



**DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE
CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS TRAZA EN
LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LOS
ALREDEDORES DE LA CIUDAD DE YOUNG
(RÍO NEGRO – URUGUAY)**

**NATALIA CABRERA LABORDE
TUTORA: DRA. ELENA PEEL
CO-TUTORA: LIC. XIMENA LACUÉS**

**TRABAJO FINAL
LICENCIATURA EN GEOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS – UDELAR
2020**

Agradecimientos

A mi tutora Dra. Elena Peel y co-tutora Lic. Ximena Lacués por el apoyo, la paciencia, por los consejos brindados y por ayudarme a materializar las ideas de modo de darle forma a este trabajo y hacer posible que saliera adelante.

A A. Manganelli y R. Carrión que de manera desinteresada escucharon mis dudas, me aconsejaron y mostraron mis errores para así modificarlos.

A Esteban Abelenda, Valentina Riberio y Hugo Bonjour, mi grupo de estudio, con los que vivimos días de locura, nervios, estrés, cansancio pero también días muy divertidos e inolvidables.

A las instituciones estatales (OSE, DINAGUA, DINAMIGE) por proporcionarme los datos de sus pozos y, a los ciudadanos, empresas e industrias de Young que muy amablemente accedieron a permitirme sacar muestras y a realizar medidas de sus perforaciones. Información necesaria para la realización de este trabajo.

Y por último y no por ello menos importante, a mi familia, a mi esposo Juan Pablo, a Fede, a Agus que viene en camino, y a mis amigas/os que de una u otra forma estuvieron ahí, aguantando plantones, ayudando y alentándome para finalizar esta tesis.

A todos, ¡muchas gracias!

Resumen

En Uruguay en los últimos años se ha puesto especial atención en el contenido de arsénico en aguas subterráneas; sin embargo, los estudios han sido parciales, sin tomar en cuenta otros elementos trazas nocivos. Por lo que la presente investigación propone la realización de un estudio hidrogeoquímico de los niveles de concentración de 13 elementos trazas (As, B, Ba, Cl, F, Ge, Li, S, Sc, Si, Sr, U y V) en las aguas subterráneas de los alrededores de la ciudad de Young en el departamento de Río Negro - Uruguay. Para ello se realizó medidas de niveles piezométricos y de parámetros fisicoquímicos in situ (conductividad, pH y temperatura) de un total de 19 perforaciones, de las que se analizaron 11 muestras de agua en el Laboratorio *Bureau Veritas* de Canadá para estudiar elementos mayores y trazas. Una vez obtenidos los resultados, se interpretaron junto a los datos proporcionados por instituciones estatales (OSE – Obras Sanitarias del Estado, DINAGUA – Dirección Nacional de Aguas y DINAMIGE – Dirección Nacional de Minería y Geología) de manera tal de comenzar un registro para la región. Es a partir de estos resultados que se clasifica el agua subterránea como bicarbonatada cálcica y eventualmente como bicarbonatada sódica. El valor promedio de temperatura de dichas aguas es de 15.05°C, su pH promedio es de 7.4 donde los valores más altos se ubican en la zona sur – oeste del área de estudio. La conductividad eléctrica promedio es de 764.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, encontrándose en la parte central del área los valores más altos. En relación con la dureza, el agua se caracteriza por ser dura con valores mayores a 180 mg/L de CaCO_3 . Los niveles de concentración de 11 de los elementos trazas estudiados se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma UNIT 833:2008 (Norma de calidad de agua potable - OSE), OMS (Organización Mundial de la Salud), y EPA (United States Environmental Protection Agency). Sin embargo, se observa valores por encima de los establecidos en las normas en el caso del arsénico y bario. Finalmente, se sugiere un origen geogénico para los elementos traza determinados en las aguas del Acuífero Mercedes en el área de estudio. Esto se basa en los valores presentados por estos elementos, junto con el factor de enriquecimiento en relación con las aguas superficiales, y a los

tenores promedio presentados por las litologías tipo (granitos, basaltos, y sedimentos limo-arcillosos) asociadas al acuífero.

1. Contenido

Agradecimientos.....	2
Resumen.....	3
1. Introducción.....	7
1.1. Objetivos	8
1.1.1. General.....	8
1.1.2. Específicos.....	8
1.2. Incidencia de algunos elementos químicos en la salud humana	8
1.3. Normativa uruguaya vigente	14
2. Área de estudio	17
3. Metodología Aplicada.....	18
4. Antecedentes Geológicos.....	25
4.1. Contexto Geológico del Área de estudio	25
4.1.1. Formación Guichón (Cretácico Inferior)	27
4.1.2. Formación Mercedes (Cretácico Superior).....	29
4.1.3. Formación Fray Bentos (Oligoceno tardío)	36
5. Antecedentes Hidrogeológicos	38
5.1. Hidrogeología Regional.....	38
5.2. Hidrogeología Local.....	41
6. Resultados y Discusión	42
6.1. Geología del área de estudio.....	42
6.2. Características de las perforaciones del área de estudio	43
6.3. pH, Conductividad Eléctrica y Temperatura.....	45
6.4. Piezometría.....	49
6.5. Hidrogeoquímica.....	52
6.5.1. Control de calidad de los resultados analíticos	52
6.5.2. Estadística descriptiva de los resultados analíticos.....	53
6.5.3. Factor de enriquecimiento composicional	58
6.5.4. Componentes mayores	60
6.5.5. Dureza.....	62
6.5.6. Elementos trazas	64
7. Conclusiones.....	78
8. Referencias.....	80

8.1. Bibliográficas.....	80
8.2. Normativa.....	85
Anexo 1.....	86
Anexo 2.....	89
Anexo 3.....	102

1. Introducción

El agua es un recurso natural único, escaso y esencial para la vida. A pesar de ser la sustancia más frecuente en la Tierra, sólo el 2,5% del total es agua dulce, el resto es agua salada, por lo que los recursos de agua dulce utilizable equivaldrían al 0,1% del agua del planeta (Shiklomanov *et al.*, 2003). Una fuente importante de esa agua dulce proviene de las aguas subterráneas; la misma es utilizada por el hombre tanto para la agricultura como para la industria, minería y uso doméstico. Las actividades generadas por el hombre también inciden en las aguas subterráneas, pudiendo cambiar así su composición. De acuerdo a los niveles de concentración de algunos elementos químicos es que se establecen los usos del agua, por ejemplo, para consumo ésta tiene valores de concentración más restringidos que el estándar para el uso en agricultura. A medida que la población crece, también lo hace el consumo de esa agua *per cápita*.

Es mediante la ingestión de agua de consumo que la población se encuentra expuesta a la presencia o no de concentraciones variables de estos elementos trazas. Debido a que muchos de ellos presentan densidades mayores a 5 g/cm³, conocidos como metales pesados, no son biodegradables (Mesa *et al.*, 2007), por lo que se acumulan en la naturaleza produciendo alteraciones.

En Uruguay en los últimos años, se ha puesto especial atención en el contenido de elementos trazas. Estudios realizados en referencia a la ingesta de dichos elementos señalan que los mismos producen síntomas y enfermedades graves, lo que determinó un cambio en el umbral máximo permitido en su concentración (e.g. Manganelli *et al.*, 2007; Falchi *et al.*, 2018).

Guerequiz *et al.* (2006), Manganelli *et al.* (2007), Goso *et al.* (2008), Mañay *et al.* (2011; 2013), Torres *et al.* (2015), y Abelenda (2016) han realizado estudios de arsénico en agua subterránea de acuíferos tales como Raigón, Mercedes, y Salto, y relacionaron su origen con la presencia de cenizas volcánicas en los sedimentos. Sin embargo, estos estudios no han tomado en cuenta otros elementos trazas nocivos. Por lo que la presente investigación propone la realización de un estudio hidrogeoquímico para determinar los niveles de

concentración de elementos trazas en las aguas subterráneas de los alrededores de la ciudad de Young en el departamento de Río Negro - Uruguay.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Determinar e interpretar los niveles de concentración de elementos trazas presentes en el agua subterránea del Acuífero Mercedes en los alrededores de la ciudad de Young. De esta manera se pretende comenzar con un registro para la región.

1.1.2. Específicos

- Elaborar a partir de la información disponible hasta el momento una base de datos químicos e hidrogeológicos, que será empleada para la selección de los pozos de estudio.
- Obtener los valores de nivel estático y la concentración de elementos traza de las perforaciones seleccionadas.
- Realizar un mapa piezométrico del Acuífero Mercedes a escala 1:50.000.
- Identificar si hay zonas dentro del acuífero donde los niveles de concentración de los elementos trazas sean elevados.

1.2. Incidencia de algunos elementos químicos en la salud humana

Si bien este trabajo está realizado con una visión desde la geología del problema de la calidad de las aguas subterráneas, se entiende pertinente describir de forma general algunos de los problemas que pueden causar en el hombre la presencia de ciertos elementos químicos en las aguas subterráneas. De entre todos los elementos químicos posibles, se ha seleccionado para esta breve descripción a los siguientes elementos: arsénico, flúor, bario, boro, calcio, hierro, selenio, uranio, níquel, zinc y vanadio.

El arsénico (As) es un elemento traza que está presente en las aguas pero en concentraciones bajas. En la naturaleza ocurre en minerales comunes: la arsenopirita (FeAsS), el rejalgar (As_2S_2) y la arsenita (As_2O_3). Algunos compuestos de arsénico tienen aplicaciones industriales y agrícolas, siendo el uso más común en insecticidas, fungicidas, herbicidas y desfoliantes, en la

fabricación del vidrio, pintura entre otros (Bocanegra *et al.*, 2002). Las especies químicas de arsénico H_3AsO_3 , $H_2AsO_4^-$, y $HAsO_4^{2-}$ presentes en aguas naturales son altamente solubles y estables. Si bien el semimetal está presente en todas las especies, el arsénico inorgánico (As^{+3} , arsenito) es el considerado más tóxico en comparación con los arseniatos (As^{+5}). Los arsenitos se encuentran en ambientes reductores y los arseniatos se producen en condiciones oxidantes según Iaquina (2012).

Una vez que el arsénico es absorbido pasa al torrente sanguíneo y es distribuido en los diferentes órganos, depositándose principalmente en el hígado, riñón, corazón, pulmón y piel, así como también en uñas y pelo. Es el consumo continuo y prolongado de agua con altas concentraciones de arsénico que produce complicaciones dermatológicas y viscerales, lo que es denominado HACRE (Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico), considerado cuando las aguas contienen más de 0.5 mg/L de arsénico disódico o más de 0.12 mg/L de arsénico metaloide (Bocanegra *et al.*, 2002).

Asimismo, el flúor (F) es un oligoelemento imprescindible para la formación de huesos y dientes, y su aparición se considera que está ligada a la presencia de altas concentraciones de arsénico (Osicka *et al.*, 2002). Dada la alta reactividad del flúor raramente se lo encuentra en la naturaleza en su forma elemental, sino que se lo halla tanto en su forma iónica como en sus formas orgánicas e inorgánicas. Los principales compuestos fluorados en la naturaleza son el espatofluor (fluoruro de calcio) y la criolita (fluoruro de aluminio y fluoruro de sodio), según Ryczel (2006).

La cantidad de las dosis consumidas de concentraciones de flúor diferencia los efectos beneficiosos de los perniciosos. El fluoruro está normalmente presente en las aguas naturales subterráneas conteniendo 1 mg/L; en concentraciones mayores a 1.5 mg/L se observan manchas en los dientes, con niveles entre 3.0 - 6.0 mg/L puede producirse fluorosis ósea y cuando supera los 10 mg/L puede producirse fluorosis invalidante. Las intoxicaciones crónicas provocadas por la absorción repetida de pequeñas dosis de derivados fluorados se conocen con el

nombre de fluorosis y se refieren al consumo de aguas relativamente ricas en flúor con concentraciones superiores a 2 mg/L (Osicka *et al.*, 2002).

El bario (Ba) es un oligoelemento presente en las rocas ígneas y sedimentarias. Sus compuestos tienen una gran diversidad de aplicaciones industriales, pero el bario presente en el agua proviene principalmente de fuentes naturales. La concentración en el agua de consumo generalmente es inferior a 0.1 mg/L, aunque en agua de consumo procedente de aguas subterráneas se han registrado concentraciones superiores a 1 mg/L. No hay pruebas de que el bario sea cancerígeno o mutágeno. Se ha comprobado que el bario produce nefropatías en animales de laboratorio, pero el criterio de valoración toxicológico que implica un mayor riesgo para las personas parece ser su potencial para causar hipertensión (OMS, 2003).

El boro (B) es un elemento químico no metal cuya abundancia en la corteza ronda las 10 ppm, mientras que en el agua de mar se lo encuentra con una concentración entre 4 – 5 ppm. Se trata de un elemento sublimable que presenta un comportamiento incompatible y muy móvil en la fase acuosa. Existe en pequeñas cantidades en la mayoría de los suelos, en grandes concentraciones es muy tóxico para la vegetación. En la naturaleza hay un número limitado de localidades con concentraciones altas de boro que se asocia a grandes depósitos de minerales evaporíticos y pegmatíticos; los más importantes suelen tener un origen volcánico. El hombre al exponerse a pequeñas cantidades de este elemento puede sufrir irritación de nariz, garganta y ojos. Si absorbiese grandes concentraciones de este elemento químico en un lapso corto mediante el consumo de agua o alimento, podría sufrir daños en los órganos reproductivos, así como infectar el estómago, hígado, riñones y cerebro, pudiendo eventualmente llevar a la muerte (OMS, 2008).

El calcio (Ca) suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos (especialmente en el grupo de las plagioclasas). En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato: CaCO_3 (calcita y aragonito).

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomita) o de sulfato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso) o CaSO_4 (anhidrita).

Custodio & Llamas (1983) señalan que la concentración de Ca^{2+} varía ampliamente en las aguas subterráneas, las concentraciones entre 10 y 250 mg/L son frecuentes en aguas dulces mientras que en aguas de terrenos yesíferos pueden llegar a 600 mg/L y en salmueras de CaCl_2 , hasta 50.000 mg/L. La dureza del agua se debe al contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disueltos. Suele expresarse como cantidad equivalente de carbonato cálcico. El exceso de Ca puede ocasionar osteítis fibrosa, litiasis y cálculos renales (Mora *et al.*, 2000).

El hierro (Fe) es un metal de transición y es el cuarto elemento más abundante de la corteza terrestre. Está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5 a 50 mg/L (Custodio & Llamas, 1983). También puede haber hierro en el agua de consumo debido a la corrosión de tuberías de acero o hierro colado durante la distribución del agua.

Es un elemento vital para el crecimiento y desarrollo del cuerpo humano, está directamente involucrado en la fabricación de hemoglobina, una proteína de los glóbulos rojos que transporta el oxígeno de los pulmones a distintas partes del cuerpo, y la mioglobina, una proteína que provee oxígeno a los músculos (NIH, 2019). Además, el cuerpo también requiere hierro para elaborar hormonas y tejido conectivo. Si bien su ingesta es necesaria, su exceso es perjudicial. Las dosis elevadas de hierro (cientos de mg) pueden causar constipación, náuseas, dolor abdominal, vómito y desmayo. Las dosis extremadamente elevadas de hierro pueden causar falla en el funcionamiento de los órganos, estado de coma, convulsiones y muerte (NIH, 2019).

El selenio (Se) es un elemento químico no metal que se encuentra distribuido en la corteza terrestre en concentraciones entre 0,1 y 2,0 ppm (OMS, 1996). Es un importante micronutriente que causa trastornos tanto por su deficiencia como por su exceso en los seres humanos (NIH, 2019). El selenio es importante para la reproducción, la función de la glándula tiroidea, la producción de ADN y para proteger al cuerpo contra infecciones y el daño causado por los radicales libres. El consumo excesivo de selenio produce caída del cabello o uñas,

adormecimiento de dedos de manos y pies, así como problemas circulatorios, llegando a causar graves problemas, entre ellos, dificultad para respirar, temblores, falla renal, ataque cardíaco e insuficiencia cardíaca (NIH, 2019). Puede ser producto de efluentes de refinerías o minas, o erosión de depósitos naturales.

El uranio (U) es un metal pesado y radiactivo, poco abundante en la corteza terrestre (en promedio 4 ppm). La ingestión de compuestos de uranio solubles en agua puede generar mayor riesgo de padecer cáncer, pero fundamentalmente afecta a los riñones (OMS, 2008). El uranio puede ser liberado al ambiente por la meteorización de depósitos naturales. Se puede encontrar uranio en el agua potable; niveles más altos tienden a ocurrir en pozos excavados en formaciones rocosas ricas en uranio.

El níquel (Ni) es un metal de transición, duro, blanco-plateado, de naturaleza siderófila que se combina con otros metales (aleaciones), como el hierro, cobre, cromo y zinc. Muchos de los compuestos de níquel son solubles en agua y tienen un color verde característico. El níquel ocurre en forma natural en la corteza terrestre combinado con otros elementos, se encuentra en todos los suelos y es liberado en la actividad volcánica. En el ambiente se encuentra principalmente combinado con oxígeno o azufre en forma de óxidos o sulfuros. También se encuentra en meteoritos y en el fondo oceánico formando nódulos polimetálicos. Este elemento es liberado a la atmósfera en su extracción en minas y por industrias que fabrican o usan níquel, aleaciones de níquel o compuestos de níquel. Estas industrias también pueden desecharlo en aguas residuales, también es liberado a la atmósfera por plantas de energía que queman petróleo o carbón y por incineradores de basura. Los efectos más graves a la salud que causa la exposición al níquel son bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer de los pulmones y los senos nasales (OMS, 2003).

El zinc (Zn), es un metal de transición, maleable, dúctil y de color gris. Es uno de los elementos menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0.0005 - 0.02%. Los usos más importantes de este elemento los

constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El zinc es un nutriente necesario de los seres humanos. Se encuentra en las células de todo el cuerpo, y ayuda al sistema inmunitario a combatir bacterias y virus que invaden al cuerpo, para la fabricación de proteínas y ADN. El zinc también favorece la cicatrización de las heridas y el funcionamiento normal del sentido del gusto y el olfato (NIH, 2019). El consumo en exceso de zinc puede causar problemas de salud como úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles extremadamente elevados de este elemento pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis.

El vanadio (V), es un metal blando, dúctil y de color blanco brillante. En la corteza terrestre ocupa el lugar 22 entre los elementos más abundantes con una presencia de 0.014 a 0.02 %. Inicialmente se utilizó en aleaciones con hierro y acero. Varios de los compuestos de Vanadio se emplean en la industria química, sobre todo en la fabricación de catalizadores de oxidación, y en la industria cerámica como agentes colorantes. Dicho metal se parece a algunos otros elementos de transición en que forma muchos compuestos que con frecuencia son complejos por su valencia variable. Este metal ejerce un papel bioquímico significativo tanto en los vegetales como animales, en estos últimos ejerciendo una acción importante en la calcificación ósea, siendo por otra parte un inhibidor de la biosíntesis del colesterol (Galindo *et al.*, 1999).

Los óxidos de vanadio presentes en las partículas de menos de 10 μm de diámetro de las cenizas y polvos, producto de la quema de combustible fósil, están asociados con efectos adversos a la salud. La exposición crónica induce desordenes respiratorios y la aparición de bronquitis, rinitis, laringitis y faringitis, en algunos casos produce efectos negativos en el hígado y los riñones (Rodríguez *et al.*, 2006). Según Molerio-León *et al.* (2016), en concentraciones superiores a los 0,1 mg/L (100 $\mu\text{g/L}$) es un contaminante con un potencial tóxico, mutagénico y genotóxico que se ha asociado con enfermedades congénitas.

1.3. Normativa uruguaya vigente

En nuestro país es el Estado quien tiene la competencia para gestionar y regular los recursos hídricos, así expresado en la Constitución en el Artículo 47, el que se transcribe a continuación: ...“El agua es un recurso natural esencial para la vida. El acceso al agua potable y el acceso al saneamiento, constituyen derechos humanos fundamentales...”.

En la Ley N° 18.610 del año 2009, el Artículo 5 expresa que “La Política Nacional de Aguas comprende la gestión de los recursos hídricos así como los servicios y usos vinculados al agua”. En el Artículo 8, formula cuáles serán los principios de la Política Nacional de Aguas, entre los que enumera: gestión sustentable de los recursos hídricos y preservación del ciclo hidrológico; contemplar aspectos sociales, económicos y ambientales; la afectación de los recursos hídricos hará incurrir en responsabilidad a quienes la provoquen; abastecimiento de agua potable como principal prioridad; equidad, asequibilidad, solidaridad y sustentabilidad como criterios rectores que tutelen el acceso y la utilización del agua entre otros.

Asimismo, la Ley N° 14.859, Código de Aguas del año 1979, establece el régimen jurídico de las aguas en la República Oriental del Uruguay de modo tal de prevenir la contaminación ambiental mediante su control. El Decreto N° 253/79 (con las modificaciones de los Decretos N° 232/88, N° 698/89 y N° 195/91 incluidas) establece las concentraciones máximas admisibles para los cursos o cuerpos de agua atendiendo a su clasificación en cuatro clases según sus usos preponderantes actuales o potenciales (Dirección Nacional de Medio Ambiente, 2006): Clase 1, aguas destinadas o que puedan ser destinadas al abastecimiento de agua potable a poblaciones con tratamiento convencional; Clase 2a, aguas destinadas al riego de hortalizas o plantas frutícolas y otros cultivos destinados al consumo humano en su forma natural, cuando éstas son usadas a través de sistemas de riego que provocan el mojado del producto; Clase 2b, aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano; Clase 3, aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica, o también aguas destinadas al riego de

cultivos cuyo producto no se consume en forma natural o en aquellos casos que siendo consumidos en forma natural se apliquen sistemas de riego que no provocan el mojado del producto y Clase 4, aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio, o también aguas destinadas al riego de cultivos cuyos productos no son destinados al consumo humano en ninguna forma. Cabe aclarar que este Decreto N° 253/79 fue desarrollado para aguas superficiales y no para aguas subterráneas específicamente. Si bien en la Normativa vigente habla de los cuerpos de agua en general, los parámetros están estipulados para aguas superficiales.

En el cuadro 1A se presenta los valores establecidos en la Norma actual de OSE aprobada en diciembre de 2012 por RD 1628/12, que toma como propia la Norma UNIT 833:2008 de los niveles límites establecidos de concentración de elementos traza en agua (según las características geológicas de algunos depósitos naturales cercanos a pozos de extracción). Además, se integran en dicho cuadro los que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS), y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, EPA). En el cuadro 1B se presenta los valores máximos del Decreto N° 253/79 (Norma para prevenir la contaminación ambiental) promulgada por el Poder Ejecutivo.

Cuadro 1A - Valores máximos permitidos según Normativa vigente
(en color gris: sin valores establecidos).

Elementos	Norma UNIT 833:2008	OMS	EPA
	Valor Máximo Permitido (mg/L)		
Arsénico	0,02	0,01	0,01
Bario	0,7	0,7	2
Boro	0,5	0,3	5
Cloro	250	250	250
Cobre	1	2	1,3
Flúor	1,5	1,5	4
Hierro	0,3		0,3
Molibdeno	0,07	0,07	
Níquel	0,02	0,02	0,02
Selenio	0,01	0,01	0,05
Sodio	200	200	
Uranio		0,015	0,03

Cuadro 1B - Valores máximos permitidos según Decreto N° 253/79 para distintos usos.

