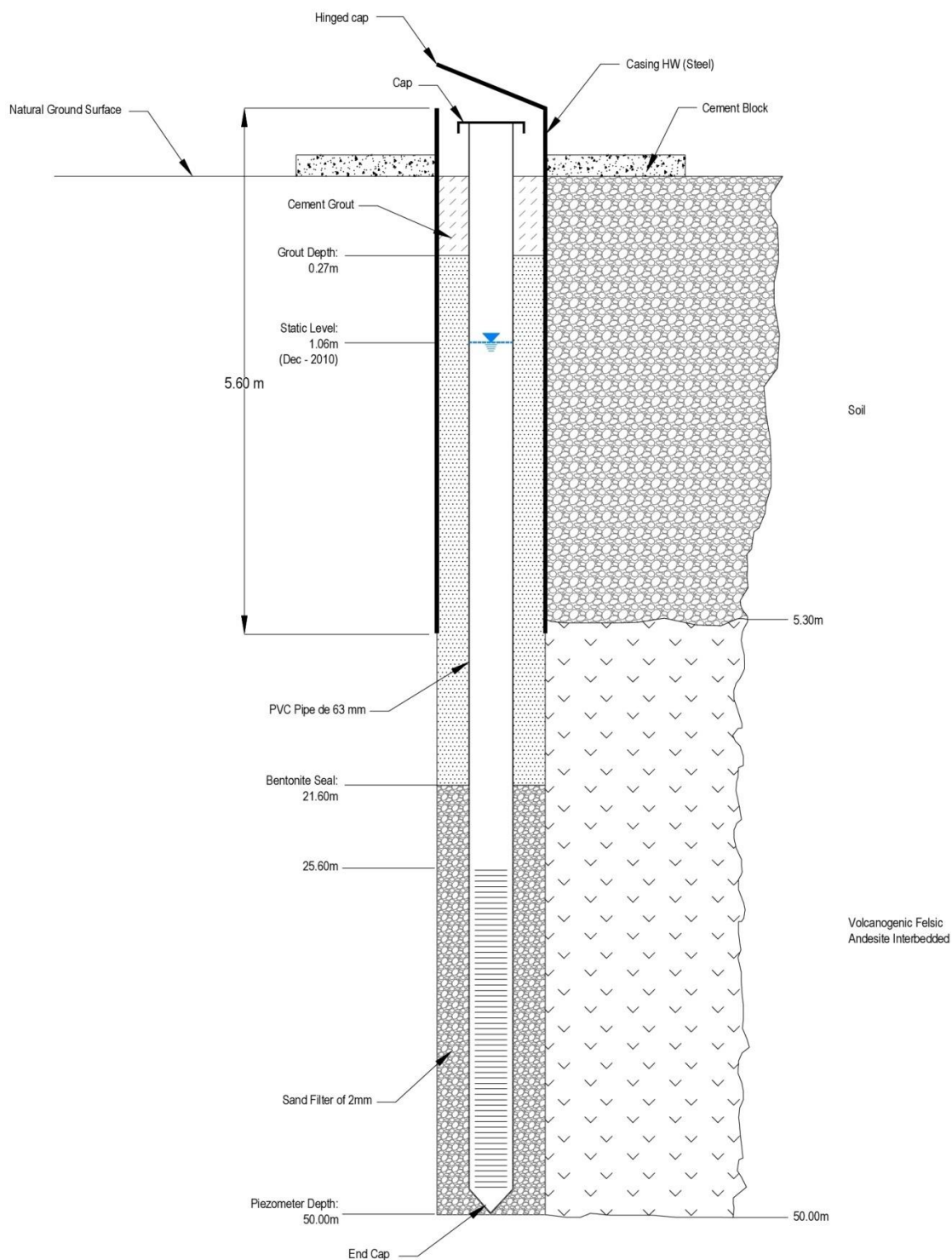


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## VWM38

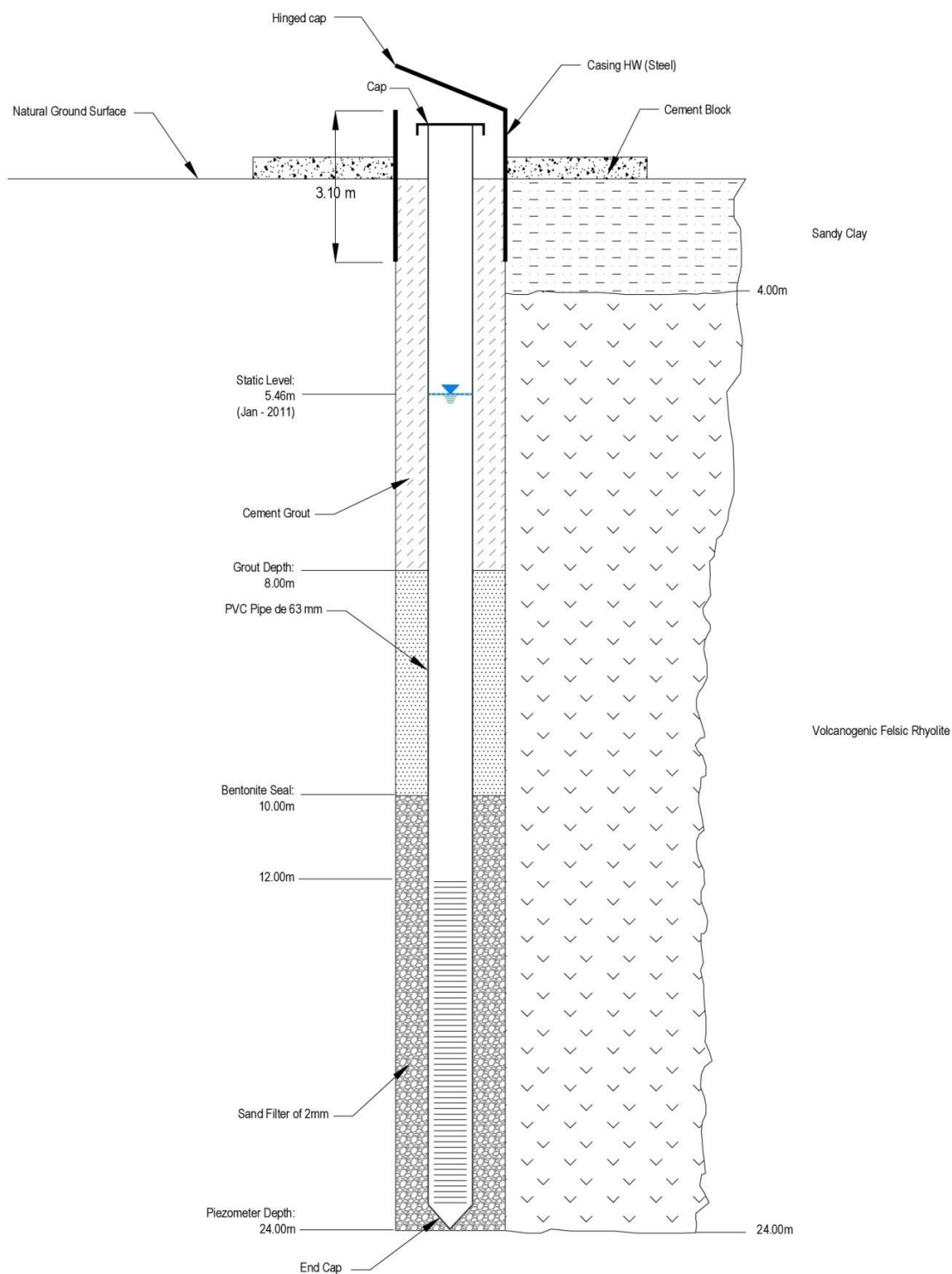