Clase	Usos	VMP (mg/L)	
		As	B
1	Abastecimiento de agua potable a poblaciones	0.005	-
2a	Riego de hortalizas o plantas frutícolas y otros cultivos destinados al consumo humano en su forma natural	0.05	0.5
2b	Recreación por contacto directo con el cuerpo humano	0.005	-
3	Preservación de peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica, o también destinadas al riego de cultivos cuyo producto no se consume en forma natural o en los casos de consumo en forma natural se apliquen sistemas de riego que no provocan el mojado del producto	0.005	-
4	Riego de cultivos cuyos productos no son destinados al consumo humano en ninguna forma o a aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener armonía con el medio	0.1	-

Cabe agregar que en este Decreto no se menciona ni al elemento flúor, ni al elemento bario, por lo que no se tiene establecido los valores máximos permitidos para ellos.

En nuestro país, la explotación de los recursos hídricos se da tanto en los recursos superficiales como en los subterráneos. Estos últimos son utilizados mayormente en lo que se refiere al uso doméstico, abastecimiento de pequeñas localidades, agropecuario e industrial.

El agua subterránea adquiere su composición química de una variedad de fuentes. Aumenta su poder de disolución y suspensión de los constituyentes por contacto con gases, líquidos y sólidos que encuentra durante el pasaje del ciclo hidrológico. Desde que desciende y entra en contacto con el suelo y las litologías del subsuelo interacciona determinando los ambientes químicos en el que se encuentran los elementos trazas (Galindo *et al.*, 1999). Por lo que la contaminación de las aguas subterráneas se podría producir con la incorporación de estos elementos, ya sea desde la superficie, relacionado con actividades antrópicas, y/o por los procesos naturales de interacción agua – roca.

2. Área de estudio

El área de estudio está delimitada por los vértices A ($x=436693$, $y=6385090$), B ($x=443051$, $y=6385182$), C ($x=436844$, $y=6378166$) y D ($x=443155$, $y=6378239$), como se muestra en la figura 1. Conformando un área de alrededor de 20 Km², con 16.756 habitantes (INE, 2011). La misma está ubicada en la intersección de las Rutas Nacionales N° 3 y N° 25, en el centro-oeste de Uruguay. La ciudad de Young (departamento de Río de Negro) es una región con importantes explotaciones agrícolas, ganaderas, lecheras, forestales y citrícolas, junto a las industrias relacionadas con estas actividades. El área de estudio se encuentra mayoritariamente en la hoja topográfica Young O-17 del Servicio Geográfico Militar a Escala 1:50.000.

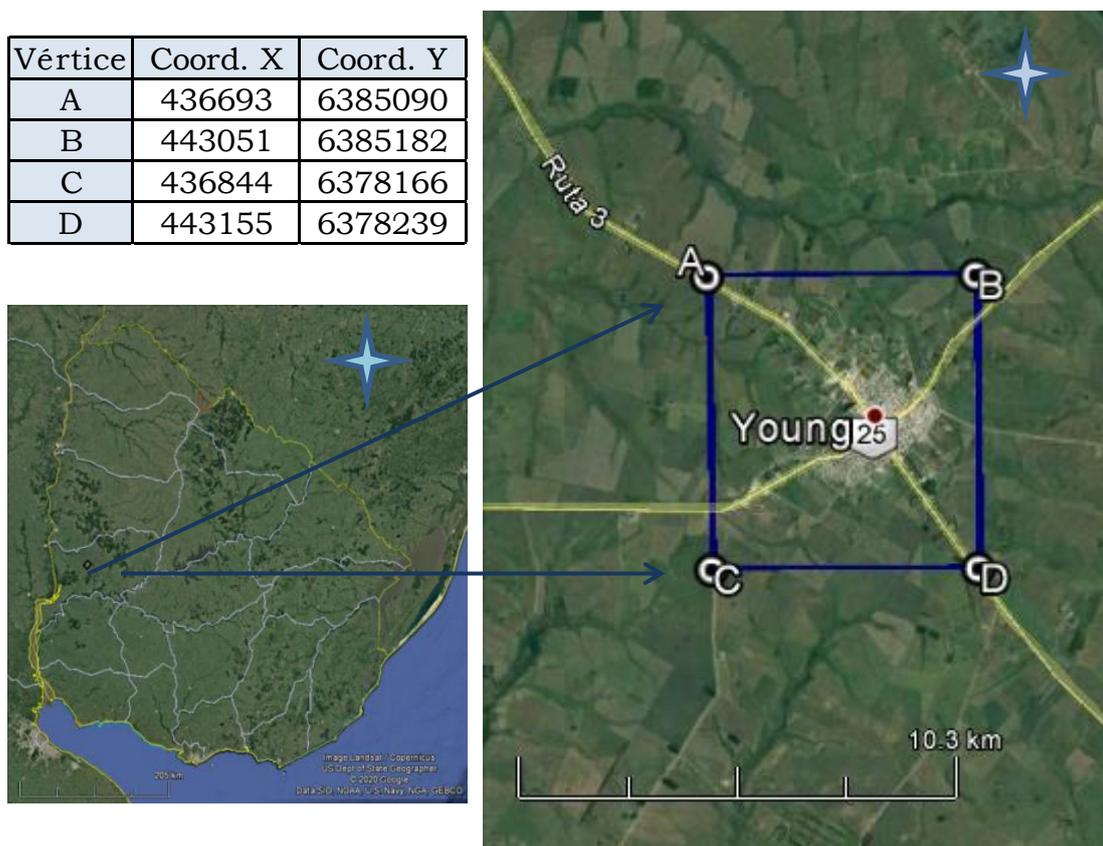


Figura 1- Localización del área de estudio (fuente Google Earth Pro®).

Sistema de coordenadas UTM.

3. Metodología Aplicada

La metodología que se llevó a cabo en la investigación consistió en el levantamiento, tratamiento e integración de datos:

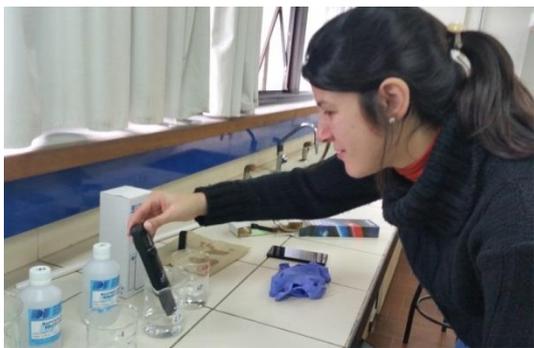
- Revisión de antecedentes bibliográficos sobre el Acuífero Mercedes, sobre las litologías y su mineralogía, y sobre elementos trazas en aguas subterráneas. Recolección y análisis de datos geológicos, hidrogeológicos, y de los elementos trazas a tratar, generados por instituciones estatales como ser Obras Sanitarias del Estado (OSE), Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) y Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE).
- Monitoreo de niveles piezométricos y confección de un mapa piezométrico del área de estudio.
- Extracción de muestras para análisis químicos de elementos trazas de agua de pozos seleccionados a partir de la revisión de antecedentes. Así como la realización del registro in situ del valor de Temperatura, pH y conductividad eléctrica.
- Tratamiento estadístico descriptivo (media, mediana, máximo, mínimo, desviación estándar) de las variables químicas analizadas de acuerdo a Custodio & Llamas (1983). Se utilizó correlación de Spearman debido a que no todas las variables se distribuyen normalmente. También se aplicó el análisis por agrupamiento (Cluster) que permite establecer qué grupos de variables comparten características comunes, permitiendo así reducir el número de variables para el análisis. Este análisis utiliza un procedimiento jerárquico para formar los agrupamientos en donde las variables que son similares entre sí (variables correlacionadas) se agrupan. En cada paso se unen dos agrupamientos, hasta que solo se forma un agrupamiento en el paso final. La representación se realiza mediante un dendrograma.
- Interpretación de los resultados integrando la información litológico-mineral y piezométrica, a través de diagramas y mapas hidrogeoquímicos (diagramas hidrogeoquímicos clásicos de clasificación, diagramas de

dispersión relacionando los parámetros de interés con otros tales como profundidad de pozos, pH, etcétera.)

El plan de trabajo se realizó en base a actividades que involucran tanto el trabajo de gabinete como de campo y laboratorio. El mismo se efectuó en tres fases:

- *Primera fase:* Gabinete I, que involucró la revisión bibliográfica de antecedentes hidrogeológicos y geológicos al igual que la búsqueda y recolección de información en distintas instituciones estatales (DINAMIGE, OSE y DINAGUA) referente a la zona elegida. En esta fase se realizó la calibración (figura 2 A y B) de las herramientas y equipos a utilizar en el campo. Se calibró el peachímetro de marca Hanna modelo HI 98130. Para ello se empleó las soluciones de calibración, agua destilada, y vasos de bohemia. Primeramente, se calibró el equipo en una solución buffer de pH 7.01, luego en una solución de pH 4.01, y por último se calibra la conductividad en una solución 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se mantuvo el pH del electrodo con la solución neutra HI 70300.

A



B



Figura 2 – A y B Calibración del equipo de medición de pH, temperatura y conductividad eléctrica.

- *Segunda fase:* Campo, se realizó del 11 al 14 de Julio de 2016. La misma constó del muestreo de 19 pozos (figura 3) elegidos en base a la información generada en la primera fase. Dicha recolección se efectuó por duplicado en botellas de plástico de 75 ml de capacidad y se preservaron

(las muestras de As) con HNO₃ al 1% (de modo de prevenir que los metales precipiten formando sales), en base al protocolo de *Acme Lab - Bureau Veritas - Mineral Laboratories* - siguiendo los procedimientos de muestreo, transporte y almacenamiento, fundamentales para la adquisición de datos realmente significativos (figura 4 A). El HNO₃ 1% fue preparado a partir de HNO₃ concentrado y de calidad analítica, diluido en agua desionizada ultrapura (calidad milli Q). También se realizó medidas de niveles piezométricos (figuras 4 B, C y D), y de parámetros fisicoquímicos in situ como conductividad eléctrica, pH y temperatura.

Entendiendo por conductividad eléctrica como la medida de la facilidad de un agua para conducir la corriente eléctrica, su valor aumenta con el tenor de sales disueltas en forma de iones. En aguas subterráneas los valores de conductividad son del orden de 10⁻⁶ mhos/cm a 25°C, este parámetro aumenta con la temperatura (Custodio & Llamas, 1983).

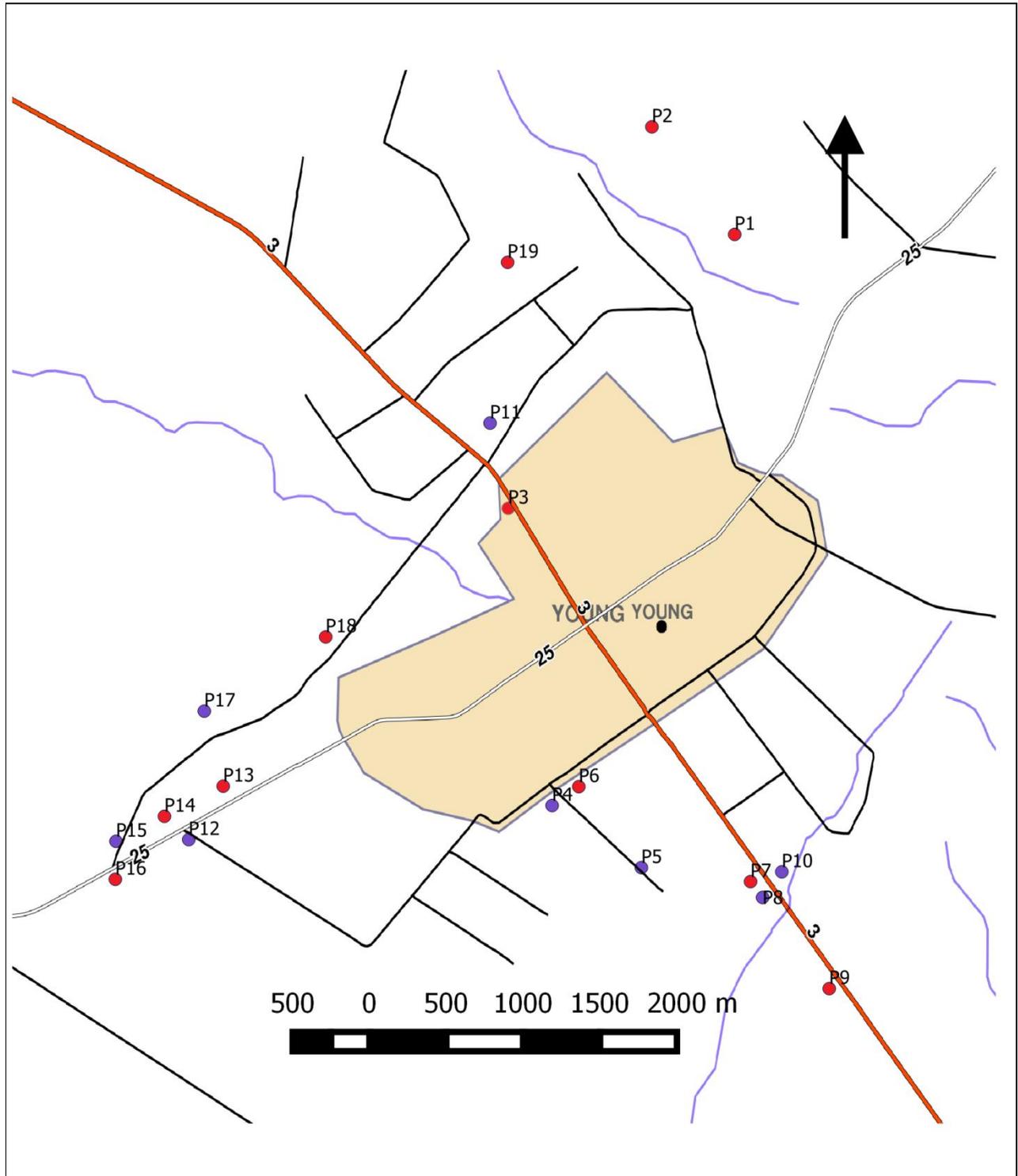


Figura 3 – Pozos visitados con control de nivel estático, pH, conductividad, y temperatura, y Pozos muestreados para hidrogeoquímica (color rojo).

Por pH se entiende como el logaritmo en base 10 del recíproco de la concentración del ion hidrógeno (expresado en mol/L): $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. En

agua subterránea varía entre 6.5 y 8.5 (Custodio & Llamas, 1983). En cuanto a la temperatura, responde a la media anual de las temperaturas atmosféricas del lugar. En profundidad depende del gradiente geotérmico, que aumenta 1°C cada 30 metros de profundidad (Custodio & Llamas, 1983).

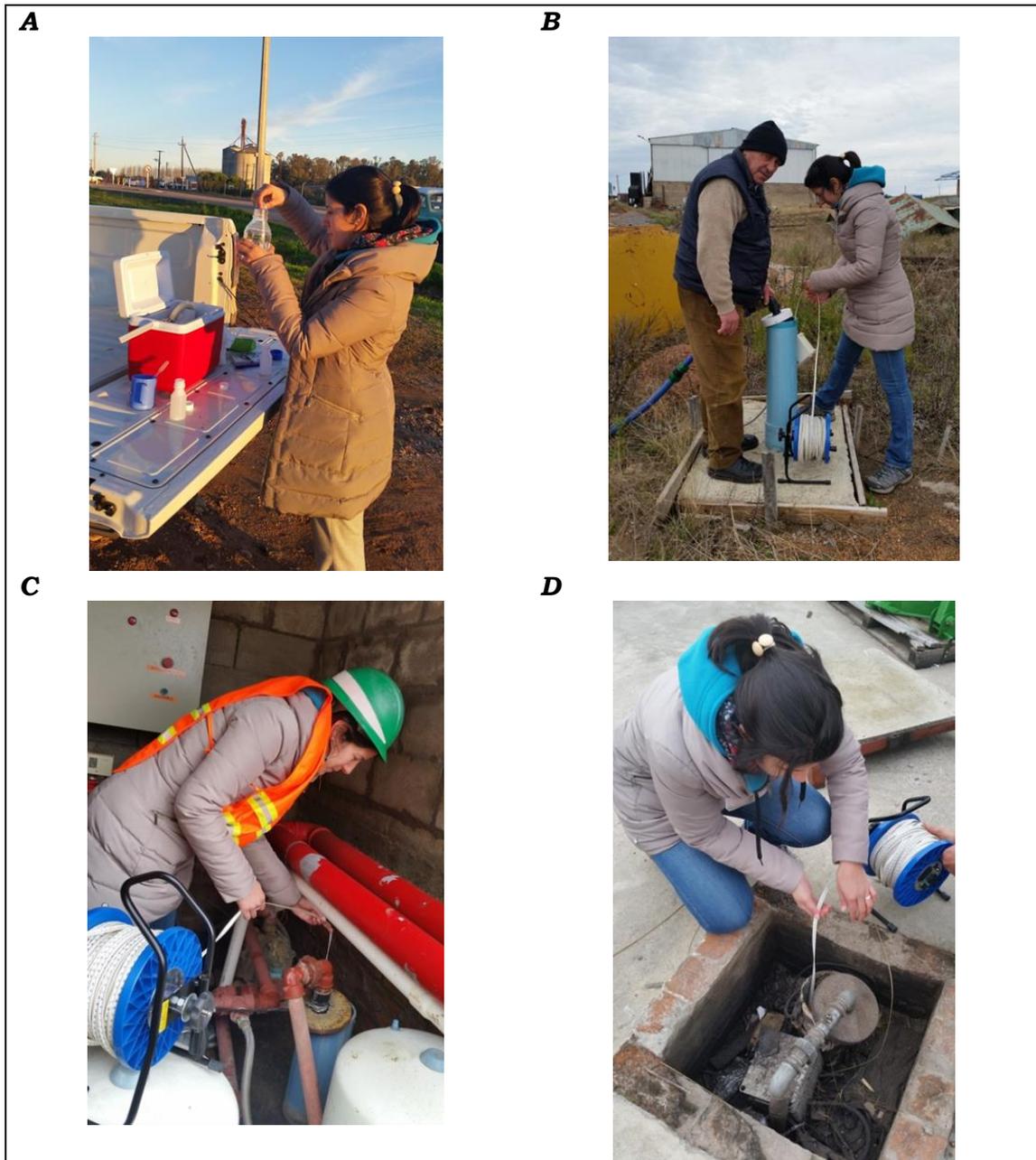


Figura 4 – A Preservación de la muestra de agua con HNO₃ al 1%; B, C y D Medición de los niveles estáticos de tres pozos de la zona de estudio.

Para la medida de los niveles piezométricos se utilizó un Piezómetro Hidrosuprimentos HS con el que se puede hacer medidas de hasta 200 metros de profundidad.

De los 19 pozos visitados, se enviaron 11 muestras al Laboratorio *Bureau Veritas* de Canadá con la finalidad de analizar el contenido de elementos trazas en las aguas subterráneas del área de Young. Se determinaron 70 elementos químicos, entre mayoritarios y trazas, a través de la técnica ICP-MS, códigos SO200 (cuadro 2) y SO001-F (para flúor con límite de detección 0.01 mg/L). El método SO200 (análisis por ICP-MS) proporciona bajos límites de detección, necesarios para definir niveles de fondo y anómalos de cationes en agua natural. Para este análisis todas las muestras de agua deben tener menos de 0.1% de sólidos disueltos totales (TDS). Además, se preparó un Blanco (P20) que también fue analizado, como control, con agua milli-Q acidificándola con el HNO₃ al 1%.

Cuadro 2. Elementos analizados y límites de detección bajo el código SO200 (tomado de *Bureau Veritas Laboratories, 2017*)

ELEMENTO	LÍMITE DETECCIÓN	ELEMENTO	LÍMITE DETECCIÓN	ELEMENTO	LÍMITE DETECCIÓN
Ag	0.05 ppb	Hf	0.02 ppb	S	1 ppm
Al	1 ppb	Hg	0.1 ppb	Sb	0.05 ppb
As	0.5 ppb	Ho	0.01 ppb	Sc	1 ppb
Au	0.05 ppb	In	0.01 ppb	Se	0.5 ppb
B	5 ppb	K	0.05 ppm	Si	40 ppb
Ba	0.05 ppb	La	0.01 ppb	Sm	0.02 ppb
Be	0.05 ppb	Li	0.1 ppb	Sn	0.05 ppb
Bi	0.05 ppb	Lu	0.01 ppb	Sr	0.01 ppb
Br	5 ppb	Mg	0.05 ppm	Ta	0.02 ppb
Ca	0.05 ppm	Mn	0.05 ppb	Tb	0.01 ppb
Cd	0.05 ppb	Mo	0.1 ppb	Te	0.05 ppb
Ce	0.01 ppb	Na	0.05 ppm	Th	0.05 ppb
Cl	1 ppm	Nb	0.01 ppb	Ti	10 ppb
Co	0.02 ppb	Nd	0.01 ppb	Tl	0.01 ppb
Cr	0.5 ppb	Ni	0.2 ppb	Tm	0.01 ppb
Cs	0.01 ppb	P	10 ppb	U	0.02 ppb
Cu	0.1 ppb	Pb	0.1 ppb	V	0.2 ppb
Dy	0.01 ppb	Pd	0.2 ppb	W	0.02 ppb
Er	0.01 ppb	Pr	0.01 ppb	Y	0.01 ppb
Eu	0.01 ppb	Pt	0.01 ppb	Yb	0.01 ppb
Fe	10 ppb	Rb	0.01 ppb	Zn	0.5 ppb
Ga	0.05 ppb	Re	0.01 ppb	Zr	0.02 ppb
Gd	0.01 ppb	Rh	0.01 ppb		
Ge	0.05 ppb	Ru	0.05 ppb		

- *Tercera fase:* Gabinete II, que involucró análisis e interpretación de datos químicos, análisis hidrogeológicos, realización de mapa piezométrico,

mapa de isovalores de elementos trazas (arsénico, bario, flúor, boro, uranio y vanadio) a escala 1:50.000. En esta etapa se realizó el trabajo mediante la utilización de software: Surfer 13, QGIS 3.10.9, Google Earth Pro®, Corel Draw X6, Minitab 16, Microsoft Office.

4. Antecedentes Geológicos

4.1. Contexto Geológico del Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la Cuenca Norte, sub-cuenca Litoral Oeste cuyo basamento corresponde al terreno tectonoestratigráfico Piedra Alta (TPA, *sensu* Sánchez Bettucci *et al.*, 2010).

Al TPA se le asigna una edad paleoproterozoica correspondiente al Ciclo Orogénico Transamazónico y aflora al SW del territorio uruguayo. El mismo se encuentra delimitado al E por la Zona de Cizalla Sarandí del Yí, al N y W por los sedimentos del Fanerozoico y al S por el Río de la Plata.

La sub-cuenca Litoral Oeste del Río Uruguay se localiza entre los paralelos 31°30' y 34°00' de latitud Sur y los meridianos 57°00' y 58°00' de longitud Oeste (figura 5). Ocupa una superficie de aproximadamente 25000 km², desarrollada parcialmente en los departamentos de Salto, Paysandú, Río Negro, Colonia, Flores y Durazno. También aparecen aislados algunos afloramientos en los departamentos de Tacuarembó y Canelones.

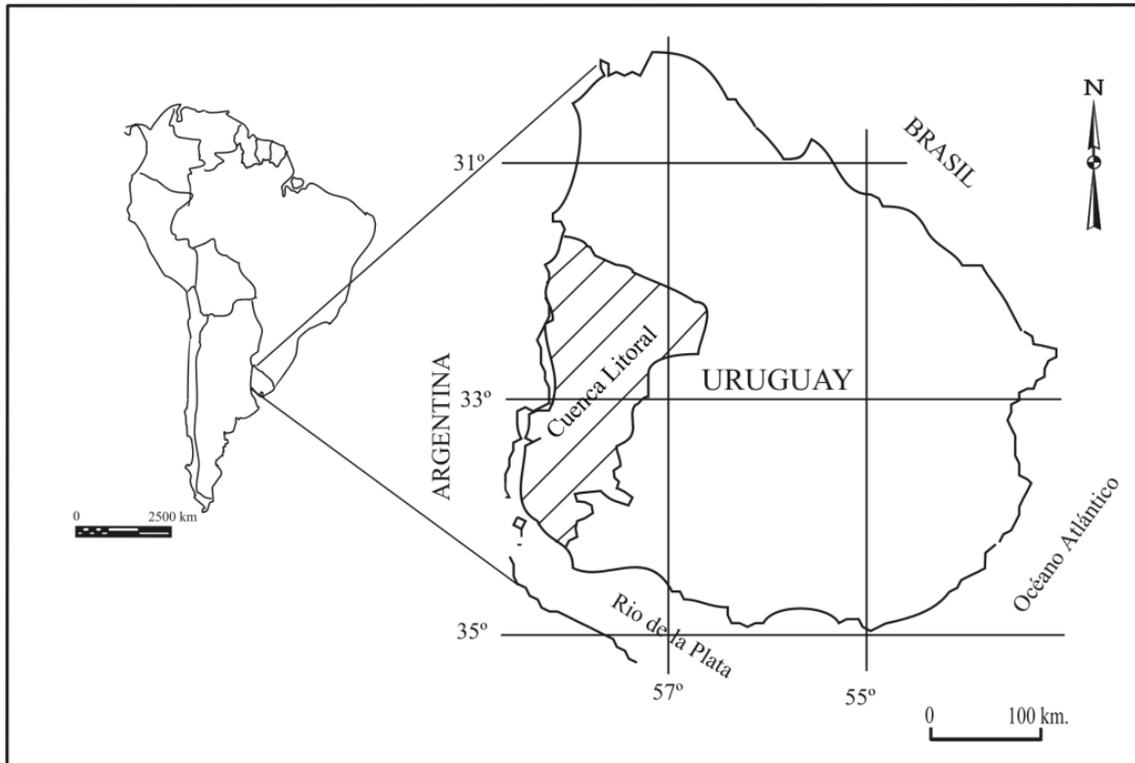
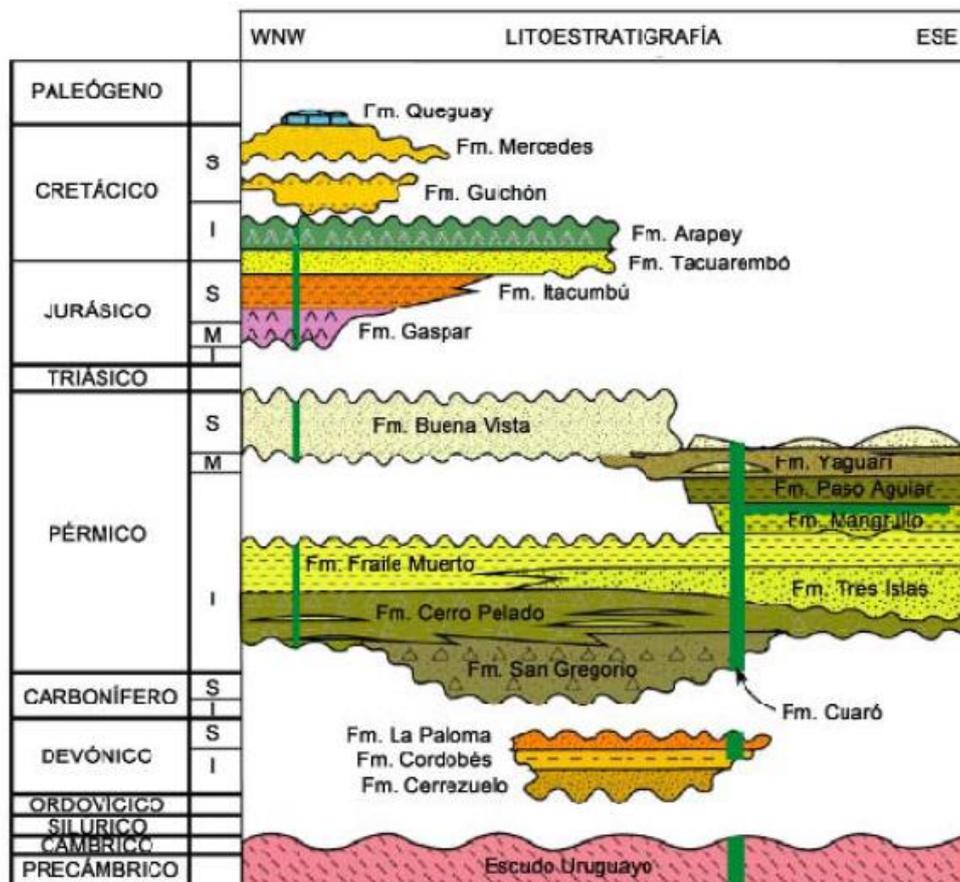


Figura 5 – Ubicación de la Cuenca Litoral del Río Uruguay (Goso & Perea, 2004).

Apoyadas sobre las litologías precámbricas y mesozoicas (Formación Arapey) ocurren las Formaciones Guichón, Mercedes, y Queguay (cuadro 3), correspondientes al Cretácico y Terciario inferior. A su vez, según Goso (1999), se define una unidad de carácter edafoestratigráfica (Geosuelo del Palacio) en base a criterios de la *North American Commission on Stratigraphic Nomenclature* (NACSN 1983), y se distingue cuerpos rocosos formados por varios niveles de suelos superpuestos o intercalados entre rocas estratificadas. Se propone su identificación con el Miembro del Palacio de la Formación Mercedes. En base a nuevos conocimientos y para distinguir la calcretización que se produjo en el Terciario Inferior, como resultado de procesos epigenéticos que afectaron a las rocas cretácicas, Goso (1965) propone la utilización del término Formación Queguay en lugar del tradicionalmente conocido “Calizas del Queguay”. En la figura 6 se ilustra la distribución superficial de la Formación Guichón y Formación Mercedes en la región Oeste de Uruguay.



Cuadro 3 – Estratigrafía Cuenca Norte (De Santa Ana *et al.*, 2006).

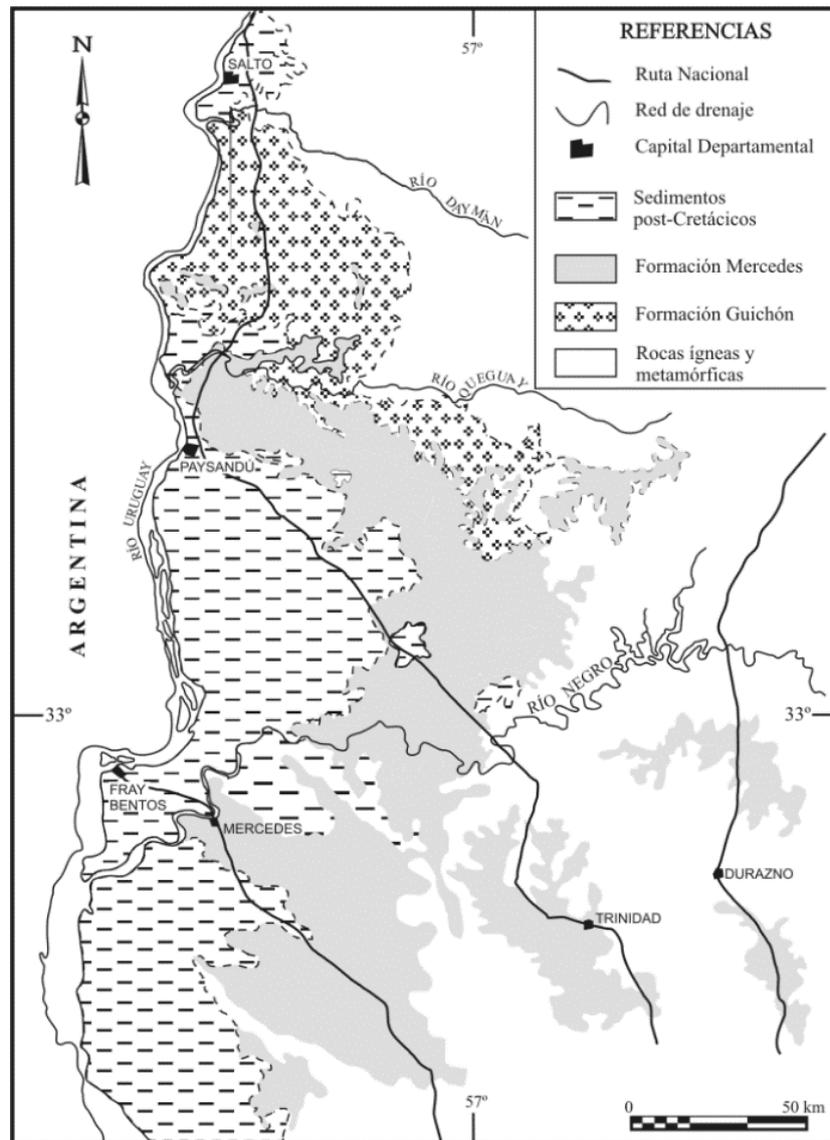


Figura 6 – Mapa geológico del Oeste de Uruguay (Goso & Perea, 2004).

4.1.1. Formación Guichón (Cretácico Inferior)

Lambert (1940), al realizar el levantamiento cartográfico del departamento de Paysandú destacó la presencia de areniscas finas, bastante arcillosas, rojas, con granos cuarzosos y redondeados, que definió como “Areniscas de Guichón”. Según Goso (1999), esta unidad muestra la predominancia de litofacies arenosas sobre las conglomerádicas y las pelíticas. El mismo autor, sostiene que aproximadamente el 90% de las litologías correspondientes a esta unidad son areniscas finas a medias, de colores que varían entre el rosado grisáceo y el rojizo grisáceo. Presentan matriz pelítica de color rosado intenso, que constituye

aproximadamente el 30-35% del total de la roca y le da la textura matriz-soporte. El grado de selección es moderado a bueno. Entre 80-85% de los clastos son cuarzosos y subredondeados. Los clastos de feldespatos (ortosa y plagioclasa) presentan un grado de alteración incipiente. En una proporción de 2-3% aparecen clastos de minerales opacos y fragmentos líticos de basaltos. Litológicamente pueden ser definidos como *wackes* feldespáticos. En estas litofacies predomina el aspecto masivo, aunque también fue posible identificar laminación plano-paralela, de tipo cruzada (“*ripple*”), formas de lecho onduladas y estratificación gradada. Es bastante frecuente encontrar estructuras tubulares centimétricas, vacías o rellenas total o parcialmente, asociadas a cemento o nódulos carbonáticos, que evidencia bioturbación por raíces.

Secundariamente a estas litologías arenosas, aparecen conglomerados rosados, constituidos por cantos polimícticos (de cuarzo, areniscas y basaltos), desde angulosos a subredondeados, a veces con intraclastos pelíticos marrones que se concentran en la base de los estratos. Son de baja selección granulométrica y a veces muestran gradación normal, estratificación cruzada acanalada o son masivos. La matriz de estos conglomerados es esencialmente de arena media a fina o incluso pelítica (Goso, 1999).

Subordinadamente a estas dos litofacies, la Formación Guichón expone estratos de orden métrico de espesor, constituidos por pelitas marrones y rojizas, masivas y laminadas, generalmente con estructuras de carga y geometrías lenticulares. (Goso, *op.cit.*).

Las relaciones de contacto de la Formación Guichón son discordantes en la base con los basaltos de la Formación Arapey. En el tope, dependiendo de la porción de cuenca que se considere, las relaciones de contacto son discordantes con conglomerados y areniscas de la Formación Mercedes (Cretácico Superior); o con limolitas de la Formación Fray Bentos (Oligoceno); con areniscas de la Formación Salto (Pleistoceno) o con depósitos cuaternarios.

Según Goso (1999) en los perfiles verticales y laterales de los afloramientos de la Formación Guichón se constató procesos sedimentarios de tracción, correspondientes a regímenes de flujo tanto bajo (presencia de areniscas con

ripples y estratificación cruzada de bajo ángulo) como alto (areniscas masivas y con estratificación plano-paralela horizontal). Pueden estar representando ámbitos de sedimentación poco profundos o efímeros. Las mesoformas depositacionales identificadas en estas litologías permiten interpretar que el transporte y la acumulación se procesaron en barras fluviales. Sin embargo, los conglomerados con estratificación cruzada acanalada se asocian con el relleno de canales. Las escasas facies pelíticas fueron depositadas por procesos suspensivos y representan depósitos de baja energía acumuladas en canales abandonados o de tipo *overbank* durante períodos de crecida. En estas litofacies se encontró restos esqueléticos de cocodrilo.

Goso (1999) observó evidencias de largos períodos de tiempo sin sedimentación. Los espesos paquetes de areniscas finas rojizas bioturbados y la presencia de pedotúbulos rellenos parcial o totalmente por carbonatos son bastante frecuentes. Esto permite la formación de suelos poco profundos debido a condiciones poco húmedas lo que favorece el retrabajamiento eólico de las arenas pertenecientes a las barras arenosas.

El mapa de isópacas de esta formación (figura 7) muestra que no existe registro de la unidad al Sur del Río Negro. El límite depositacional al Sur presenta una dirección aproximada E-W.

4.1.2. Formación Mercedes (Cretácico Superior)

Esta unidad fue caracterizada por Lambert (1939, 1940) en el departamento de Durazno (“Conglomerado del Chileno”) y en los departamentos de Paysandú y Río Negro (“Areniscas conglomerádicas superiores”). Serra (1943, 1945) cartografiando los departamentos de Colonia y Soriano posicionó estratigráficamente a estos depósitos en el Cretácico Superior, y definió a las “Areniscas de Mercedes” como depósitos arenosos, más o menos conglomerádicos, de color blancuzco con intercalación de material calcáreo, frecuentemente cristalizados.

La Formación Mercedes es de ambiente fluvial, integrada por arenas finas a medias, areniscas finas, gruesas y conglomerádicas de color predominantemente

blancuzco a rosado, con cemento generalmente arcilloso y calcáreo con presencia de lentes calcáreas.

El estudio de afloramientos y muestras de perforaciones mostró la gran diversidad litológica característica de esta unidad (Goso, 1999). Por un lado, la integran litologías clásticas (predominantemente areniscas y conglomerados) y por otro, es bastante frecuente la presencia de litologías calcáreas, ferrificadas y silicificadas. Subordinadamente a estas litofacies se exponen litologías pelíticas. Las mismas son agrupadas por Goso (1999) en dos Miembros: Yapeyú y del Chileno, que se describen a continuación.

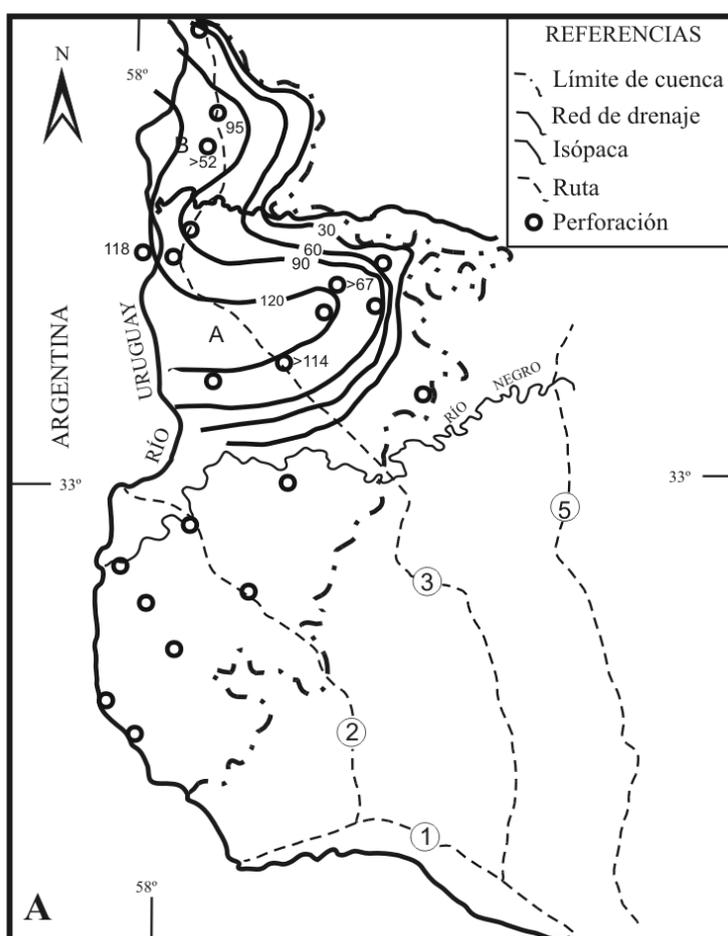


Figura 7 – Mapa de isópacas de Formación Guichón (Goso & Perea, 2004).

Miembro Yapeyú, aproximadamente el 50% de las litologías son areniscas finas, de colores que varían entre el blanco y el blanco grisáceo. Se presentan en estratos decimétricos con un grado de selección bueno. Entre 85-90% de los clastos son cuarzosos y redondeados. Los clastos feldespáticos (ortosa y plagioclasa) muestran una incipiente alteración. Minoritariamente (1-2%)

aparecen clastos pertenecientes a minerales opacos. Composicionalmente pueden ser definidos como areniscas o *wackes* feldespáticos. El contacto entre los clastos es puntual y a veces aparecen flotando. El tipo de cemento es calcáreo. Predomina el aspecto masivo, aunque se observó laminación plano-paralela, laminación cruzada planar y gradación normal en los *foresets* de los planos de estratificación cruzada planar (Goso *op.cit.*).

Un 20% de las litologías de la Formación Mercedes corresponden a pelitas, se exponen en estratos submétricos, de color marrón-rojizo, masivos o con laminación plano-paralela y frecuentemente muestran estructuras de carga. Las geometrías de esas pelitas son lenticulares y ocasionalmente presentan láminas de carbonatos en los planos de laminación. La otra mitad corresponde a pelitas arenosas. Los estratos son métricos, de color gris-blancuzco, con laminación plano-paralela. Las geometrías son tabulares y a veces presentan láminas de carbonatos en los planos de laminación (Goso *op. cit.*)

Miembro del Chileno, según Goso (1999) aproximadamente el 30% de las litologías están representadas por areniscas muy gruesas y conglomerados. Se presentan en estratos que son decimétricos a métricos. Los colores varían entre blanco-grisáceo claro y rojo amarillento. Generalmente, los clastos mayores (8-10 centímetros) se ven en la base de los estratos y muestran una gradación granulométrica normal. Los megaclastos son polimícticos y están constituidos por cuarzo (ópalo y calcedonia), basaltos y escasamente granitos en el sector norte; y por granitos, gneisses, cuarcitas y esquistos, en la porción sur de la cuenca. Es común encontrar intraclastos pelíticos marrones que se concentran en la base de los estratos. La matriz de los conglomerados es básicamente arena media a fina y ocasionalmente pelítica. Predominan los clastos angulosos, aunque también existen los subredondeados. Son pobremente seleccionados, pueden presentar gradación normal, estratificación cruzada acanalada o ser masivos. En la base es muy frecuente encontrar formas erosivas. Subordinadamente aparecen areniscas medias a gruesas, de color gris claro. Más del 90% de los clastos son cuarzosos y subredondeados a subangulosos. La matriz está constituida por arena fina, con pocos granos de limo que

aparecen cubiertos por el cemento. El contenido de cemento calcáreo y de sílice es variable, por lo tanto, el grado de consolidación no es homogéneo. El grado de selección de estas areniscas es moderado. Las estructuras sedimentarias son estratificación cruzada de bajo ángulo y estratificación cruzada de tipo sigmoide. El tipo de contacto entre los estratos arenosos es no erosivo o poco erosivo. Los perfiles sedimentológicos verticales y laterales de los afloramientos estudiados muestran la predominancia de procesos sedimentarios tractivos, en régimen de flujo superior e inferior (figura 8). Los conglomerados presentan estratificación cruzada acanalada, se asocian con el relleno de canales. Flujos de granos de alta y baja densidad fueron responsables de la sedimentación de estas facies gruesas. Estas facies conglomerádicas presentan espesores variables pudiendo alcanzar algunas decenas de metros. En cambio, las areniscas estratificadas, con laminación cruzada tipo *ripple* y masivas, muestran variaciones en las condiciones de los flujos. Los espesores de estos depósitos oscilan entre 5 y 30 metros. Las escasas facies pelíticas laminadas o masivas fueron depositadas por procesos suspensivos y representan depósitos de baja energía de tipo *overbank* durante crecidas. Estos procesos fueron interrumpidos por flujos arenosos o conglomerádicos erosivos (estructuras de sobrecarga, intraclastos pelíticos) que enterraron rápidamente a las litologías subyacentes. Esta escasez de sedimentos pelíticos en Uruguay sugiere que los bordes de cuenca o áreas fuente se encontraban relativamente próximas. Los espesores de estas litofacies nunca superan algunos pocos metros.

Según Goso (1999) el análisis integrado de los perfiles laterales permitió identificar en diferentes afloramientos de la Formación Mercedes las siguientes mesoformas: canales y rellenos de canal, predominio de barras conglomerádicas y barras de arena, y escasamente planicies. Esta asociación de facies permite interpretar que se trata de una sedimentación en ríos de poca sinuosidad, aparentemente caudalosos (fundamentalmente en el Sur), cuya dirección principal de escurrimiento es para el WSW y controlados por una paleofisiografía relativa acentuada. Los depósitos de la Formación Mercedes tal vez hayan sido los que experimentaron mayores transformaciones debido a procesos epigenéticos de ferrificación, calcretización y silicificación. Estos cambios se

produjeron entre el Cretácico Superior (momento de la sedimentación) y el Oligoceno (edad de la Formación Fray Bentos) y su orden cronológico habría sido ferrificación, calcretización y silicificación.