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## MPS10

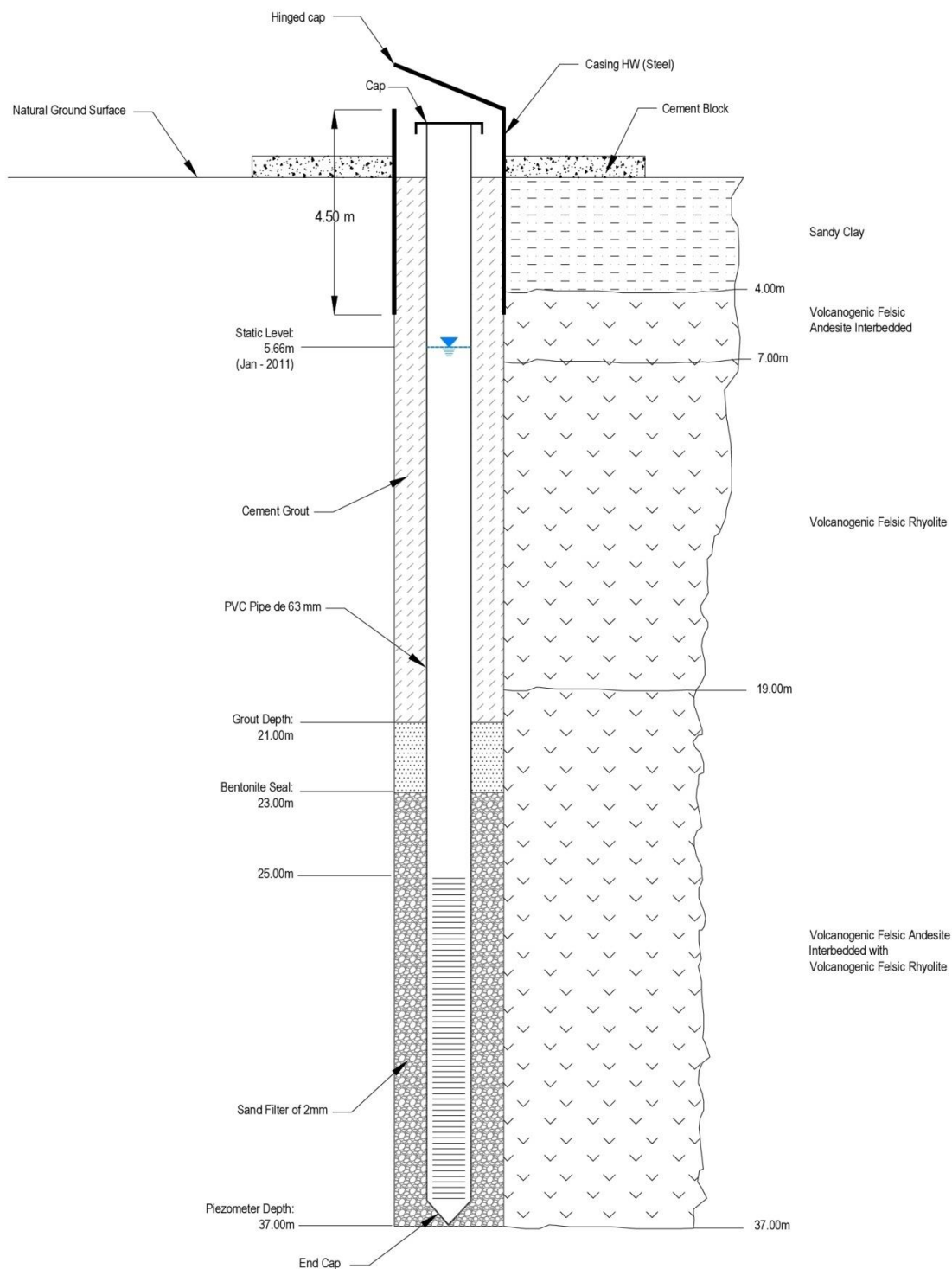


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## MPS11

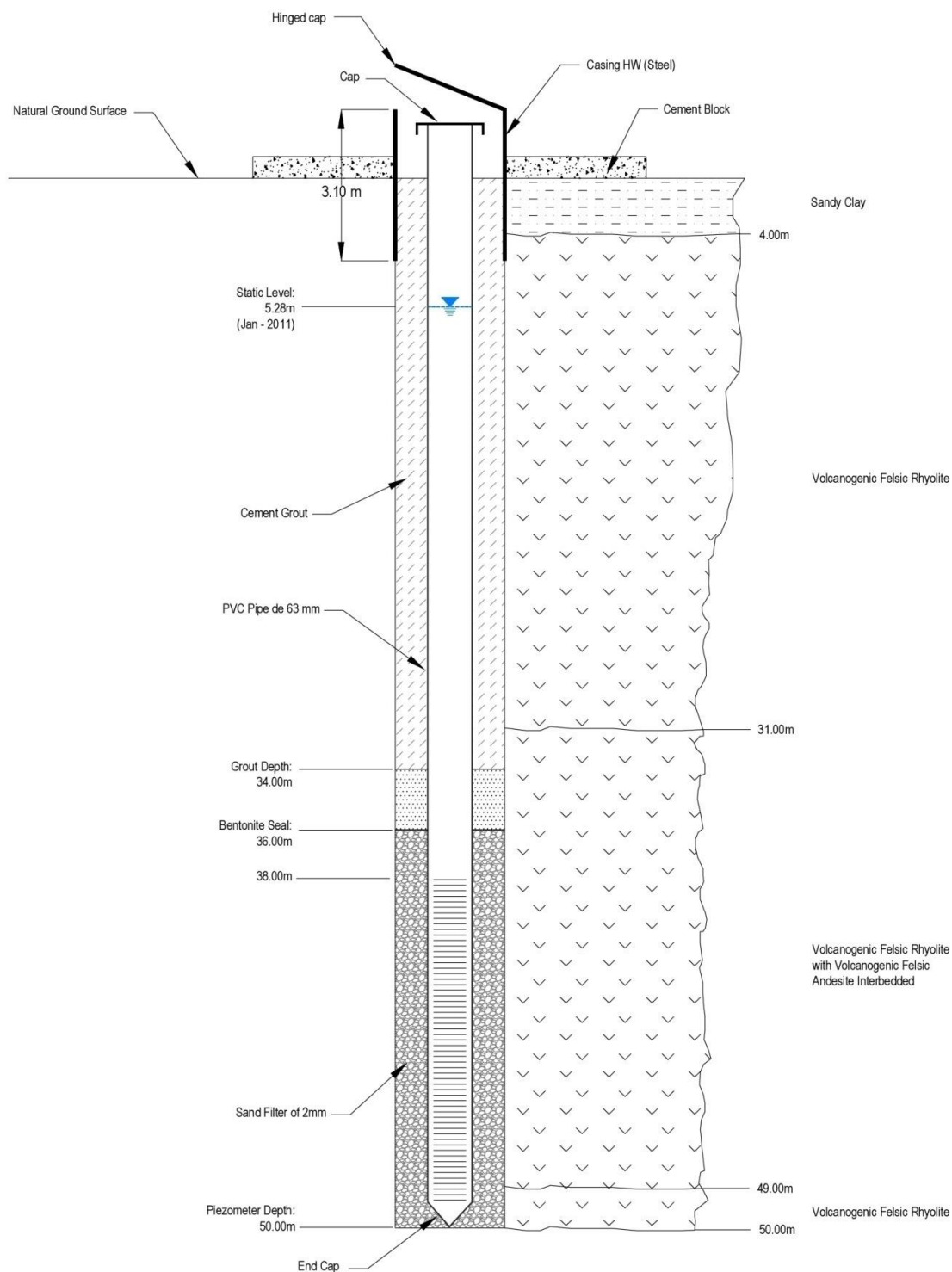


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## MPS12

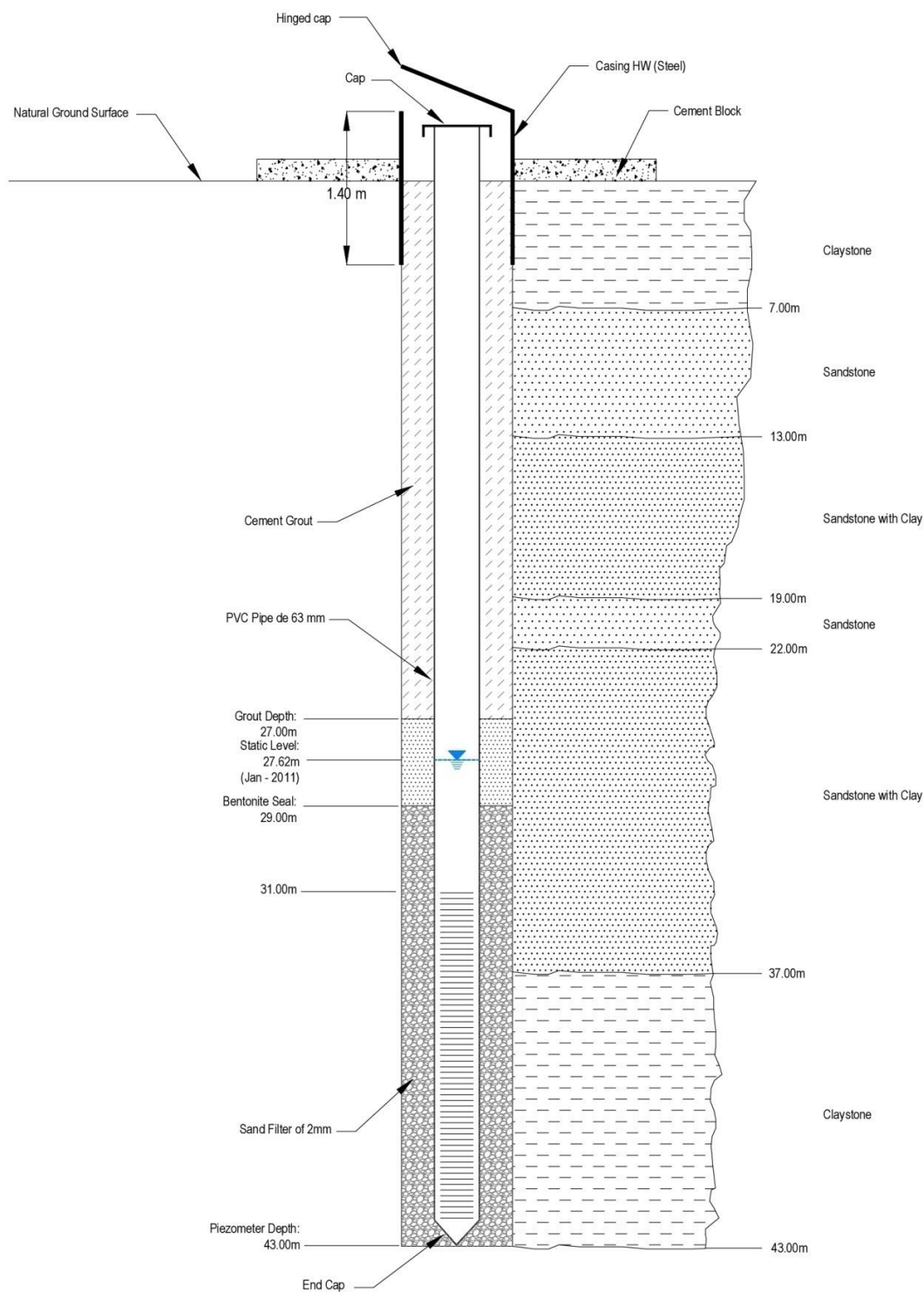