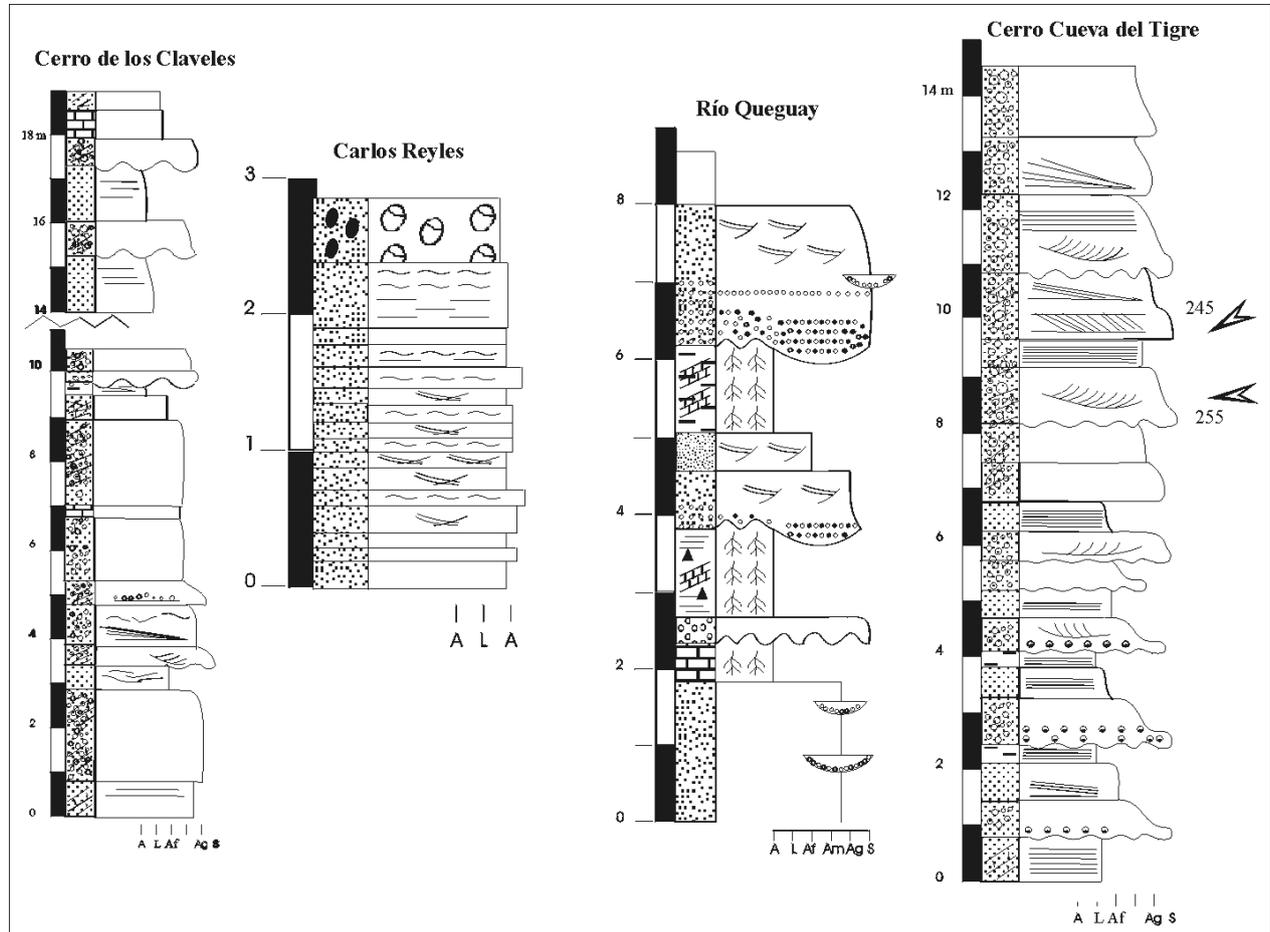


Figura 8 – Perfiles de la Formación Mercedes (Goso & Perea, 2004).

Miembro del Palacio (Geosuelo del Palacio), son extensas corazas ferruginosas de espesor métrico y con disposición horizontal, fueron formadas a expensas de los sedimentos arenosos de la Formación Mercedes. Están compuestas por areniscas finas ferrificadas, a veces con preservación de las geometrías estratales (barras y pequeños canales). En algunos casos, esas corazas están sustentadas por estructuras columnares de diámetro métrico con diferentes alturas que no superan los 2,20 metros. En las localidades de Carlos Reyles y Andresito, y en la ciudad de Paysandú, las estructuras columnares compuestas por areniscas ferrificadas generan grutas de diferentes alturas. En la localidad conocida como “Gruta del Palacio de los Indios” se exponen más de doscientas columnas cuyos diámetros en media miden 88 cm, siendo el valor máximo 1 metro y el mínimo 76 cm.

Estas columnas tienden a alinearse en filas según direcciones N10°, N40°, N100° y N140° aproximadamente. El relleno de estas estructuras aproximadamente cilíndricas es heterogéneo presentándose en forma masiva, concrecional o pulverulento, evidenciando el proceso de migración del hierro. La presencia de cemento ferruginoso (óxido de hierro) es abundante y de color rojizo. La matriz arcillosa aparece relativamente orientada e intercalada con el cemento de forma laminar. Estas columnas fueron interpretadas por Goso (1999) como grandes concreciones ferralíticas que se formaron aprovechando planos de fractura de los sedimentos de caja. González (1999) reconoció dos horizontes en estos paleosuelos apilados, los que forman una sucesión de varios metros de espesor y en los que no se reconoce el protolito. Según Goso (1999) esto indicaría que los procesos edáficos actuaron durante un período de tiempo prolongado sin cambios en las condiciones climáticas y que los paleosuelos serían profundos y del tipo ultisoles, típicos de climas templados y húmedos.

El Cretácico superior marca importantes variaciones eustáticas que se manifiesta a partir de procesos geológicos con la discordancia intracretácica y el cambio al NS del eje depositacional para la sedimentación de la Formación Mercedes. Este cambio en el eje se explica por las leves reactivaciones tectónicas sufridas por los lineamientos regionales asociados a las discontinuidades heredadas del basamento proterozoico. Este cambio en el eje estuvo relacionado por la evolución tectónica del Pacífico (Goso & Perea, 2004).

La región del Lineamiento Río Negro (E-W) comenzó progresivamente a funcionar como depocentro, inclusive hasta el Cuaternario tardío (Formación Villa Soriano). Lo mismo ocurrió en la Cuenca Santa Lucía, donde hasta el Cuaternario se verificó un progresivo proceso subsidente, particularmente en su porción occidental (figura 9). Los responsables de la acumulación de esta unidad podrían haber sido canales, barras conglomerádicas y arenosas pertenecientes a un sistema fluvial con dirección SW (Goso & Perea, 2004).

Tófalo *et al.* (2003) mencionan que a partir de las rocas epiclásticas se puede definir dos sectores con límite transicional. Un sector al Norte con psefitas provenientes de la Formación Arapey (Cretácico Temprano) de la que proceden

clastos de sílice (calcedonia, chert, micro y megacuarzo, etc.), que constituyen las amígdalas de los basaltos, escasos fragmentos muy alterados de estas volcanitas, menores aportes de la Formación Guichón (clastos de areniscas y calcretes) y del basamento precámbrico (metamorfitas y plutonitas).

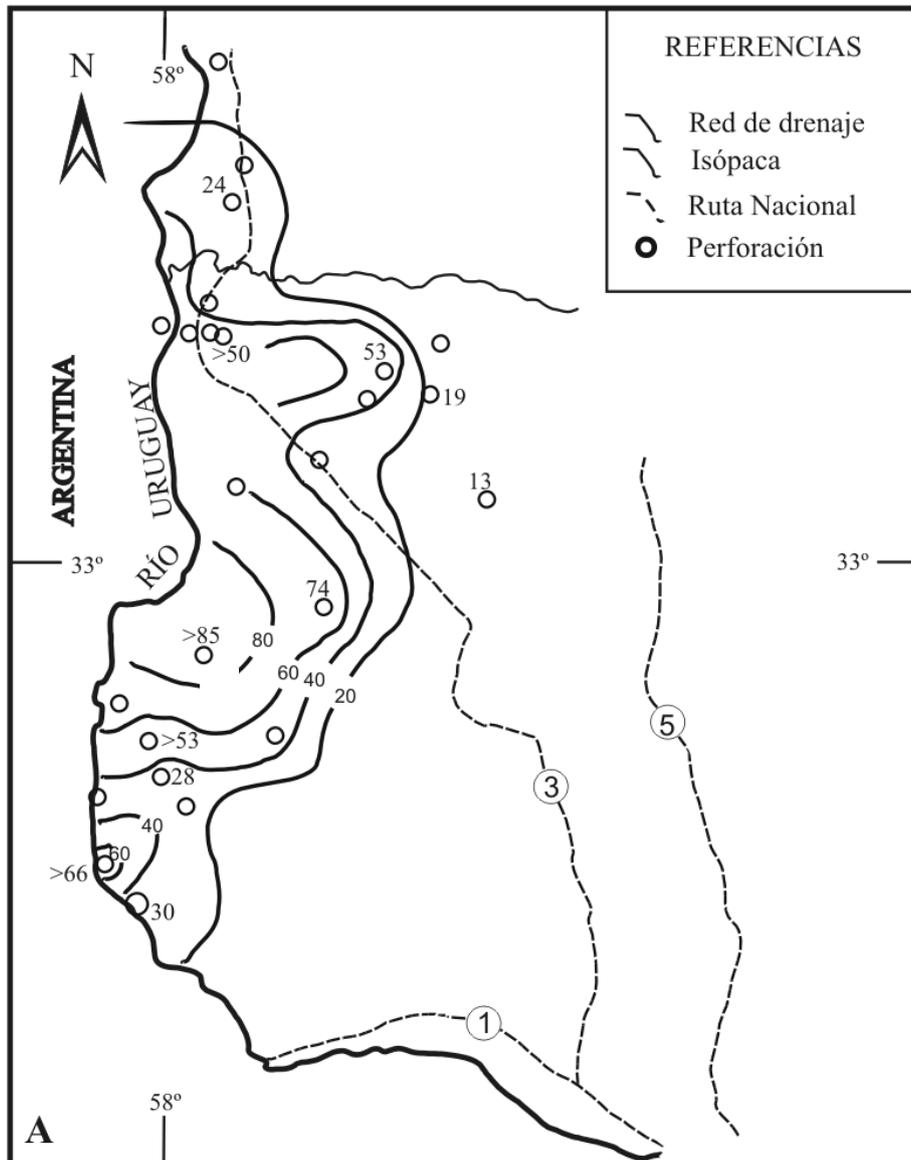


Figura 9 – Mapa de isópacas de la Formación Mercedes (Goso & Perea, 2004).

El otro sector es el centro-sur, donde dominan los clastos de procedencia ígneo-metamórfica (cuarzo policristalino cataclástico, esquistos, gneises), escaso aporte de la Formación Arapey (fragmentos silíceos: chert y calcedonia) y no se observan fragmentos derivados de la Formación Guichón. Asimismo, Tófaló *et al.* (2003) señalan que la diferencia composicional también se observa en las

psamitas y la matriz de la psefitas, las que son cuarzo líticas en la zona norte y cuarzo feldespáticas en la centro-sur. Según estos autores, el predominio de granos estables indica que las epiclastitas se depositaron bajo clima cálido y húmedo, con un área de aporte cratónico y suelos netamente arcillosos indicados por la presencia de palygorskita. Además, Tófalo *et al.* (2003) indican que actuaron importantes procesos diagenéticos sobre las rocas de la Formación Mercedes, afectando su porosidad por iluviación de material arcilloso y/o óxidos de hierro, recristalización y neoformación de material arcilloso, precipitación de carbonato de calcio y sílice y disolución de clastos, matriz y material cementante.

Dado que una importante parte de las litologías arenosas y conglomerádicas de la Formación Mercedes, sufrieron procesos de calcretización produciendo depósitos carbonáticos de espesor decamétrico, Goso (1999) propuso agrupar en una unidad informal y de carácter quimioestratigráfico denominada “Unidad Queguay”. El proceso de calcretización se habría producido durante el Paleoceno y los fósiles asociados al mismo se vinculan a esa época (Veroslavsky & Martínez, 1996; Veroslavsky *et al.*, 1997). El conjunto de estos depósitos carbonáticos se considera que fue generado en ambientes de tipo lacustre. Inclusive fueron definidos como una unidad litoestratigráfica y se los denominó Formación Queguay (Goso, 1965).

Petrográficamente algunas muestras de estas litologías calcáreas mostraron que están compuestas por: a) calciarenitos cuarzosos; b) *wackestones* micríticos con clastos de tamaño variable de cuarzo (a veces con restos de *chert*); c) *mudstones* con alto grado de recristalización y venas de micrita. Estas facies se relacionan en parte, transicionalmente con conglomerados y areniscas y, de forma abrupta con calcáreos nodulares o costras duras (Goso, 1999).

4.1.3. Formación Fray Bentos (Oligoceno tardío)

La distribución de la Formación Fray Bentos es muy amplia, reconociéndose sobre el litoral oeste del país, desde Bella Unión a Colonia, y hacia el Sur y Este fundamentalmente en el ámbito de la Cuenca Santa Lucía y la Cuenca Laguna Merín. La Formación Fray Bentos representa el primer episodio depositacional

preservado del Cenozoico emerso de Uruguay (Veroslavsky & Martínez, 1996). Esta unidad litoestratigráfica es pobre en contenido paleontológico, sin embargo, contiene los mamíferos más antiguos del registro de Uruguay. La Formación Fray Bentos incluye litologías de areniscas finas, limolitas loessicas, fangolitas y niveles conglomerádicos y diamictíticos. Se destaca por parte de algunos autores, la inclusión de trazas vítreas y procesos relativamente intensos de carbonatación y también silicificación, así como de forma más restringida, areniscas medias a gruesas. Esta unidad tiene un color rosado-marrón rojizo. En general suprayace en discordancia a unidades cretácicas y al basamento cristalino, y subyace a depósitos sedimentarios de edades del mioceno, plioceno y pleistoceno.

Romano (1999 en Goso & Perea, 2004) describió las secciones tipo de esta unidad, situadas en el departamento de Río Negro, como facies de limolitas loessicas, paleosuelos y calcretas, y la escasa presencia de depósitos tractivos y de formas erosivas. Este autor infirió que debió haber actuado el viento como factor de transporte y depositación, este agente habría sido discontinuo por los episodios no depositacionales (superposición de paleosuelos). A su vez Goso & Bossi (1966), considerando una extensión geográfica mayor ya que incluyen afloramientos del Sur de Uruguay, delimitaron litologías consistentes esencialmente en conglomerados, arcilitas, limolitas loessicas y areniscas finas. También los paleosuelos son referidos para el departamento de Río Negro por Bossi & Navarro (1991).

5. Antecedentes Hidrogeológicos

5.1. Hidrogeología Regional

Según Montaña *et al.* (2006), dada la conformación geológica del subsuelo, existen varias regiones donde explotar los recursos hídricos subterráneos. Por un lado, las cuencas sedimentarias que poseen unidades en el subsuelo con buena porosidad y permeabilidad, alojándose el agua en los poros denominándose a este tipo de acuíferos: Acuíferos Porosos. Por otro lado, áreas constituidas por rocas cristalinas en donde el agua se almacena en diaclasas y fallas interconectadas, denominados Acuíferos Fisurados.

El territorio uruguayo se divide en tres Provincias Hidrogeológicas (figura 10) de acuerdo con la Carta Hidrogeológica del Uruguay (DINAMIGE, 2003), llamadas Provincia Hidrogeológica Paranaense, Provincia Hidrogeológica Meridional y Provincia Hidrogeológica Costera. A su vez, cada provincia se divide en subprovincias en función del comportamiento hidrogeológico de los materiales del subsuelo a nivel local.

Provincia Hidrogeológica Paranaense, se corresponde con la Cuenca Sedimentaria Norte junto al alto del basamento cristalino llamado Isla Cristalina de Rivera. Dentro de esta Provincia se distinguen las siguientes subprovincias: Subprovincia Precámbrica de Minas de Corrales – Vichadero, Subprovincia Devónica, Subprovincia Pérmica, Subprovincia Hidrogeológica Juro-Triásica, *Subprovincia Cretácica*, Subprovincia Cenozoica.

Provincia Meridional, son todas las rocas precámbricas (excluyendo a la Subprovincia Precámbrica) que presentan, desde el punto de vista hidrogeológico, un comportamiento heterogéneo y constituyen sistema de acuíferos fisurados.

Provincia Costera, incluye acuíferos constituidos por formaciones geológicas de edades cretácicas (Sistema Acuífero Joanicó constituido por las Formaciones Mercedes y Migues) a cenozoicas (Sistema Acuífero Raigón y Sistema Acuífero Chuy).

“Determinación de los niveles de concentración de elementos traza en las aguas subterráneas de los alrededores de la ciudad de Young (Río Negro – Uruguay)”

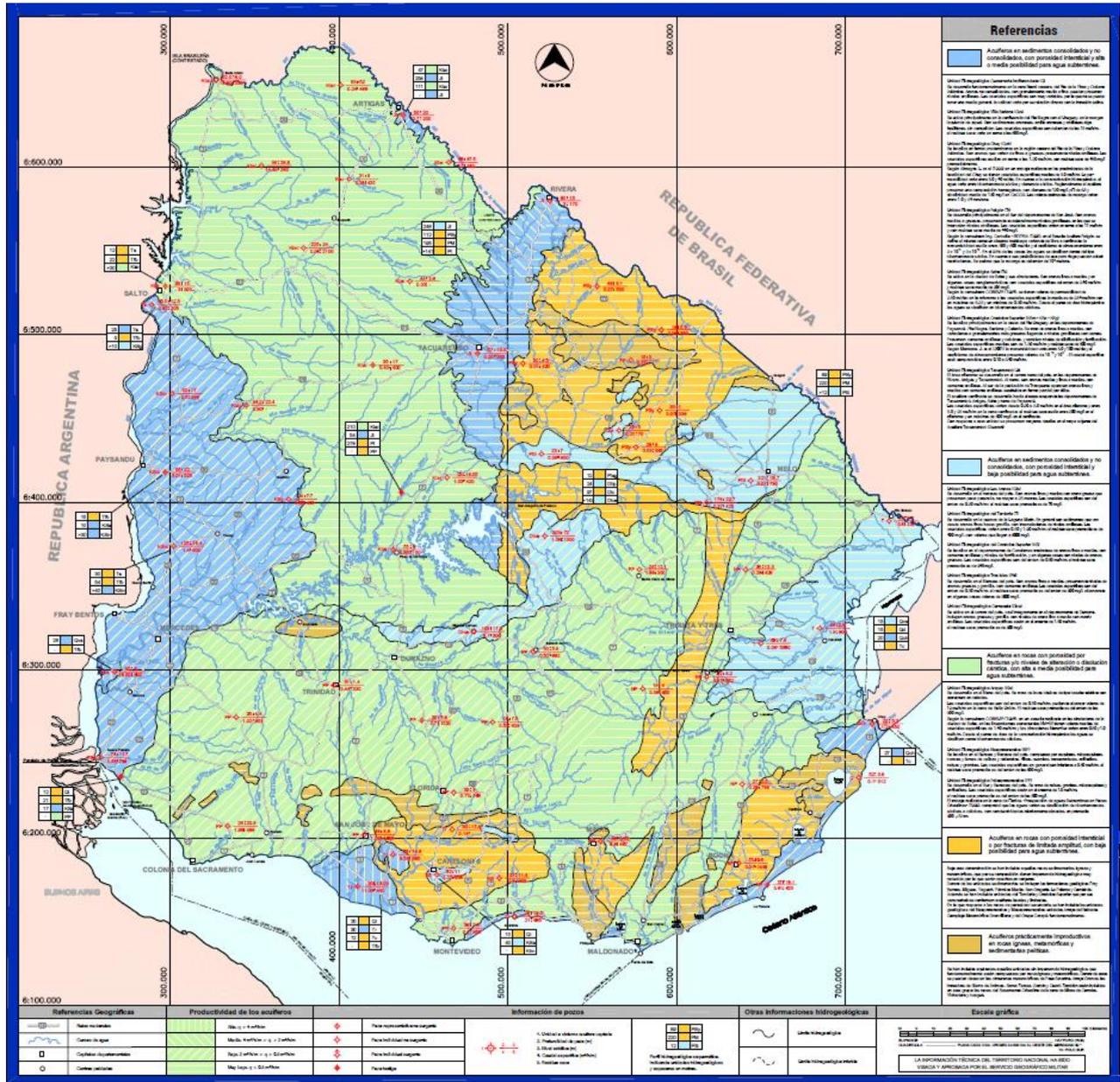


Figura 10 - Mapa Hidrogeológico a escala 1:1.000.000 (DINAMIGE, 2003).

Este trabajo de investigación está situado en la Provincia Hidrogeológica Paranaense y específicamente situado en la Subprovincia Cretácica (figura 11) en la que puede distinguirse dos unidades hidrogeológicas. La primera unidad está constituida por los basaltos de la Formación Arapey (edad Cretácica) en la zona N-NW del país superan los 1.200 metros de espesor y constituyen acuíferos fisurados de media y alta productividad. La segunda unidad está constituida por los sedimentos cretácicos permeables de las Formaciones Mercedes y Guichón. Como se mencionó anteriormente la Formación Mercedes está constituida por

arenas finas y medias, areniscas finas, gruesas y conglomerádicas de color blancuzco a rosado, con cemento arcilloso y calcáreo con presencia de lentes calcáreos y limos arenosos que se comportan como acuitardos, acuífero semiconfinado o como acuífero multicapa. La Formación Guichón está constituida por areniscas conglomerádicas a pelíticas, de permeabilidad variable. El acuífero Cretácico se encuentra tanto semiconfinado como confinado y libre.