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## MPS30

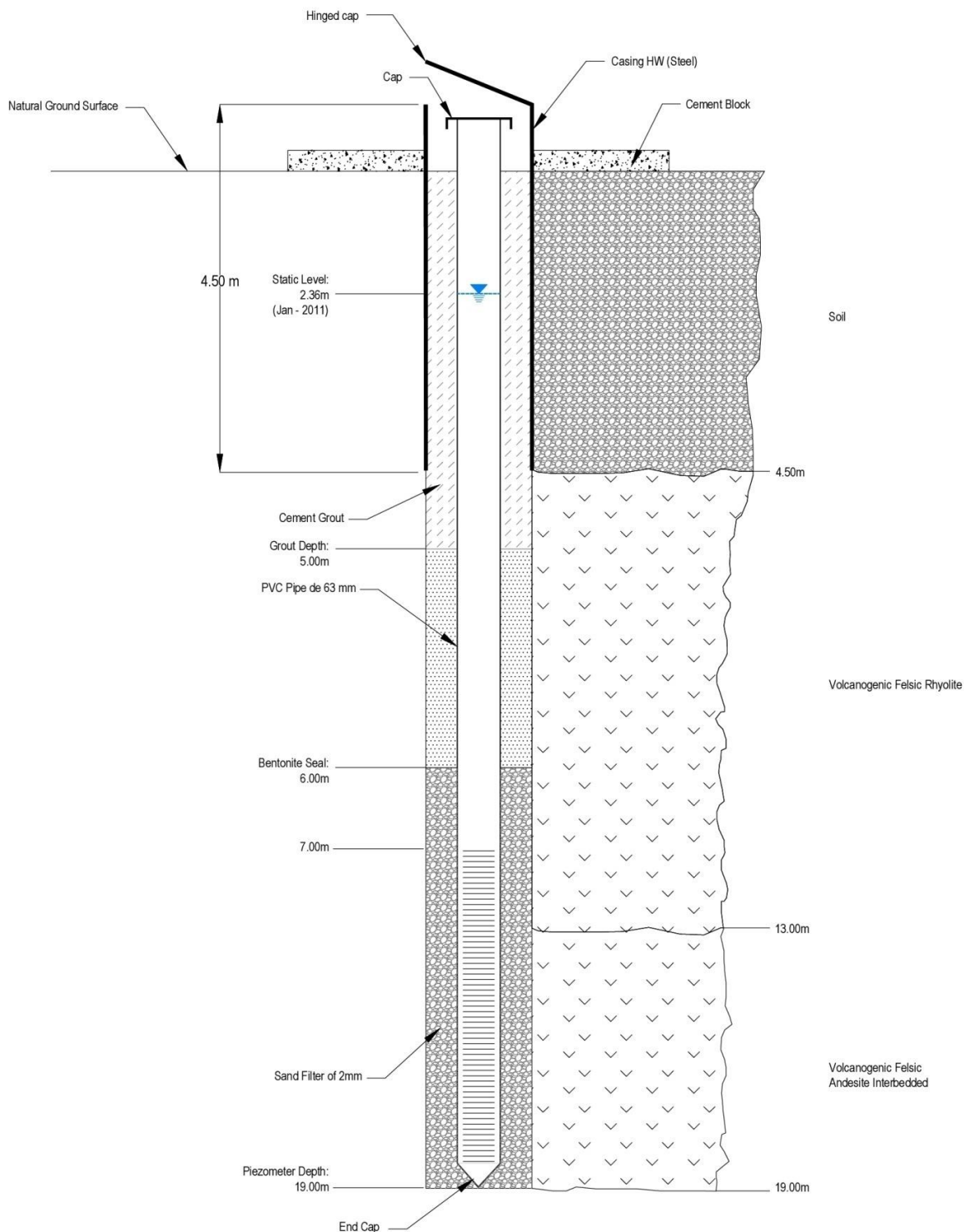


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## MPS31

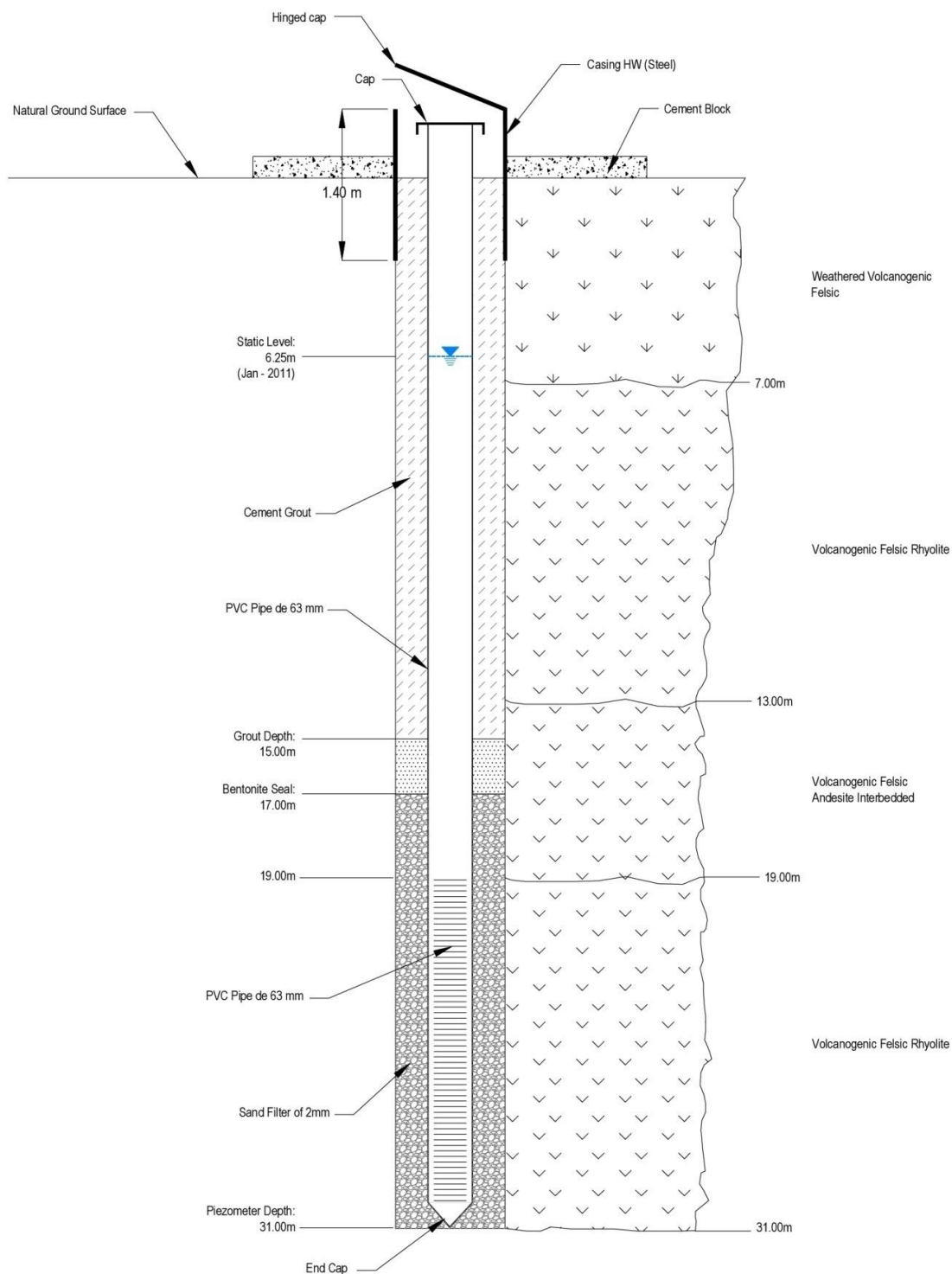


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## MPS33

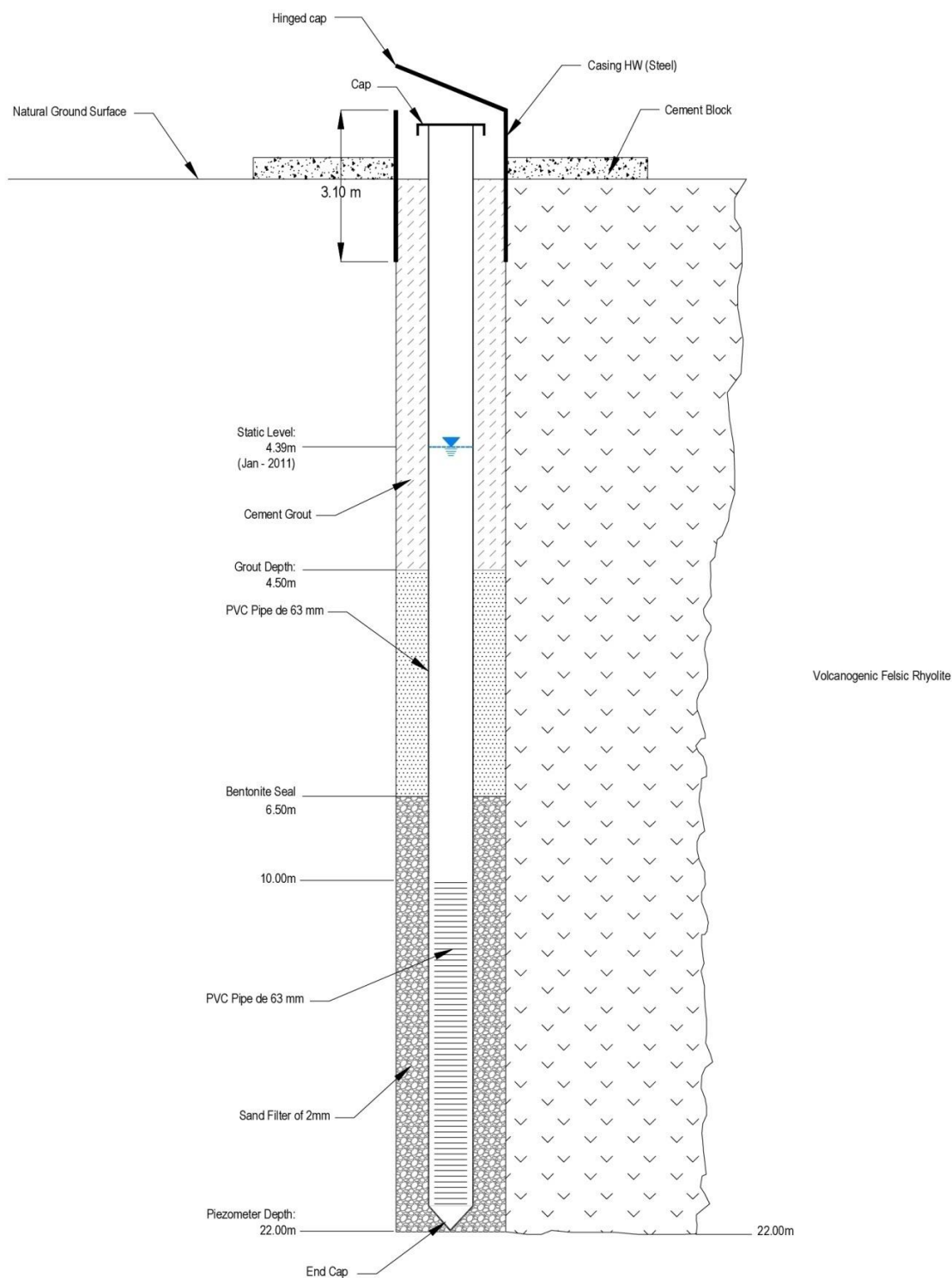


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