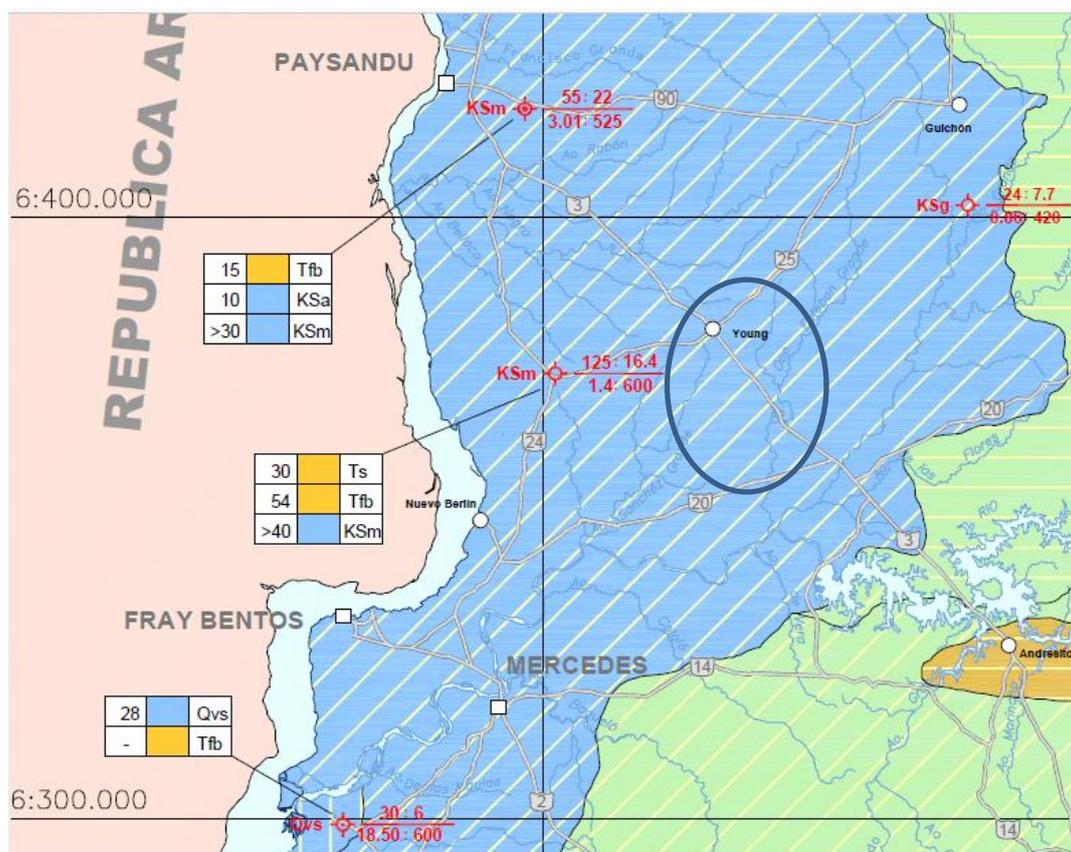


Figura 11 – Detalle del Mapa Hidrogeológico (DINAMIGE, 2003) en la zona de estudio (elipse azul).

La unidad hidrogeológica Cretácico Superior, se localiza principalmente en la costa del Río Uruguay, en los departamentos de Paysandú, Río Negro, Soriano y Colonia. Se trata de arena finas a medias, con variaciones a granulometrías más groseras llegando a niveles gravillosos con cantos. Presentan cemento arcilloso y calcáreo, y también niveles de silicificación y ferrificación. Los caudales específicos medios son de 1.30 m³/h/m y residuo seco de 500 mg/L (DINAMIGE, 2003).

5.2. Hidrogeología Local

El Acuífero Mercedes (figura 11) es uno de los más importantes en lo que refiere a su extensión geográfica (18500 Km²) y recursos disponibles. Las zonas de mayor espesor del acuífero se encuentran al oeste a lo largo del curso del Río Uruguay pudiendo alcanzar hasta 70 metros. Dicho acuífero se encuentra constituido por las Formaciones Mercedes y Asencio, correspondiendo la litología a areniscas conglomerádicas en la base y areniscas finas a medias intercaladas con limos hacia la cima, cementadas por arcillas y calcáreos, totalizando espesores de hasta 150 m. Es común la presencia de silicificación y ferrificación en los sedimentos. El pH de las aguas oscila alrededor de 7,3 y las profundidades de captación ocurren entre los 30 y los 100 metros. El área de recarga se localiza fundamentalmente del lado uruguayo dado que se comparte el mismo con Argentina (Acuífero Transfronterizo Litoral Cretácico), la dirección de flujo se desplaza de Este a Oeste (Programa UNESCO/OEA – ISARM AMÉRICAS, 2010).

El Acuífero Mercedes presenta según Montaña *et al.* (2006) los siguientes parámetros hidráulicos: Transmisividad (T) (m²/día) 5 a 100, Conductividad hidráulica (k) (m/día) 0.12, Coeficiente de almacenamiento (S) 10⁻², Gradiente hidráulico (i) 0.025, Caudal específico (q) (m³/h/m) 0.1 a 3.42, Caudal (Q) m³/h 15-25 m³/h. Así como la profundidad de los pozos varía entre 30–100 metros.

Algunos antecedentes del Acuífero Mercedes se obtuvieron a partir de pozos del Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego (PRENADER). Este Proyecto permitió, entre los años 1996 y 2001, la realización de más de tres mil pozos en todo el país, que tuvo como objetivo central cubrir las necesidades de crecimiento económico sin perder de vista el mantenimiento del equilibrio con el medio ambiente.

6. Resultados y Discusión

6.1. Geología del área de estudio

A nivel superficial, en el área de la ciudad de Young y alrededores, se desarrolla fundamentalmente la Formación Fray Bentos, y de forma muy localizada en la porción centro-sur ocurre la Formación Asencio (figura 12).

A partir de las descripciones litológicas de los pozos proporcionadas por las instituciones estatales, se pudo realizar tres cortes geológicos (ver Anexo 3). Cabe agregar que en general esa información geológica es pobre a muy pobre, imposibilitando la construcción de perfiles detallados y confiables.

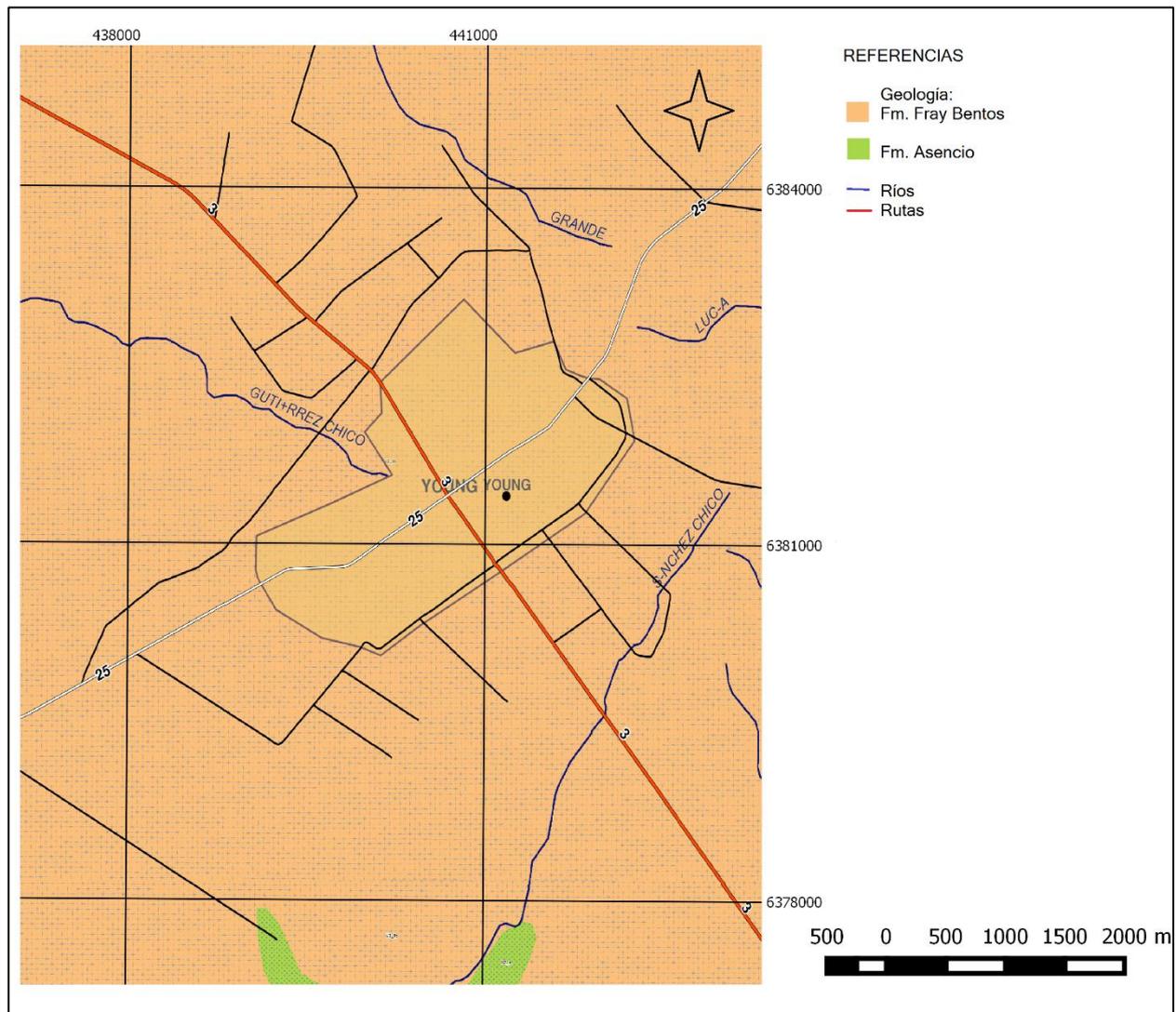


Figura 12 – Mapa Geológico del área de estudio, escala 1:50.000.

6.2. Características de las perforaciones del área de estudio

La misma dificultad mencionada en el apartado anterior en relación con las descripciones litológicas de los pozos, sucede con los datos de los niveles estáticos de algunos de los pozos de DINAGUA y DINAMIGE. Además, no se pudo verificar esos valores de los niveles dado que las coordenadas registradas no coincidían con la realidad. Por esta razón los mismos fueron desechados. Teniendo en cuenta todos estos inconvenientes, para la elección de los pozos a emplear en este trabajo, se puso hincapié en que los mismos extrajeran el agua del Acuífero Mercedes.

Las perforaciones del área de estudio cumplen con lo establecido en la normativa vigente en cuanto a su construcción (Decreto N° 86/004 - Norma Técnica de Construcción de pozos perforados para captación de Agua subterránea). Esta normativa es una de las herramientas principales de control que se aplica en la Gestión de los recursos hídricos por parte del Estado uruguayo.

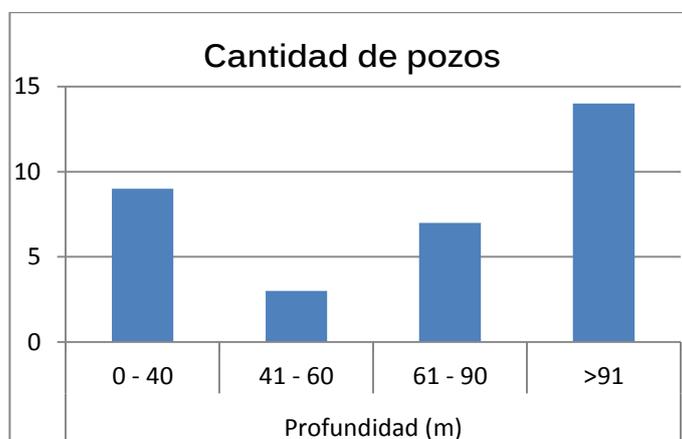


Figura 13 – Histograma de la cantidad de pozos en función de la profundidad.

En primera instancia, las perforaciones fueron caracterizadas en base a sus profundidades. En el cuadro 4 se presenta la lista de perforaciones generada a partir de la información de OSE, DINAGUA y DINAMIGE. Del análisis del total de 33 pozos, surge que las profundidades de estos varían entre 20 y 100 metros. Además, la mayoría de los pozos del área poseen profundidades mayores a 60 m, como se desprende de la figura 13, los pozos más profundos están localizados en la parte centro - oeste de la ciudad de Young (figura 14). Cabe

mencionar que algunos de ellos pertenecen a OSE y a una empresa láctea (CLALDY), y llegan a tener profundidades de alrededor de los 100 y 150 metros respectivamente.

Cuadro 4 – Listado de pozos empleados (fuente OSE, DINAGUA, y DINAMIGE)

Identificación	UTM x	UTM y	Prof. (m)
DIN A 244	440614	6381758	21,5
DIN E 557	441631	6381990	22,5
OSE Young 51.1.011	439275	6379281	24
DIN G 145	441106	6382447	25
DIN A 108	441361	6381515	32,5
PRN20	441183	6382868	34
DIN O 43/1	439605	6382116	35
DIN G 117	440882	6383492	38
DIN A 300	441647	6381439	40,5
DIN A 1134	441261	6381516	46
PRN593	439725	6382135	50
DIN A 295	441053	6382050	50,5
DIN E 551	441613	6381990	61,75
DIN A 730	440785	6381252	63,7
PRN1290	442027	6382409	80
OSE Young 51.1.013	439274	6379281	84
OSE Young 51.1.012	440522	6382884	86
OSE Young 51.4.002	438876	6380548	96
OSE Young 1124/1	440751	6382009	101,5
OSE Young 51.1.004	441934	6382463	104
OSE Young 51.1.008	442623	6378787	178
OSE Young 51.1.015	439260	6379291	198
OSE Young 51.1.007	439298	6377640	200
OSE Young 2627	439811	6380524	110
OSE Young 190	440724	6381713	115
OSE Young 4004	442422	6381594	118,2
5961 - 1	439448	6382752	150
5961 - 2	439555	6382601	150
5961 - 3	439733	6382694	150
5961 - 4	439735	6382692	150
OSE Young 265	440407	6380217	153

Identificación	UTM x	UTM y	Prof. (m)
1007	440205	6379970	90
OSE Young 802	440326	6381817	90,2

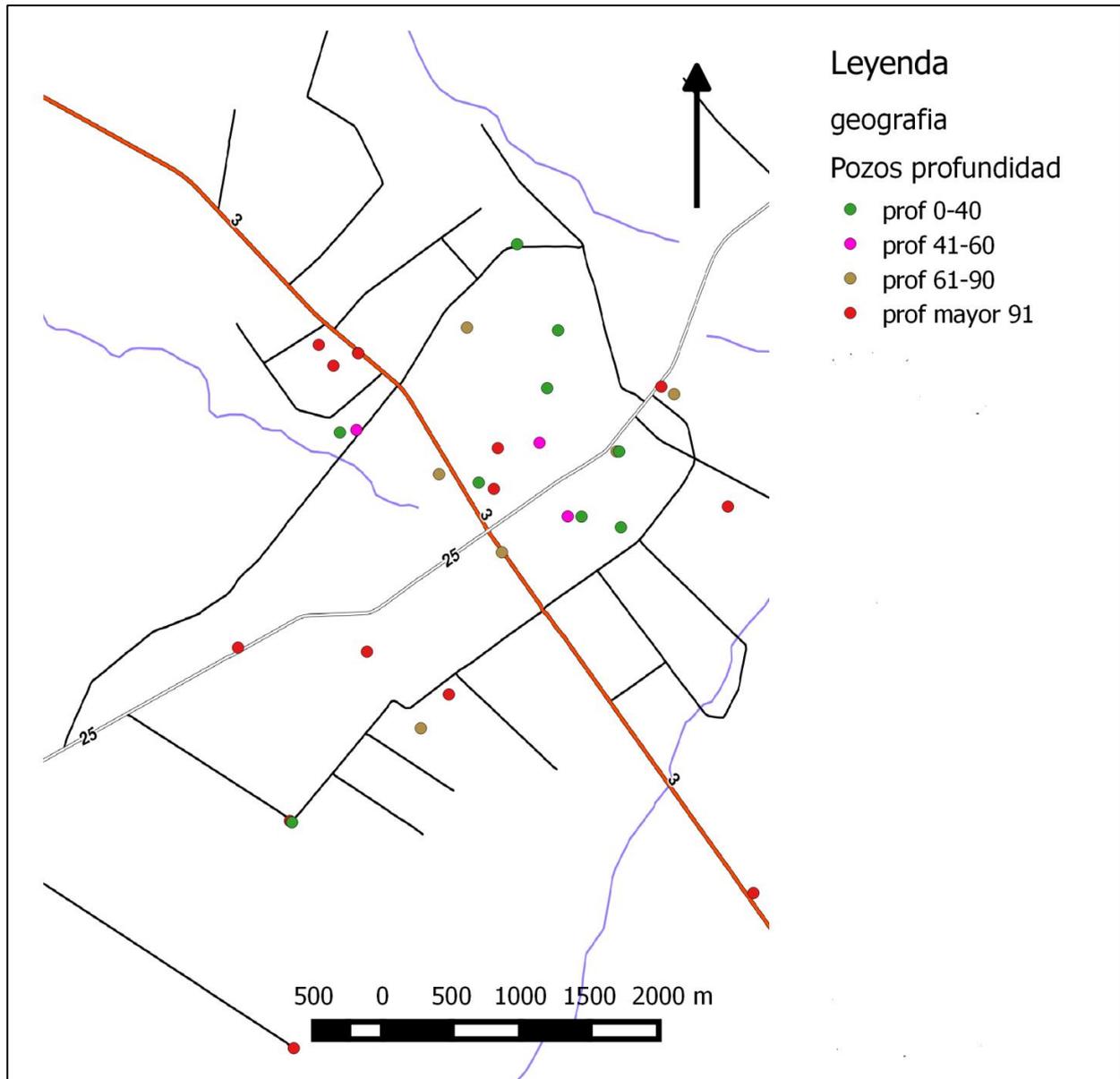


Figura 14 - Distribución de los pozos del área según su profundidad.

6.3. pH, Conductividad Eléctrica y Temperatura

Los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura empleados en la caracterización de las aguas del acuífero Mercedes en el área de Young y alrededores fueron obtenidos en el campo mediante el uso de un peachímetro Hanna, así como también de las bases de datos de perforaciones de las Natalia Cabrera Laborde

instituciones estatales. En el cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de estos parámetros.

Cuadro 5 – Datos de pH, CE y temperatura. En celeste: datos de este trabajo.

Identificación	UTM x	UTM y	pH	CE (µS/cm)	Temp. (°C)
51.1.011	439275	6379281	7,1	638	22
51.1.013	439274	6379281	7,1	590	18
51.1.012	440522	6382884	7,2	628	16
1124/1	440751	6382009	7,3	727	16
51.1.008	442623	6378787	7,5	643	19
51.1.015	439260	6379291	7,7	684	17
51.1.004	441934	6382463	7,2	650	16
51.1.007	439298	6377640	7,4	631	16
51.4.002	438876	6380548	7,3	958	16
NC-P1	441638	6383965	7,24	700	18
NC-P2	441095	6384664	7,37	580	18
NC-P3	440175	6382169	7,25	990	16,3
NC-P4	440472	6380231	7,41	1100	19
NC-P5	441055	6379829	7,28	924	19,3
NC-P6	440645	6380355	7,54	820	16
NC-P7	441766	6379742	7,42	942	15,5
NC-P9	442282	6379047	7,54	808	16,8
NC-P10	441969	6379807	7,22	796	18,5
NC-P11	440053	6382724	7,32	750	17,2
NC-P12	438109	6379994	7,73	797	14,8
NC-P13	438331	6380344	7,26	944	12,5
NC-P14	437950	6380145	7,64	700	17,5
NC-P15	437636	6379980	7,48	774	17,6
NC-P16	437633	6379732	7,49	772	12,1
NC-P17	438205	6380833	7,23	895	15,4
NC-P18	438992	6381322	7,31	616	18,3
NC-P19	440161	6383774	7,32	574	17,5
Promedio			7.4	764.1	15.05

El valor de pH de las aguas naturales se encuentra entre 4 y 9, particularmente, el valor de pH de las aguas subterráneas se encuentra entre 5.5 y 8.6. El pH

mayor a 7 es debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos, mientras que la lluvia ácida puede hacer descender su valor por debajo de 7 (Custodio & Llamas, 1983). El pH tiene un importante rol en la química del agua afectando sus propiedades de corrosión, alcalinidad, dureza, acidez.

Las aguas subterráneas estudiadas presentan una temperatura promedio de 15.05°C. Las mismas registran un pH promedio de 7.4, y se observa que los valores más altos se encuentran al sur – oeste del área de estudio, llegando a máximos de 7.73 (figura 15).

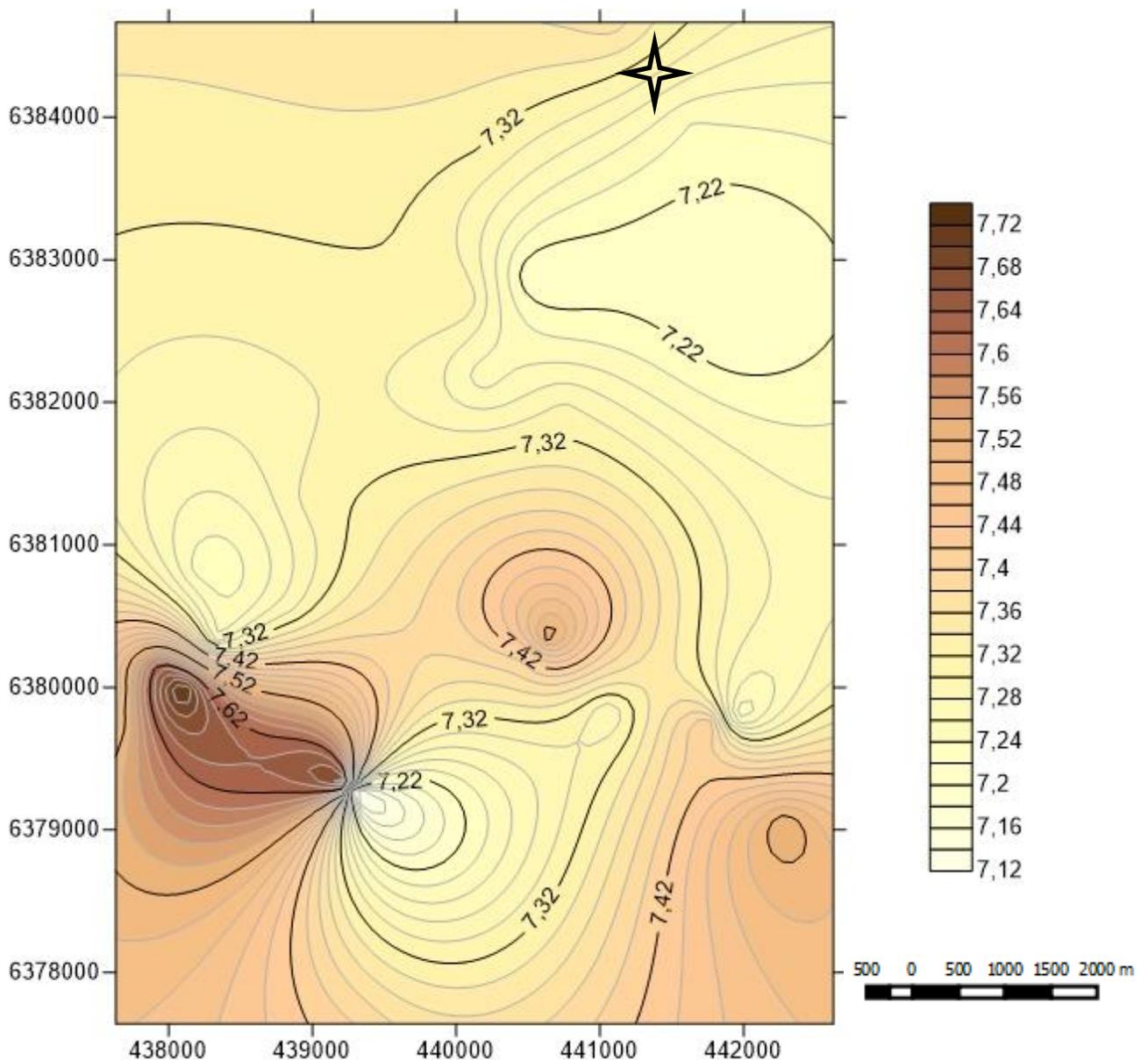


Figura 15 – Mapa de isovalores de pH para las aguas del Acuífero Mercedes en el área de estudio.

En cuanto a la CE el promedio es de 764.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$; además, se observa que los valores más altos de conductividad se ubican en el sector central del área de estudio (figura 16), con valores por encima de los 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aumentando hasta un valor de 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Las variaciones de CE en el agua subterránea están condicionadas por las precipitaciones, el caudal de los ríos, los usos del suelo y sus modificaciones, la aplicación de riego y los focos de contaminación presentes. En los sectores cercanos a los núcleos urbanos e industriales, la contaminación juega un papel determinante, pudiendo incluso existir procesos contaminantes que requieran cierto tiempo para su desaparición, dificultando el establecimiento de patrones hidrogeológicos naturales (Rodríguez *et al.*, 2010).

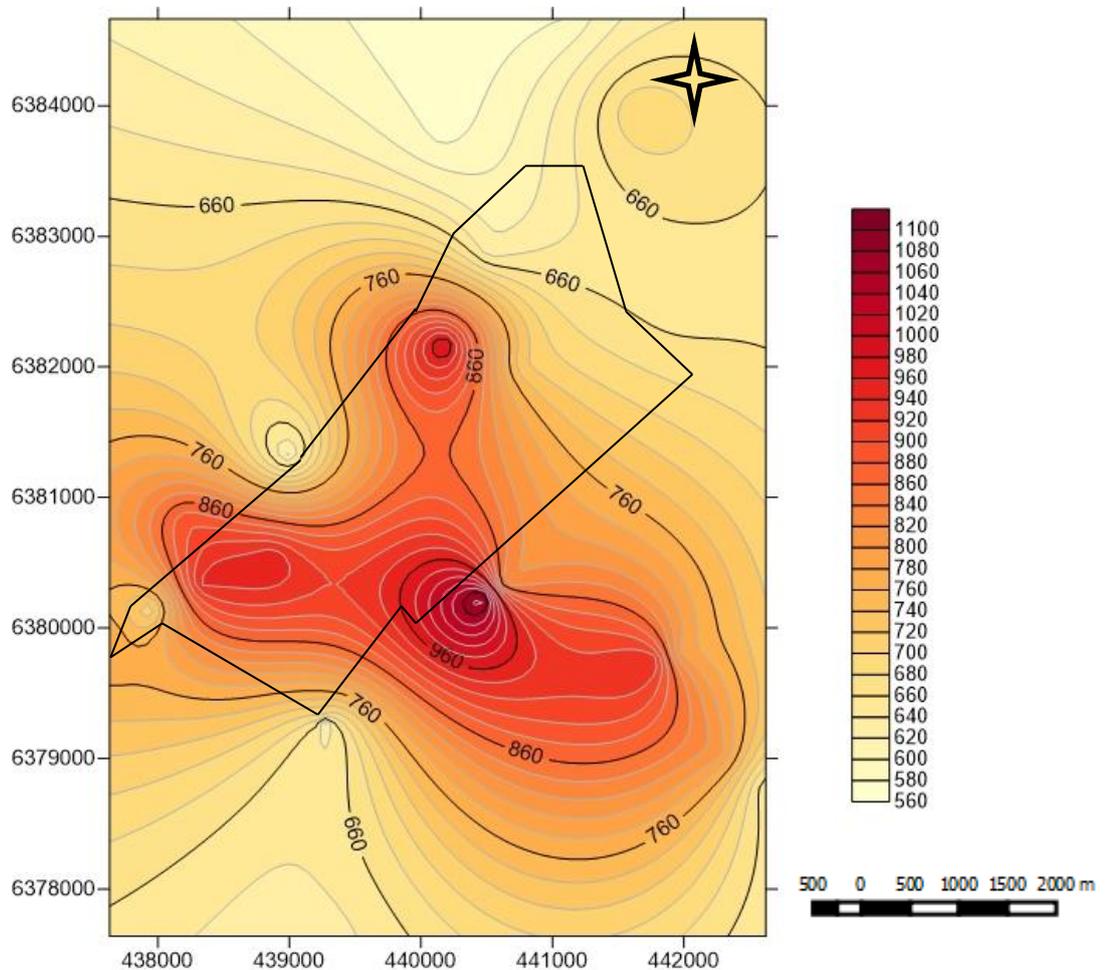


Figura 16 – Mapa de isovalores de conductividad eléctrica de las aguas subterráneas del área de estudio.

Por tanto, los datos obtenidos aquí de pH, T y CE coinciden con los reportados por OSE, por el PROGRAMA UNESCO/OEA – ISARM AMÉRICAS (2010) y por los trabajos de Manganeli *et al.* (2007) y Goso *et al.* (2008).

6.4. Piezometría

Para elaborar el mapa piezométrico se contó con los datos obtenidos en el muestreo y con los aportados por las instituciones estatales (cuadro 6). De los mismos se desprende que los pozos del área de estudio se caracterizan por tener un nivel piezométrico promedio de 67.4 m. Además, se observa que en la mayoría de los pozos el nivel estático se encuentra entre los 11 y 15 m de profundidad (figura 17).

Cuadro 6 – Pozos con información piezométrica. Ubicación (UTM), nivel estático (NE), cota, y nivel piezométrico (NP). Fondo celeste pozos muestreados aquí.

Identificación	UTM x	UTM y	NE (m)	COTA (m)	NP (m)
DIN A 244	440614	6381758	19	90	71
DIN A 108	441361	6381515	17,8	89	71.2
PRN20	441183	6382868	2,2	75	72,8
DIN A 300	441647	6381439	13,8	89	75.2
DIN A 1134	441261	6381516	10,8	87	76.2
DIN A 295	441053	6382050	15,3	87	71.7
DIN A 730	440785	6381252	9,8	83	73.2
51.1.013	439274	6379281	3	72	69
DIN A 351	440555	6380936	15,8	80	64,2
51.1.012	440522	6382884	15,5	80	64,5
1124/1	440751	6382009	13,2	82	68,8
51.1.008	442623	6378787	4,5	68	63.5
51.1.015	439260	6379291	12,6	69	56.4
51.1.004	441934	6382463	18,3	86	67.7
51.1.007	439298	6377640	3,8	73	69.2
2627	439811	6380524	18	85	67
190	440724	6381713	14.7	90	75.3
4004	442422	6381594	21,65	76	54.35
5961 - 1	439448	6382752	15	77	62
5961 - 2	439555	6382601	19	83	64
5961 - 3	439733	6382694	18	82	64

Identificación	UTM x	UTM y	NE (m)	COTA (m)	NP (m)
5961 - 4	439735	6382692	18	82	64
265	440407	6380217	22,48	84	61.52
395	439729	6382124	3,5	73	69.5
PRN593	439725	6382135	5	74	69
1007	440205	6379970	18,9	80	61.1
51.4.002	438876	6380548	6,9	71	64.1
NC-P1	441638	6383965	8	81	73
NC-P2	441095	6384664	15,01	87	71.99
NC-P3	440175	6382169	1,74	76	74.26
NC-P6	440645	6380355	14,1	82	67.9
NC-P7	441766	6379742	7,76	74	66.24
NC-P8	441845	6379639	4,43	69	64.57
NC-P9	442282	6379047	13,55	77	63.45
NC-P13	438331	6380344	8,4	77	68,6
NC-P14	437950	6380145	14,65	81	66.35
NC-P15	437636	6379980	12,18	83	70.82
NC-P16	437633	6379732	12,77	79	66.23
NC-P18	438992	6381322	13,27	78	64.73
NC-P19	440161	6383774	6,32	74	67.68

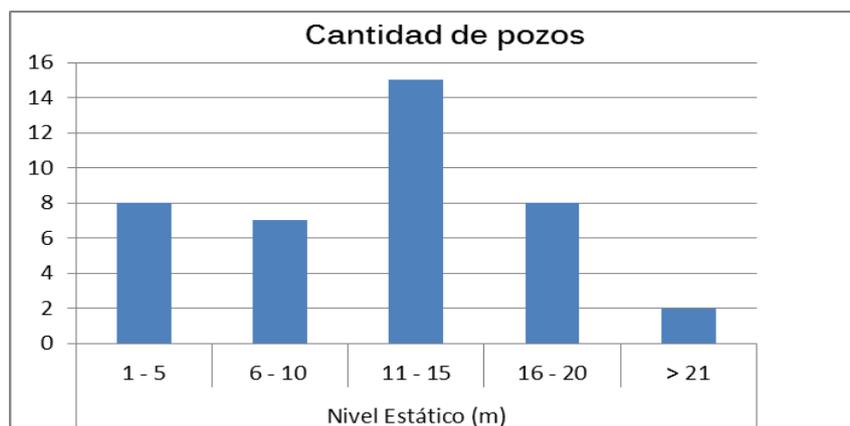


Figura 17 – Cantidad de pozos en función del nivel estático.

En función de los datos piezométricos, se construyó un mapa de isopiezas, es decir una representación en planta de la distribución del potencial hidráulico del agua del acuífero (Custodio & Llamas, 1983). Este mapa piezométrico del

área de estudio se realizó a escala 1:50.000 donde las isopiezas se han representado con equipotenciales cada 1 metro (figura 18), y tomando en cuenta únicamente los pozos relevados en este trabajo.

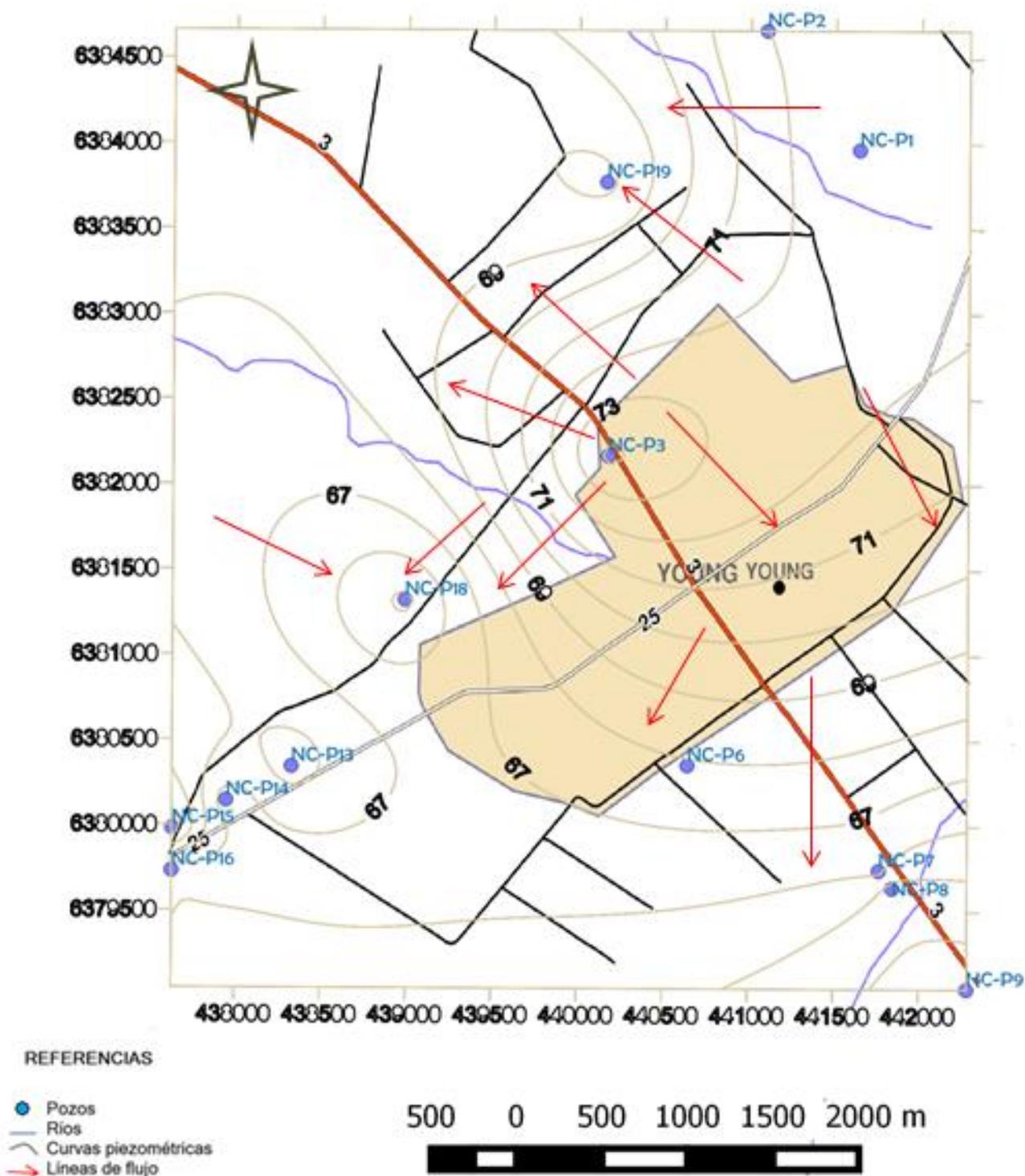


Figura 18 – Mapa piezométrico del acuífero en el área de la ciudad de Young.

La razón de la exclusión de varios de los pozos de la zona se debió a que generaban distorsiones en la piezometría. Por un lado, se observó un rebajamiento o depresión importante de los niveles estáticos producto del intenso bombeo de los pozos y del caudal extraído, generando sumideros. Esto fue fundamentalmente el caso de los pozos de OSE, en los que además no se pudo medir los niveles. Por otro lado, se observó estrangulamientos de las curvas.

En el mapa piezométrico de la figura 18, se identifica que el flujo de las aguas subterráneas va de SE – NW en el Norte y al SW en el Sur. Asimismo, se destaca que los ríos presentes en el área de estudio (Sánchez Chico, Gutiérrez Grande, Gutiérrez Chico y Lucía), no estarían interfiriendo o influyendo en la dinámica del acuífero. Observaciones semejantes pueden ser deducidas del mapa piezométrico del Acuífero Mercedes a escala 1:5.000.000 elaborado por el Fondo Conjunto de Cooperación México – Uruguay (2017). En ese trabajo se menciona que el área de recarga del acuífero es al NE y SE, y que la recarga de este proviene principalmente de las infiltraciones de agua de lluvia. Además, los autores descartan la recarga inducida, debido a que no existen desarrollos agrícolas o asentamientos humanos de importancia que puedan generar una recarga como producto de los retornos de riego o infiltraciones producto de infraestructura hidráulica.

6.5. Hidrogeoquímica

6.5.1. Control de calidad de los resultados analíticos

Los resultados analíticos se presentan en el Anexo 1A. Como fuera indicado en Metodología (ítem 3), se analizó junto con las muestras de agua de los pozos una muestra del blanco. Además, fue realizado por parte del Laboratorio *Bureau Veritas (Acmelab)*, un Informe de Control de Calidad con repetición de la muestra P9 que se incluye en el Anexo 1B.

En función de los valores obtenidos para el blanco, se resolvió no emplear las variables Al, Br, Cu, K, Mn, Mo, P, Pb, Rb, Sb y Zn, debido a que presentaron valores elevados en éste. Estos parámetros seguramente fueron introducidos por

el HNO₃ utilizado y/o por el agua milli-Q empleados para su preparación en la Unidad de Laboratorios Prácticos de la Facultad de Ciencias.

Las variables Ba, Ca, Li, Mg, Na, Si, Sr, y F, si bien registraron valores para el blanco por encima del límite inferior de detección, estos registros fueron varios órdenes de magnitud inferior que los valores obtenidos para las muestras, por lo que fueron igualmente tenidos en cuenta para la interpretación.

Finalmente, las variables Ag, Au, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Hf, Hg, Ho, In, La, Lu, Nb, Nd, Ni, Pd, Pr, Pt, Re, Rh, Ru, Se, Sm, Sn, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, Tm, W, Y, Yb, y Zr, presentaron todos o la mayoría de sus valores por debajo del límite de detección, por lo que no fueron tenidos en cuenta para la interpretación. Por lo mencionado anteriormente, se trabajó con las siguientes variables: As, B, Ba, Ca, Cl, F, Ge, Li, Mg, Na, S, Sc, Si, Sr, U y V. Asimismo, se presenta en el Anexo 2 la distribución de los resultados para cada uno de esos parámetros en función de su concentración.

6.5.2. Estadística descriptiva de los resultados analíticos

Con el objetivo de caracterizar los resultados, se realizó una estadística descriptiva, y se estudió la correlación entre los parámetros a través de gráficos de dispersión y del agrupamiento de las variables.

Cuadro 7 – Estadística descriptiva de los valores (ppm y/o ppb) obtenidos en el muestreo de las aguas subterráneas de la ciudad de Young y alrededores.

Variable	Cant	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
As (ppb)	11	13,35	5,58	4,30	14,20	24,20
B (ppb)	11	87,64	31,54	34,00	81,00	131,00
Ca (ppm)	11	101,70	27,00	62,91	93,62	165,23
Cl (ppm)	11	9,18	13,98	2,00	3,00	48,00
Ge (ppb)	11	0,1336	0,0372	0,0600	0,1400	0,2000
Li (ppb)	11	28,83	8,36	12,10	31,40	38,70
Mg (ppm)	11	13,28	7,65	4,18	10,42	29,08
Na (ppm)	11	40,24	20,64	6,36	41,60	80,83
S (ppm)	8	3,000	1,773	1,000	2,000	6,000
Sc (ppb)	11	4,818	0,751	4,000	5,000	6,000
Si (ppb)	11	37370	4770	31928	36201	47269
Sr (ppb)	11	624,9	182,2	415,1	563,8	1075,9
U (ppb)	11	4,713	2,347	1,520	5,010	9,470
V (ppb)	11	60,99	13,31	29,00	63,80	75,90
F (ppb)	11	0,7382	0,2690	0,3400	0,8000	1,1000

En el cuadro 7 se presentan los resultados de la estadística descriptiva, donde se reflejan los valores máximo, mínimo, media, mediana y desviación estándar. Asimismo, en el cuadro 8 se presenta la matriz de correlación con los valores del coeficiente de correlación de Spearman y el valor p (< 0.05) para establecer si la correlación es estadísticamente significativa.

En el cuadro 8 se observan las siguientes correlaciones estadísticamente significativas: Li-B; Na-B; U-B; V-B; F-B; pH-Ca; Na-Cl; Cond. Eléctrica-Cl; Mg-Li; U-Li; V-Li; F-Li; Si-Mg; Sr-Mg; Sc-Na; U-Na; V- Na; Sr-Si; F-Sr; V-U; F-U; F-V (gráficos en Anexo 3). En base a esto, se realizaron para algunos pares de elementos con significado geológico - mineral, los gráficos de dispersión que muestran dichas correlaciones.

Cuadro 8 - Correlación de Spearman (valor p < 0.05) de los resultados analíticos de las aguas subterráneas de la ciudad de Young y alrededores.

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para ρ	Valor p
Li	B	11	0,636	(-0,008; 0,907)	0,035
Na	B	11	0,8	(0,294; 0,956)	0,003
U	B	11	0,864	(0,459; 0,972)	0,001
V	B	11	0,782	(0,253; 0,951)	0,004
F	B	11	0,864	(0,459; 0,972)	0,001
pH	Ca	11	-0,624	(-0,903; 0,026)	0,04
Na	Cl	11	0,645	(0,005; 0,910)	0,032
Cond	Cl	11	0,86	(0,448; 0,971)	0,001
Mg	Li	11	0,636	(-0,008; 0,907)	0,035
U	Li	11	0,718	(0,126; 0,933)	0,013
V	Li	11	0,682	(0,063; 0,922)	0,021
F	Li	11	0,773	(0,233; 0,949)	0,005
Si	Mg	11	0,927	(0,670; 0,986)	0
Sr	Mg	11	0,891	(0,542; 0,978)	0
Sc	Na	11	-0,618	(-0,901; 0,035)	0,043
U	Na	11	0,864	(0,459; 0,972)	0,001
V	Na	11	0,764	(0,214; 0,946)	0,006
F	Na	11	0,764	(0,214; 0,946)	0,006
Sr	Si	11	0,9	(0,572; 0,980)	0
F	Sr	11	0,618	(-0,034; 0,901)	0,043
V	U	11	0,791	(0,273; 0,953)	0,004
F	U	11	0,9	(0,572; 0,980)	0
F	V	11	0,882	(0,513; 0,976)	0

Para el caso del Cl con relación a los parámetros Na y Conductividad Eléctrica (CE), si bien presenta buen coeficiente de correlación en la matriz, no se observa

nítidamente esto a través de los gráficos de la figura 19A y 19B. Buena correlación de manera gráfica muestran los siguientes pares de parámetros: F-B; Li-B; F-Li; Ca-pH; Mg-Si (figura 19C a G).

De acuerdo con Zunckel *et al.* (2003), son cuatro fuentes principales que contribuyen a la química del agua de lluvia: terrestres (roca, suelo y polvo), agrícolas (ganado y fertilización de cultivos), marina (la entrada de aire marino del océano Atlántico) y quema de biomasa (incendios forestales y madera como combustible). Estos autores indican que las dos primeras fuentes contribuyen con la química del agua de lluvia a escala local y sub-regional, la marina tiene influencia a escala regional mientras que la quema de biomasa se produce tanto a escala local como sub-regional. Por lo que, la presencia y concentración de los elementos químicos del agua subterránea depende de la composición del agua de recarga y de la mineralogía de las formaciones geológicas que conforman al acuífero.

La mineralogía (*e.g.* interacción agua-roca) puede controlar la adsorción, desorción, y el transporte de los elementos trazas, y juega un papel muy importante en los mecanismos de la contaminación ambiental. El impacto de las actividades humanas y los parámetros ambientales pueden afectar también la movilidad geoquímica de ciertos constituyentes en el agua subterránea.

Si bien el objetivo del trabajo no es establecer el control geológico-geoquímico de la calidad del agua subterránea de la ciudad de Young, algunos comentarios son planteados aquí. En general, la mayoría de los autores señala que la presencia elevada de elementos como As, F, Li, y B, entre otros, se asocia a la existencia de rocas volcánicas tales como vidrio volcánico, sedimentos y tufos alterados que aportan estos elementos al agua al disolverse. Particularmente esta ha sido una explicación para la presencia de As en nuestro país (*e.g.* Montañó *et al.*, 2006; Guerequiz *et al.*, 2006; Manganelli *et al.*, 2007; Mañay *et al.*, 2013).

Por un lado, los elementos F, B, Li, V, U, Na y K, suelen ocurrir en minerales principales y accesorios comunes (ej. micas, turmalina) tanto en las rocas ígneas graníticas como en las sedimentarias. Tófalo *et al.* (2003) señalan en un estudio

mineralógico de la Formación Mercedes, la presencia de minerales accesorios, micas (biotita) y epidoto. Esto podría explicar las correlaciones observadas.