## MPS35

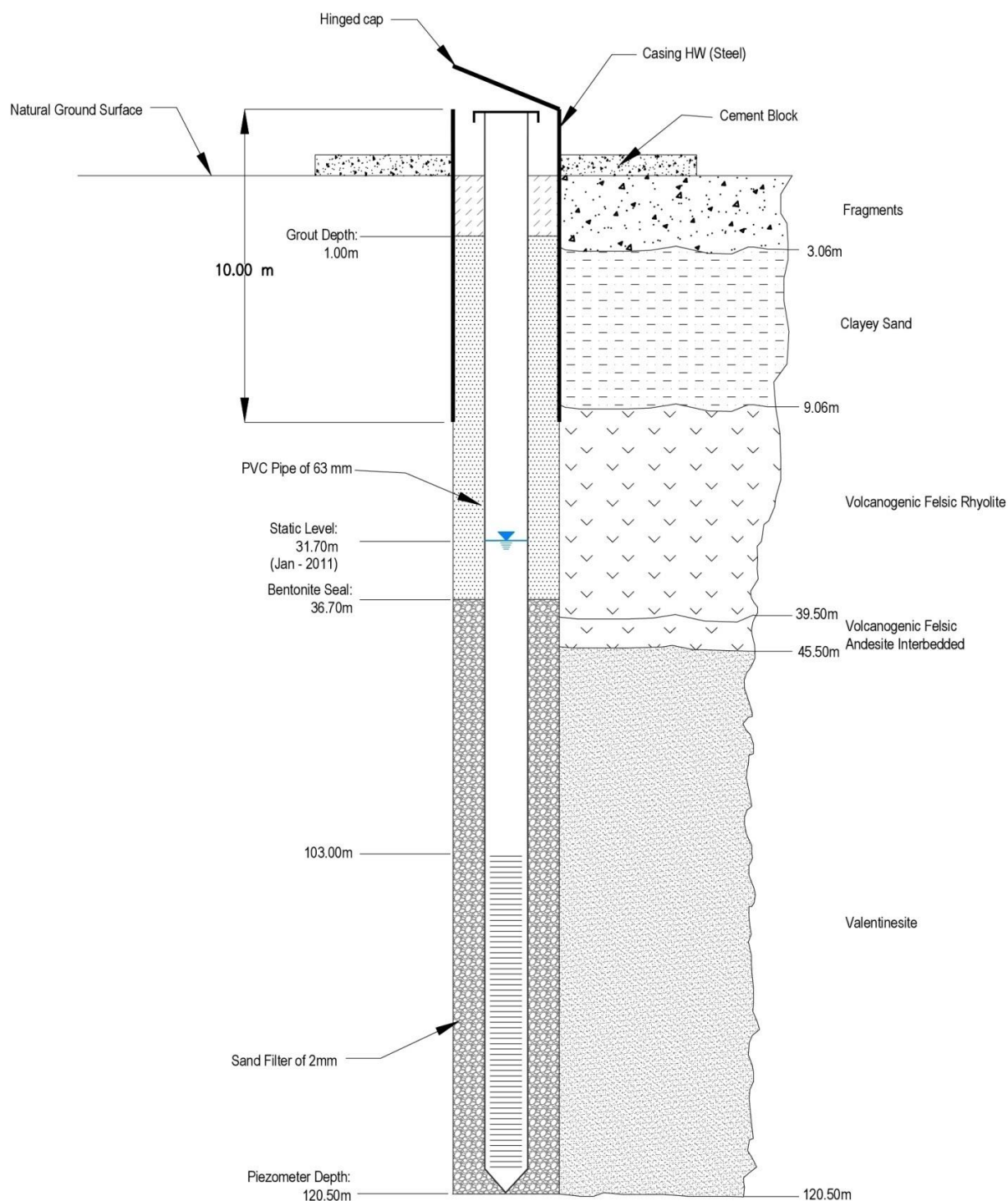


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## LPWM03

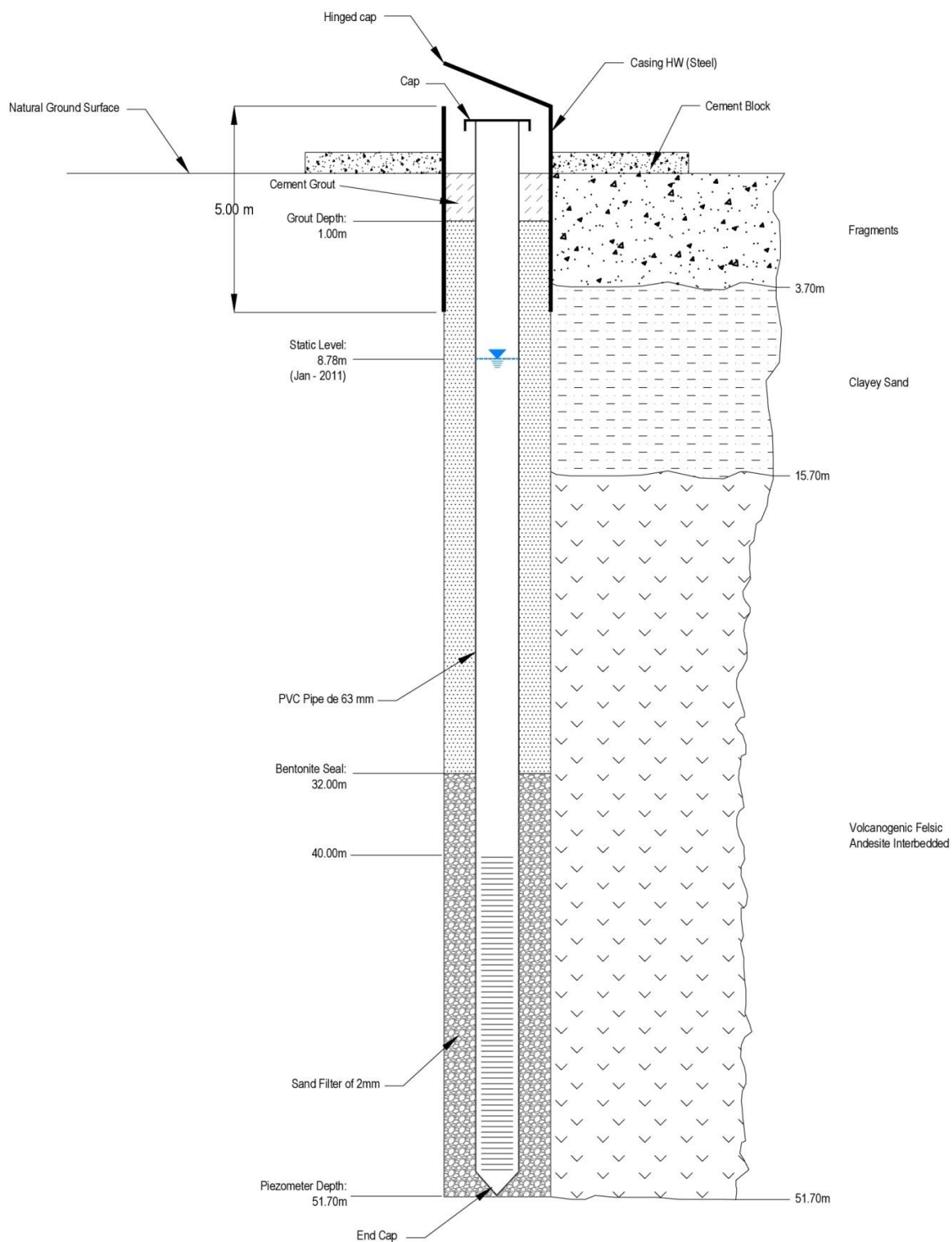