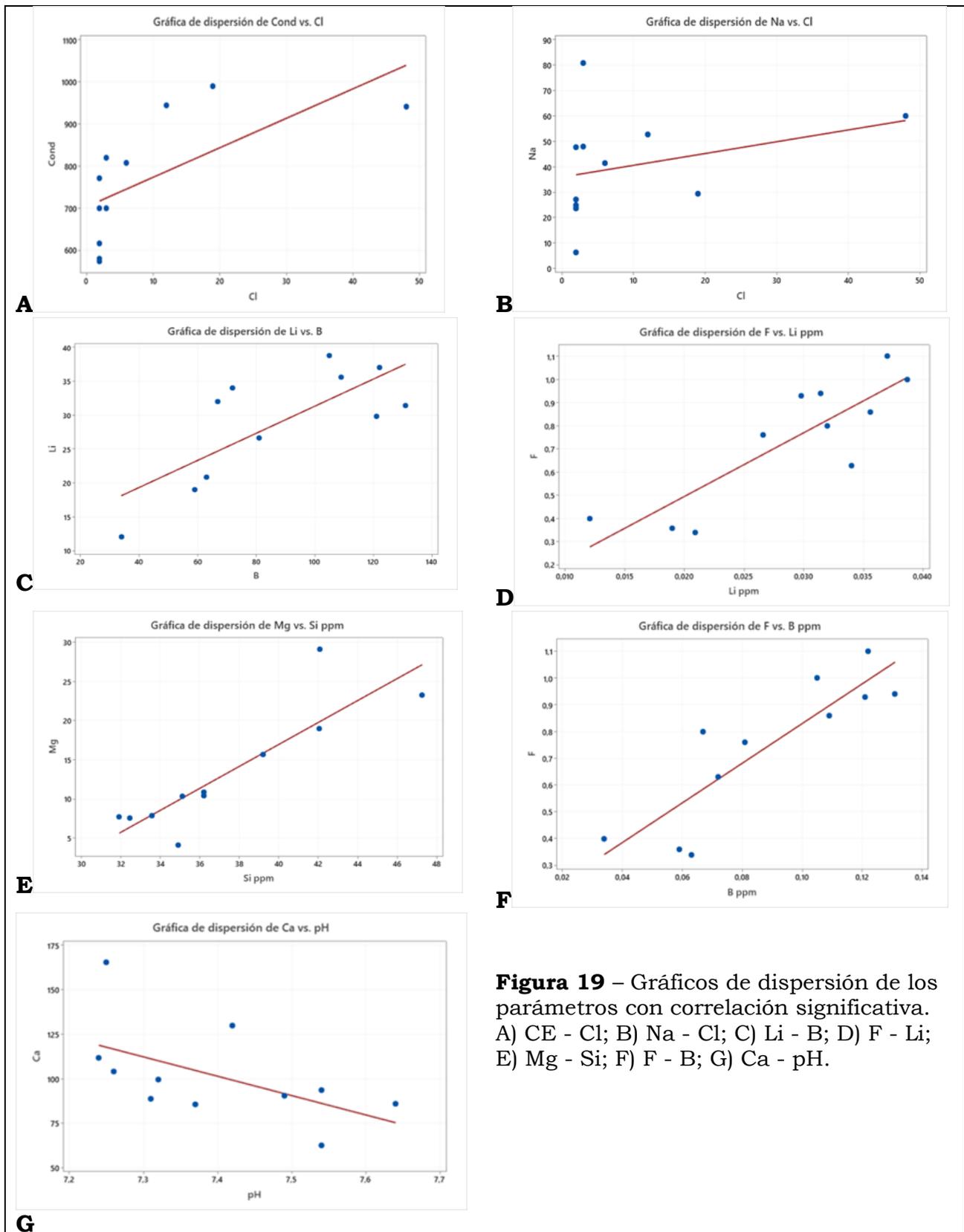


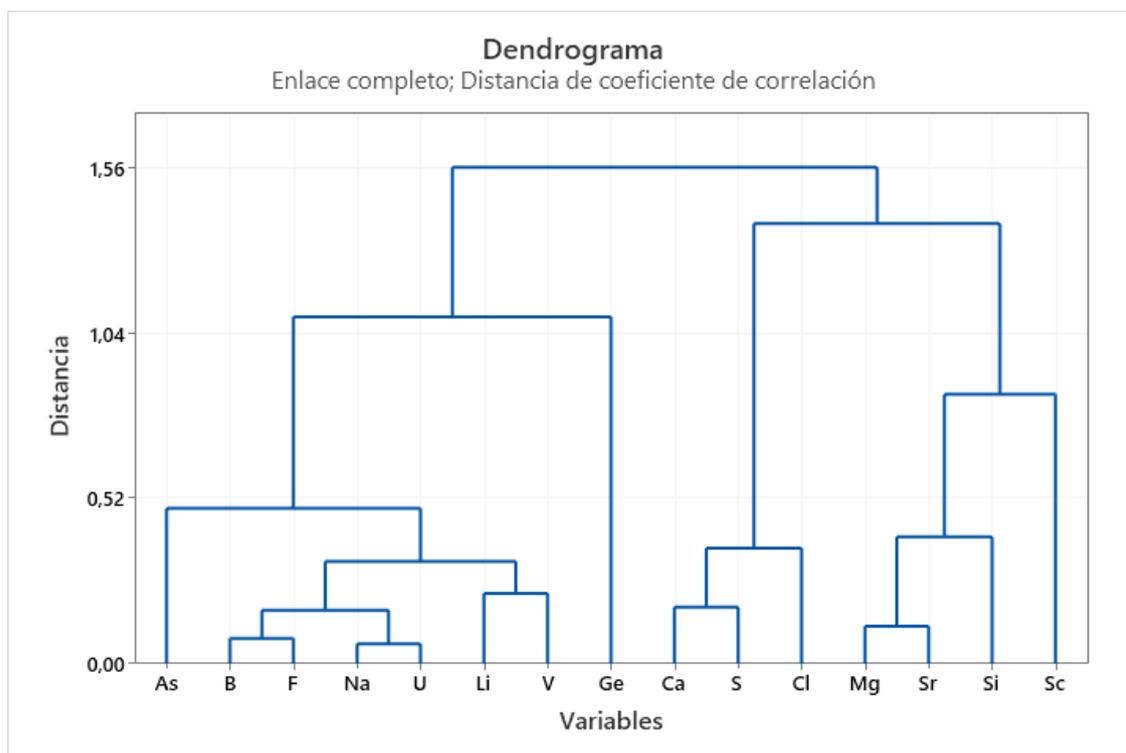
Figura 19 – Gráficos de dispersión de los parámetros con correlación significativa. A) CE - Cl; B) Na - Cl; C) Li - B; D) F - Li; E) Mg - Si; F) F - B; G) Ca - pH.

Por otro lado, debido a la falta de correlación entre los elementos Mg y Ca, las aguas subterráneas estudiadas no tendrían reacciones de intercambio catiónico entre ellos. Los fenómenos de intercambio iónico suelen presentar correlación inversa cuando existen.

La relación inversa del Ca con el pH (figura 19G), se explicaría por la disolución de carbonatos (o su precipitación) en función del pH. A menores valores de pH habría mayor disolución de carbonatos, por lo que aumentaría su contenido.

En base a la agrupación de las variables representada en el dendrograma del cuadro 9, se observa dos asociaciones. Un grupo señala la asociación de As, B, F, Na, U, Li, V y Ge, donde la mayoría de estos elementos constituyen los litófilos. El otro grupo, involucra a los elementos Ca, S, Cl, Mg, Sr, Si, Sc, pH y CE. Por lo que de acuerdo con las correlaciones existentes entre parámetros como por ejemplo U, V, Li, B y F, son elementos químicos que están asociados a silicatos como turmalina, micas (biotita), anfíboles, presentes en rocas ígneas graníticas y volcánicas. Estos tipos litológicos se encuentran en el área, ya sea en el basamento cristalino como en la Formación Arapey.

Cuadro 9 – Dendrograma de las variables analizadas.



En cuanto a las variables pH, Ca, Cl, CE y Na, estas suelen estar relacionadas en las aguas subterráneas. La presencia de Na en el agua subterránea podría deberse a la disolución de minerales silicáticos tales como plagioclasa sódica y sodico-cálcicas. El Ca suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión tanto en rocas ígneas, sedimentarias como metamórficas. En las rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos, especialmente en el grupo de las plagioclasas cálcicas y calco-sódicas. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato. Así la precipitación del Ca se produce al aumentar el pH, dado que éste juega un papel importante en su comportamiento químico como se desprende de la siguiente ecuación: $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$

Asimismo, con el aumento de niveles de concentración de ion cloruro en el agua (aumento de contenido iónico), aumenta la conductividad eléctrica en la misma. El aumento de Cl (por la elevada solubilidad de sus sales), puede darse, por ejemplo, por el aporte de agua de lluvia siendo una fuente importante. Si bien se considera que la influencia del ion cloruro en las aguas de lluvia disminuye con la distancia a la costa oceánica (Custodio & Llamas, 1983), estudios realizados en el noreste del país han mostrado que dependiendo del sistema de vientos y la procedencia del agua de lluvia, pueden ocurrir concentraciones en el entorno de 28 ppm de Cl en las aguas de lluvia (Zunckel *et al.*, 2003). El ion Cl es conservativo, podría ser incorporado a partir del agua de recarga. Otra posible fuente de Cl podría ser la disolución de silicatos hidratados, como los anfíboles, que suelen contenerlo en su estructura (Klein & Hurlbut, 2003).

6.5.3. Factor de enriquecimiento composicional

El agua subterránea que transita a través de una unidad geológica es capaz de disolver y/o movilizar elementos químicos, lo que genera un aumento en los niveles de concentración de éstos. Por lo que el nivel de concentración de los elementos químicos está directamente relacionado con el tiempo de contacto con la roca encajante, con la composición química de la misma, así como con el ambiente hidrogeoquímico, con la trayectoria del flujo y con el tiempo de residencia.

Con el objetivo de determinar la diferenciación composicional de las aguas del Acuífero Mercedes en el área de estudio, se calculó el factor de enriquecimiento de los distintos elementos estudiados en relación con las aguas superficiales. Se tomó como base de comparación para las aguas superficiales a los valores medios mundiales sugeridos por Gaillardet *et al.* (2003), ya que no se pudo obtener esa información para las aguas superficiales o de lluvia del país. A partir del factor de enriquecimiento calculado (cuadro 10) surge que todos los elementos estudiados presentan enriquecimientos elevados, variando desde aproximadamente 8 a 85 veces el valor de las aguas superficiales. Si bien puede haber parámetros químicos que tengan origen por contaminación antrópica, se entiende que ese enriquecimiento general es de origen geogénico debido a la interacción agua – roca que ocurre en este acuífero.

Cuadro 10 – Factor de enriquecimiento de algunos elementos traza en relación con el promedio mundial de las aguas de ríos (tomado de Gaillardet *et al.*, 2003).

Trazas en aguas de ríos	Promedio de trazas en aguas de ríos (ppb)	Promedio de trazas en el Acuífero Mercedes (ppb)	Factor de enriquecimiento
As	0,62	13,34	21,51
B	10,2	87,6	8,58
Ba	23	564,68	24,55
Ge	0,0068	0,13	19,11
Li	1,84	28,82	15,66
Sc	1,2	61,17	50,97
Sr	60	624,9	10,41
U	0,372	4,71	12,66
V	0,71	60,9	85,77

Cabe agregar que las litologías que intervienen en el acuífero, ya sea como la roca contenedora del agua, así como su base o techo, permiten explicar la aparición de esas concentraciones. En este sentido, en el cuadro 11, se presenta la composición media de granitos, basaltos, y lutitas (Krauskopf, 1979). En función de esto, se puede explicar la ocurrencia de los elementos trazas a partir de las litologías ígneas y sedimentarias que ocurren en el acuífero. Por ejemplo, en el caso del elemento B los basaltos contienen alrededor de 5 ppm, mientras

que las rocas sedimentarias tienen una abundancia de 100 ppm, y la concentración en las muestras de agua es en promedio 0.131 ppm.

Cuadro 11– Abundancias medias de elementos traza en la corteza terrestre en tres rocas comunes (mg kg⁻¹), y en el agua de mar (mg l⁻¹) (Krauskopf, 1979).

Element	Crust	Granite	Basalt	Shale	Seawater
Ti	5000	2100	9000	4500	0.001
P	1100	700	1400	750	0.06
Mn	1000	500	1700	850	2×10 ⁻⁴
F	650	800	400	600	1.3
Ba	500	700	300	600	0.02
Sr	375	300	450	400	8.0
V	110	50	250	130	0.0025
Cr	100	20	200	100	3×10 ⁻⁴
Rb	90	150	30	140	0.12
Ni	75	0.8	150	80	0.0017
Zn	70	50	100	90	0.0049
Cu	50	12	100	50	5×10 ⁻⁴
Co	22	3	48	28	5×10 ⁻⁵
Li	20	30	12	60	0.18
Pb	12.5	20	3.5	20	3×10 ⁻⁵
B	10	15	5	100	4.4
Be	3	5	0.5	3	6×10 ⁻⁷
Cs	3	5	1	7	4×10 ⁻⁴
As	1.8	1.5	2	10	0.0037
Mo	1.5	1.5	1	2	0.01
Cd	0.15	0.1	0.2	0.3	1×10 ⁻⁴
Ag	0.07	0.04	0.1	0.1	4×10 ⁻⁵
Se	0.05	0.05	0.05	0.6	2×10 ⁻⁴
Hg	0.02	0.03	0.01	0.3	3×10 ⁻⁵

6.5.4. Componentes mayores

Debido a que OSE realiza análisis de alcalinidad, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, NH₄⁺, y dureza, además de los de potabilidad, para establecer el tipo de agua del Acuífero Mercedes, se emplearon esos datos junto con los cationes analizados a través de este proyecto (figura 20) para caracterizarla. De acuerdo con este proceder, en donde los datos de aniones y cationes no corresponden a los mismos pozos (cuadro 12), se entiende que esta tipificación es estimada.

El agua subterránea se clasifica como bicarbonatada cálcica dado que predominan los cationes de Ca^{2+} pudiéndose deber al cemento calcáreo (figura 20). No obstante, eventualmente se la podría estimar como bicarbonatada sódica.

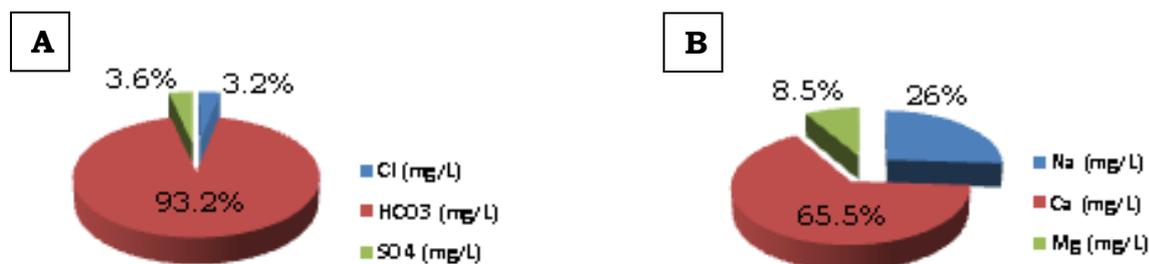


Figura 20 – Gráfico de estimación del tipo de agua subterránea: A) Gráfico de aniones; B) Gráfico de cationes.

Cuadro 12– Tabla con los iones mayoritarios de las aguas analizadas (cationes analizados en el agua muestreada y aniones proporcionados por OSE).

Muestra	Cationes			Pozos	Aniones		
	Na^+ (mg/L)	Ca^{2+} (mg/L)	Mg^{2+} (mg/L)		Cl^- (mg/L)	HCO_3^- (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)
P1	24,89	111,94	10,35	1124/1	14	324	14
P2	47,82	85,84	15,73	51.1.013	10	293	10
P3	29,5	165,23	10,42	51.1.015	13	312	23
P6	80,83	62,91	7,91	51.4.002	10	313	10
P7	60,03	129,77	29,08	51.1.011	10	314	10
P9	41,6	93,62	10,88	51.1.004	10	322	10
P16	23,75	90,41	23,26	51.1.007	10	320	13
P13	52,83	104,1	18,99	51.1.008	10	329	10
P14	47,94	86,19	7,73	51.1.012	10	294	10
P18	27,11	88,86	7,57	Promedio	10,78	313,44	12,22
P19	6,36	99,78	4,18	Total suma	336,44		
Blanco	0,42	0,76	0,06				
Promedio	40,24	101,70	13,28				
Total suma	155,22						

Esta tipificación del agua subterránea en la ciudad de Young y alrededores concuerda con la señalada por Montaña *et al.* (2006), Manganelli *et al.* (2007), Goso *et al.* (2008) y Fondo Conjunto de Cooperación México - Uruguay (2017).

6.5.5. Dureza

Se define como el producto de sumar los valores de concentración (en mg/L) de calcio y magnesio, expresadas en mg/L de carbonato de calcio. Cuando el agua presenta niveles de concentración bajos de este compuesto, se denomina “Agua Blanda”, en cambio el agua con altos niveles de concentración de carbonato de calcio se la denomina “Agua Dura”.

Cuadro 13– Dureza del agua subterránea de los pozos analizados del área.

Identificación	UTM x	UTM y	Dureza del Agua (mg/L)
51.1.011	439275	6379281	303
51.1.013	439274	6379281	283
51.1.012	440522	6382884	232
1124/1	440751	6382009	294
51.1.008	442623	6378787	250
51.1.015	439260	6379291	199
51.1.004	441934	6382463	250
51.1.007	439298	6377640	240
51.4.002	438876	6380548	266
NC-P1	441638	6383965	322
NC-P2	441095	6384664	279
NC-P3	440175	6382169	456
NC-P6	440645	6380355	190
NC-P7	441766	6379742	444
NC-P9	442282	6379047	279
NC-P16	437633	6379732	322
NC-P13	438331	6380344	338
NC-P14	437950	6380145	247
NC-P18	438992	6381322	253
NC-P19	440161	6383774	267

Según la normativa uruguaya, basada en la Norma UNIT 833:2008, el valor máximo permitido es de 500 mg/L. Por lo que los valores de las concentraciones para la dureza total encontrados en el agua subterránea se ubican por debajo de dicho parámetro, cumpliendo así con la Norma (cuadro 13). Según la OMS, la

clasificación de la dureza del agua, medida en mg/L CaCO₃ es: 0-60 Blanda; 61-120 Moderadamente Dura y 121-180 Dura.

En función de los datos obtenidos, así como de los proporcionados, se realiza un mapa de isovalores de dureza que se presenta en la figura 21.

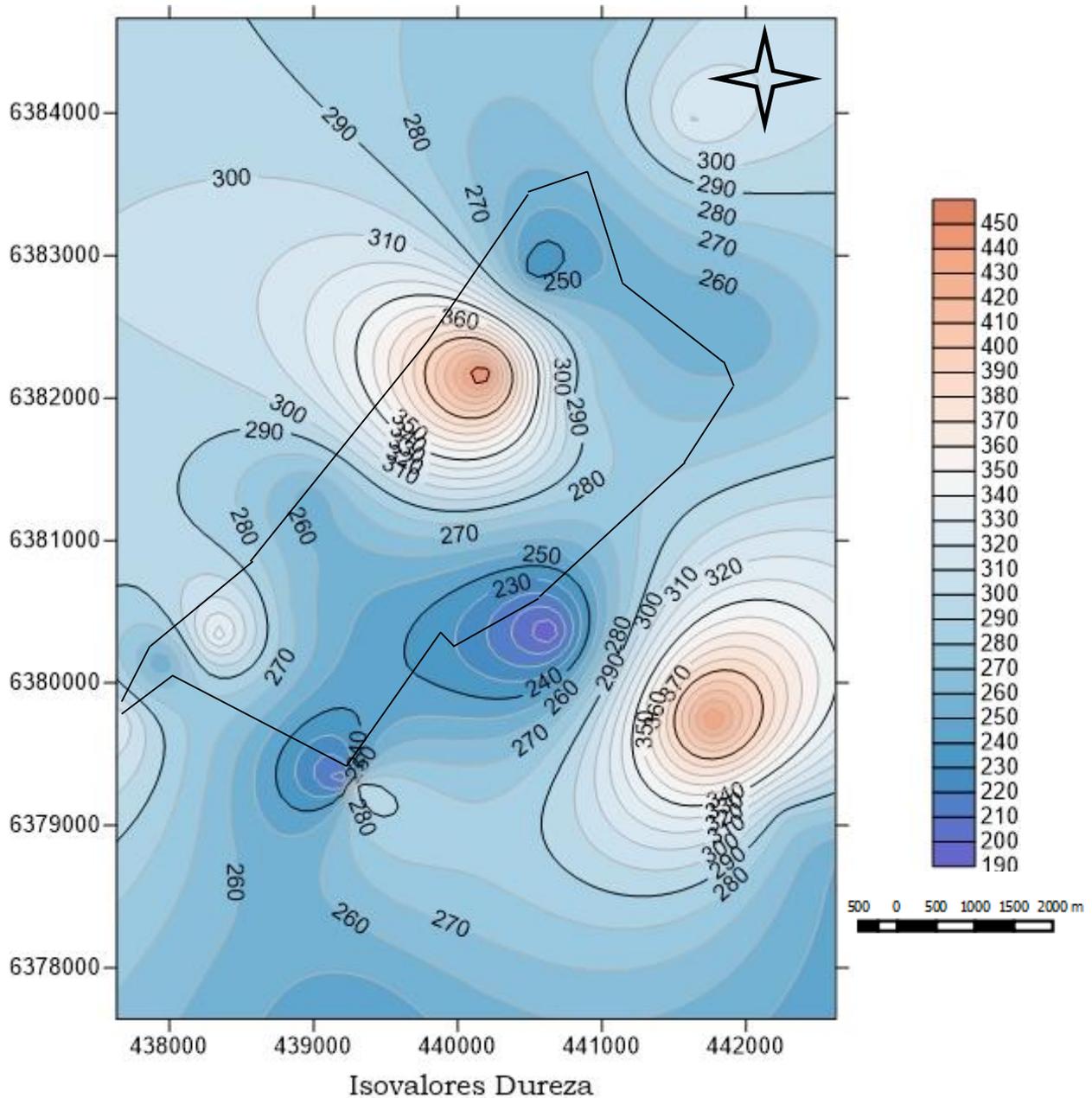


Figura 21 – Mapa de isovalores de Dureza del agua subterránea en la zona.

En el mapa se observan dos zonas con valores de dureza entre 370-450 mg/L, una ubicada al oeste del área de estudio y otra al centro – sur; sin embargo, hacia la periferia se encuentran valores de dureza entre 270 – 350 mg/L. Los

valores de dureza se pueden deber a la presencia de minerales disueltos como carbonatos (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y anhidrita (CaSO_4) o a la gran proporción de cemento calcáreo. Se agrega que, a partir de los datos de dureza, el promedio obtenido es de 285.7 mg/L por lo que se define al agua subterránea de la ciudad de Young como un agua dura, lo que coincide con lo señalado por Montaña *et al.* (2006).