## DEEP MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## LPWM04

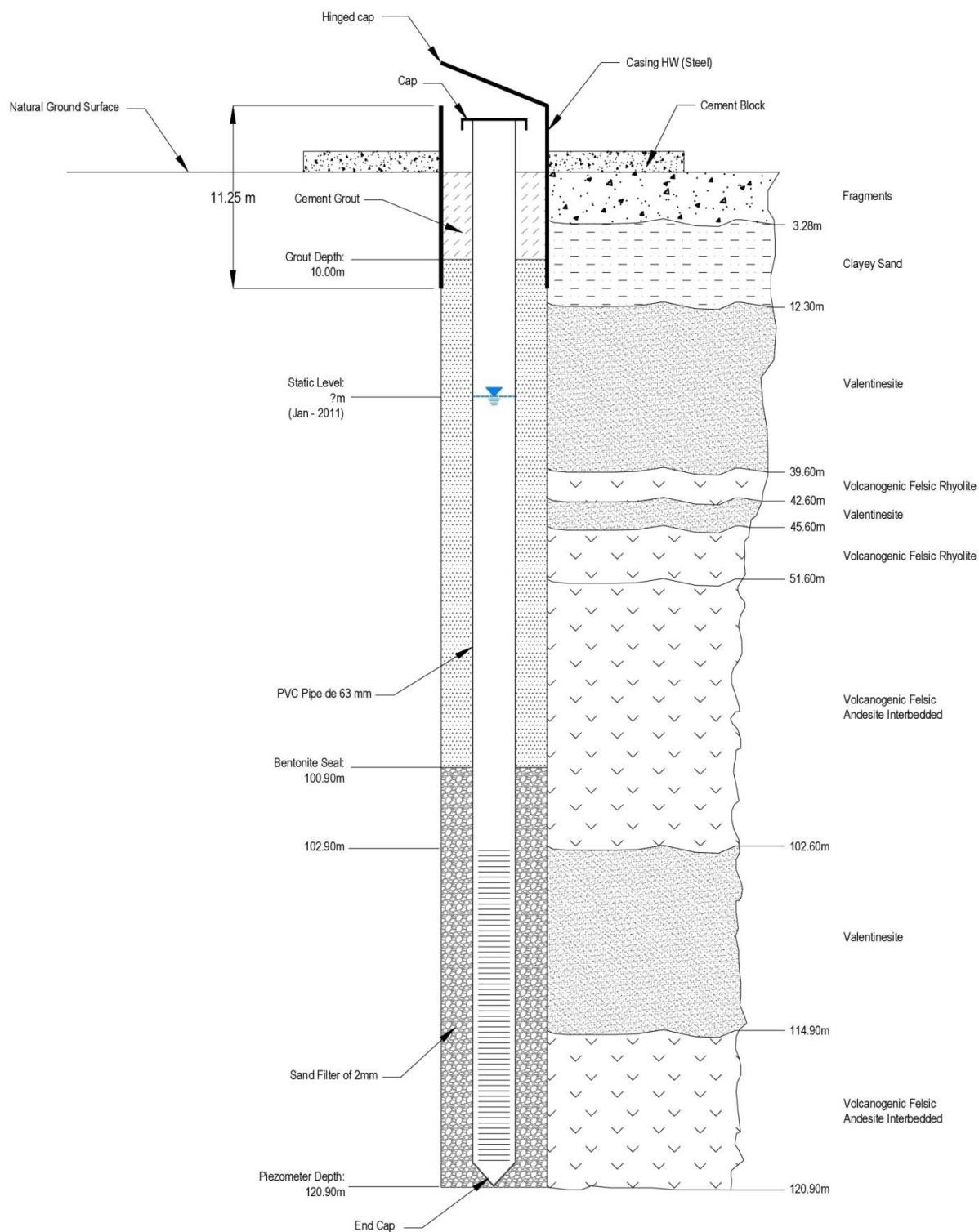


## SHALLOW MONITORING BORE

Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)



## LPWM06



Adaptado de Proyecto Valentines, Anexo F, estudio de línea de base – agua. Minera Aratirí (2011)