El agua dura contiene una elevada concentración de variados compuestos minerales, principalmente carbonatos de calcio y magnesio, que se podría explicar por la Formación Queguay. Esta es producto de procesos de calcretización (con intensidad variable) en las litologías arenosas y conglomerádicas correspondientes a la Formación Mercedes, lo que produjo depósitos carbonáticos de espesor decamétrico.

6.5.6. Elementos trazas

De las 11 muestras analizadas en base a sus elementos trazas, se obtuvo que la mayoría de ellos (11 de 13) se encuentran dentro de los niveles de concentración aceptados dentro de los valores máximos permitidos, tanto para la normativa uruguaya (Norma UNIT 833:2008), como para la OMS y la EPA. No obstante, se observó para el elemento bario (Ba) valores por encima de lo establecido, tanto para la Norma UNIT 833:2008 como para la OMS. Lo mismo sucede con el elemento arsénico (As) en los pozos P1, P6, P14 y P9, donde su valor se encuentra por encima de los valores establecidos por la OMS y EPA (0.01 mg/L). La normativa uruguaya (0.02 mg/L) solamente la incumple la muestra del pozo P6.

En referencia al Decreto N° 253/79 (norma para prevenir la contaminación ambiental), los niveles aceptados varían según la clasificación en función de los usos a los que se destine el agua, como se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14 – Clasificación del agua según su uso – Decreto N° 253/79.

Clase	Usos	VMP (mg/L)	
		As	B
1	Abastecimiento de agua potable a poblaciones	0.005	-
2a	Riego de hortalizas o plantas frutícolas y otros cultivos destinados al consumo humano en su forma natural	0.05	0.5
2b	Recreación por contacto directo con el cuerpo humano	0.005	-
3	Preservación de peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica, o también destinadas al riego de cultivos cuyo producto no se consume en forma natural o en los casos de consumo en forma natural se apliquen sistemas de riego que no provocan el mojado del producto	0.005	-
4	Riego de cultivos cuyos productos no son destinados al consumo humano en ninguna forma o a aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener armonía con el medio	0.1	-

A continuación, se presenta una descripción detallada de los elementos trazas estudiados en este trabajo.

6.5.6.1. Arsénico

En el cuadro 15 y en la figura 22, se puede observar que perforaciones del área de estudio presentan valores por encima de las normas antes mencionadas. Hay 12 pozos P1, P2, P14, P18, P7, P9, 51.1.008, 51.1.012, 51.1.015, 51.1.013, 51.1.004 y 51.4.002 (se indica que las perforaciones que comienzan con el número “51” corresponden a los pozos de OSE) que registraron valores por encima de los parámetros establecidos, tanto por la OMS y EPA (0.01 mg/L). A su vez, se encontró que dos perforaciones (P6 y 51.1.007) poseen valores por encima del máximo permitido para la Norma UNIT 833:2008 (0.02 mg/L).

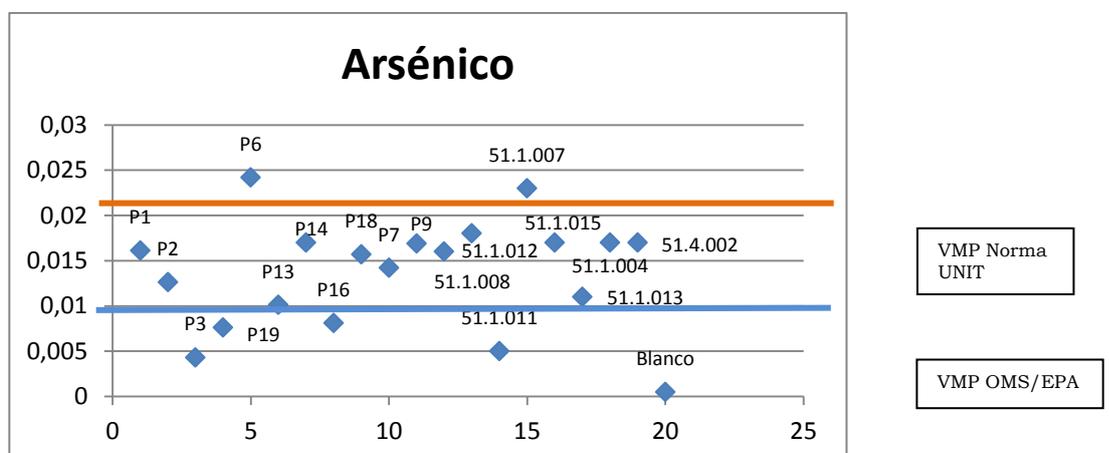


Figura 22 – Concentración de As (mg/L) en los pozos en relación con las normas.

De acuerdo con el Decreto N° 253/79 (norma para prevenir la contaminación ambiental), se puede precisar que en la Clase 1, donde el límite máximo es 0.005 mg/L, la mayoría de las muestras de las perforaciones estarían por encima del valor permitido a excepción de las perforaciones P3 y 51.1.011. En relación con la Clase 2 que se subdivide en: a) donde el nivel máximo es 0.05 mg/L, todas las muestras se encuentran por debajo de este nivel y en b), el límite máximo es 0.005 mg/L por lo que coincide con la Clase 1 donde la mayoría de las muestras superan este límite. Respecto a la Clase 3, los límites máximos estipulados son 0.005 mg/L, también coincidente con la Clase 1. Por último, para la Clase 4, se establece el límite máximo en 0.1 mg/L, no presentando muestras con ese nivel de concentración de arsénico.

Cuadro 15– Pozos con su respectivo valor del elemento Arsénico. Datos de este trabajo y de instituciones estatales.

 Norma UNIT 833:2008 – VMP 0.02 mg/L

 OMS/EPA – VMP 0.01 mg/L

Muestras	As (mg/L)
P1	0,0161
P2	0,0126
P3	0,0043
P19	0,0076
P6	0,0242
P13	0,0101
P14	0,017
P16	0,0081
P18	0,0157
P7	0,0142
P9	0,0169
<i>Blanco</i>	0,0005
51.1.008	0.016
51.1.012	0.018
51.1.011	0.005
51.1.007	0.023
51.1.015	0.017
51.1.013	0.011
51.1.004	0.017
51.4.002	0.017

A partir del mapa de isovalores de concentración de arsénico a escala 1:50.000 (figura 23), se distingue que los altos niveles de dicho elemento (0.017- 0.025 mg/L) se dan en la zona sureste del área de estudio.

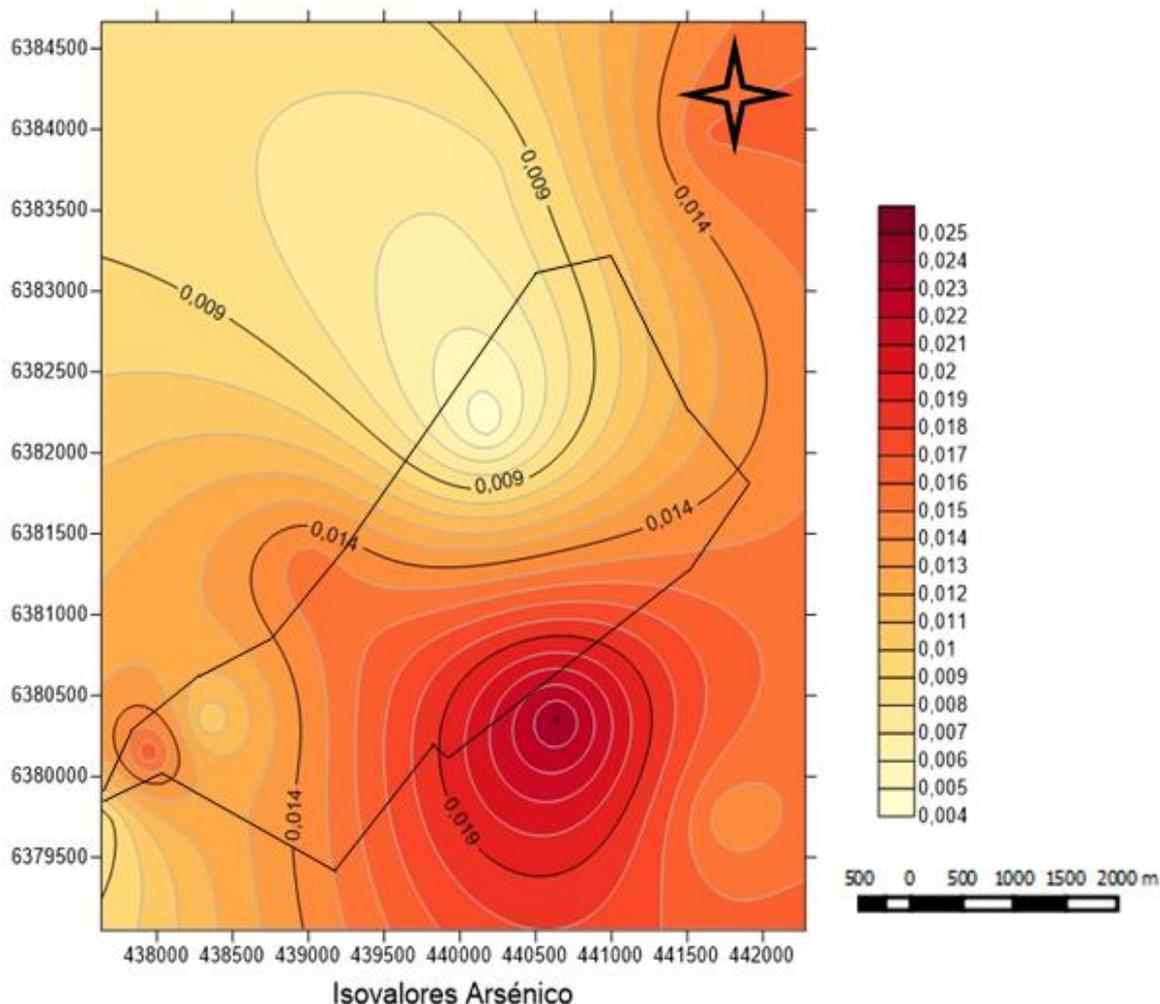


Figura 23 – Mapa de isovalores de Arsénico en el agua subterránea de Young.

Los posibles aportes naturales de As a las aguas subterráneas podrían estar dados por la Formación Fray Bentos, constituida por loess e inclusiones de trazas vítreas, que mediante infiltración llegarían a los niveles inferiores. También pueden deberse a la Formación Mercedes.

En cuanto a los posibles aportes antrópicos, podrían vincularse al uso de agrotóxicos mediante pesticidas (los arsenitos como herbicidas y los arseniatos como insecticidas) en las áreas de recarga del acuífero. Según el Mapa de Natalia Cabrera Laborde

Vulnerabilidad (Fondo Conjunto de Cooperación México – Uruguay, 2017), el área de estudio se encuentra en una zona de baja vulnerabilidad, pero las zonas de recarga del acuífero presentan vulnerabilidades medias a altas. Probablemente, la infiltración en el área de Young sea menor debido a la baja permeabilidad de la Formación Fray Bentos.

6.5.6.2. Bario

Los datos obtenidos y representados en el cuadro 16 y la figura 24, muestran valores por encima de lo establecido (0.7 mg/L) en los pozos P3, P7 y P19, tanto por la Norma UNIT 833:2008 como para la OMS. Sin embargo, para lo establecido por la EPA el límite máximo es de 2 mg/L, por lo que se encontrarían todas las muestras de las perforaciones estudiadas dentro de los valores permitidos.

Cuadro 16 – Pozos con su respectivo valor del elemento Bario. Datos de este trabajo y de instituciones estatales.

-  Norma UNIT 833:2008 / OMS – VMP 0.7 mg/L
-  EPA – VMP 2 mg/L

Muestras	Ba (mg/L)
P1	0,14639
P2	0,62711
P3	1,38864
P19	0,95053
P6	0,23131
P13	0,56836
P14	0,20531
P16	0,49556
P18	0,13172
P7	1,04742
P9	0,41915
<i>Blanco</i>	0,00223

Esos niveles de concentración altos se podrían asociar a la presencia de varias industrias dedicadas a diferentes rubros como ser el agropecuario, lácteo, entre otros. Sin embargo, aunque los compuestos del bario tienen una gran diversidad de aplicaciones industriales, también puede estar presente en el agua producto de fuentes naturales dado que el mismo se encuentra en minerales como los

feldespatos potásicos y las plagioclasas que ocurren en las rocas sedimentarias del acuífero (Tófaló *et al.*, 2003). Dicho elemento en altas concentraciones podría causar hipertensión en las personas (OMS, 2003).

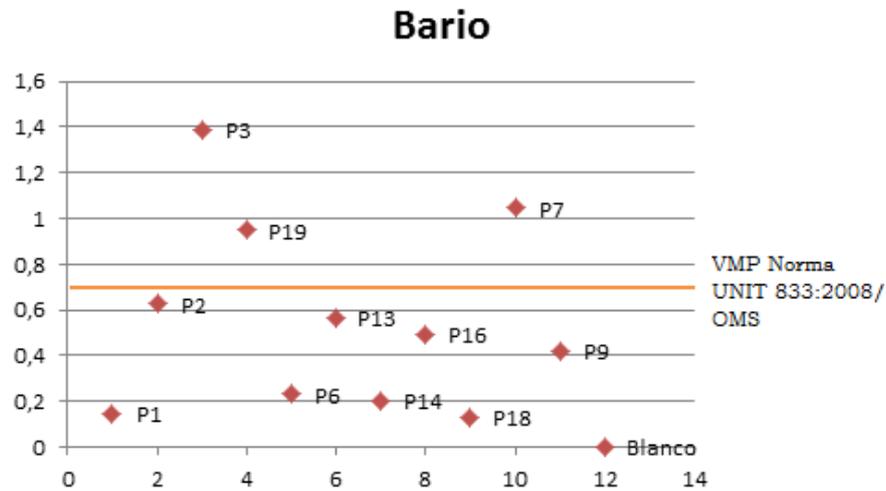


Figura 24 – Concentración de Bario en mg/L en los pozos estudiados en relación con las normas.

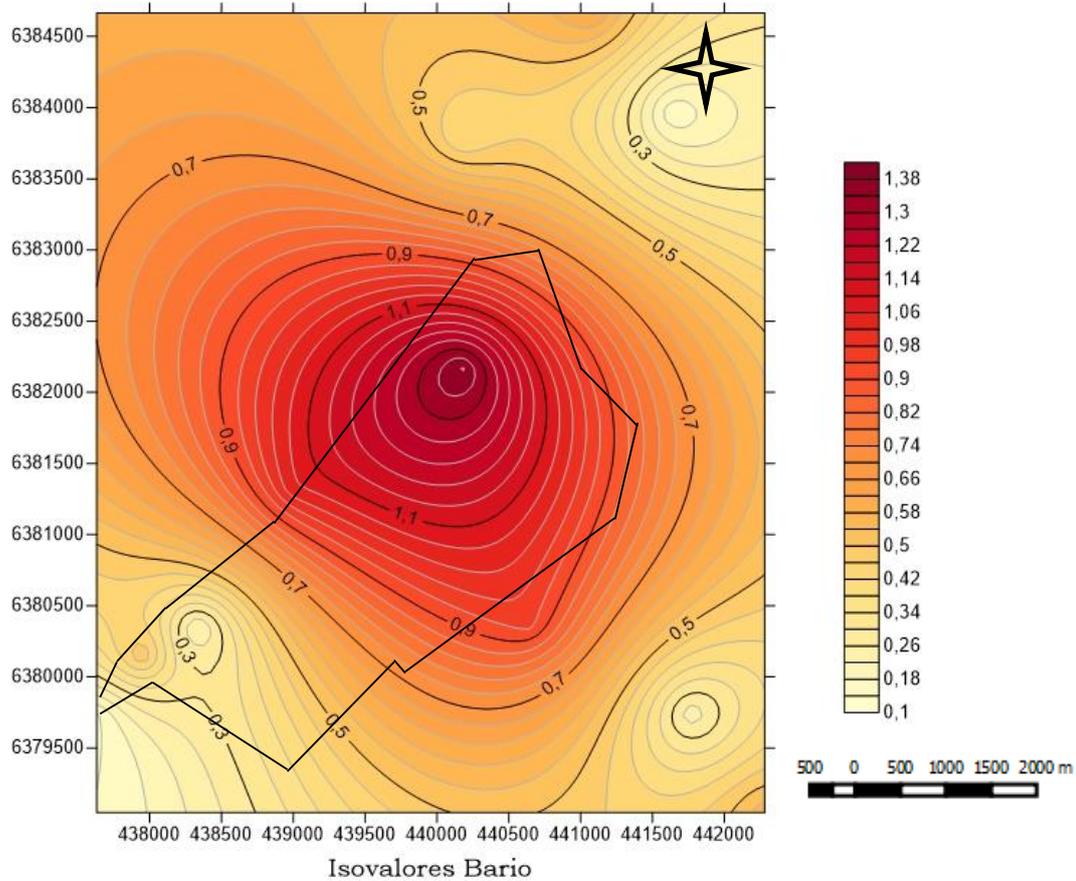


Figura 25 – Mapa de isovalores de Bario (mg/L) en el agua subterránea de Young.

En el mapa de isovalores de la concentración del elemento bario (figura 25) se observa niveles de concentración altos en la zona central, con valores entre 0.9 mg/L y 1.4 mg/L. Asimismo, disminuye la concentración de este elemento hacia los alrededores de la ciudad de Young.

6.5.6.3. Flúor

Este elemento se encuentra en todas las perforaciones por debajo de los valores máximos permitidos, tanto por la Norma UNIT 833:2008 y OMS (1.5 mg/L) como para EPA (4 mg/L), como se ve en el cuadro 17 y figura 26.

Cuadro 17 – Pozos con su respectivo valor del elemento Flúor. Datos de este trabajo y de instituciones estatales.

-  Norma UNIT 833:2008 / OMS – VMP 1.5 mg/L
-  EPA – VMP 4 mg/L

Muestras	F (mg/L)
P1	0,8
P2	0,94
P3	0,36
P19	0,4
P6	0,93
P13	1
P14	0,86
P16	0,63
P18	0,34
P7	1,1
P9	0,76
<i>Blanco</i>	0,017
51.1.013	0.61
51.1.015	0.91
51.4.002	1.2
1124/1	0.82
51.1.004	1.2
51.1.007	0.88
51.1.011	0.51
51.1.012	0.99
51.1.008	0.84

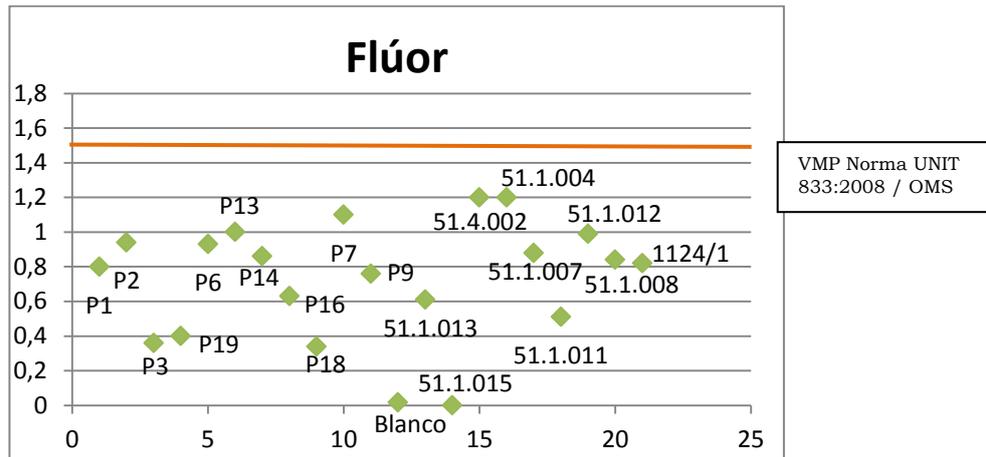


Figura 26 – Concentración de Flúor en mg/L en los pozos estudiados en relación con las normas.

En el mapa de isovalores de la concentración (mg/L) del flúor a escala 1:50.000 (figura 27), se observa que los niveles mayores de concentración se dan en la zona oeste del área de estudio, con valores de 0.8 mg/L a 1.1 mg/L. De la misma forma, se presenta una zona central con baja concentración.

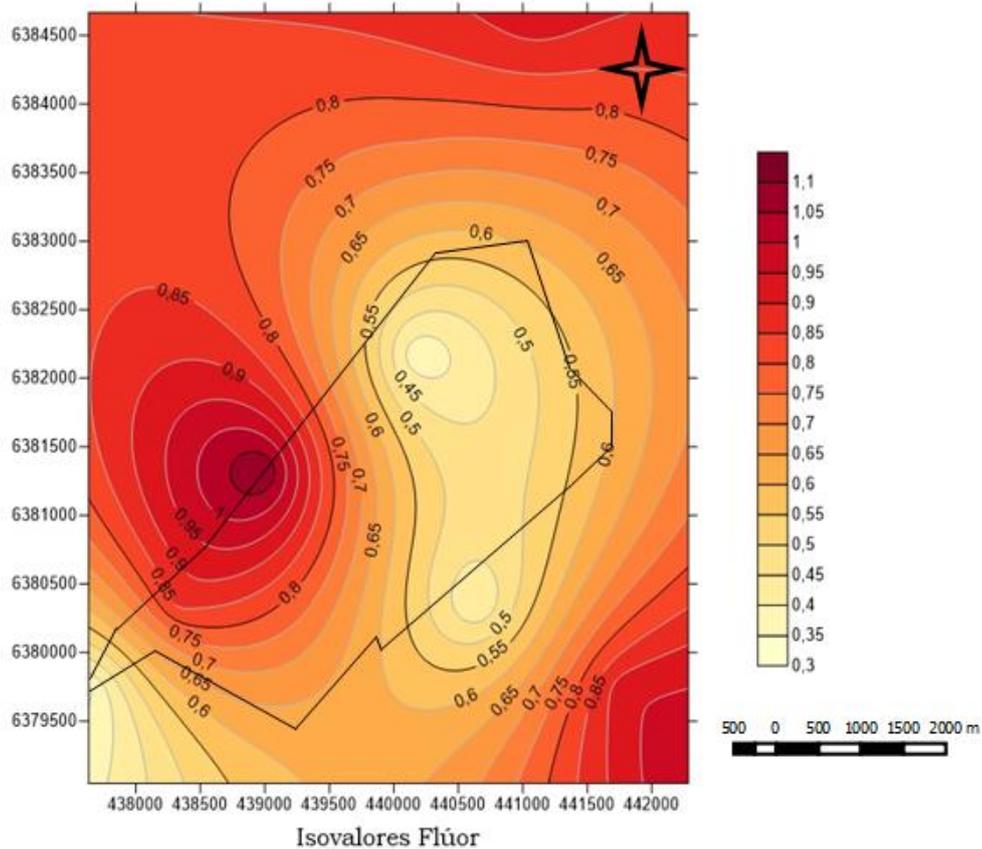


Figura 27 – Mapa de isovalores de Flúor en el agua subterránea de Young.

Cabe agregar que estas concentraciones medidas coinciden con los resultados obtenidos en el trabajo realizado por el Fondo Conjunto de Cooperación México – Uruguay (2017).

El origen de este elemento podría estar relacionado a los componentes principales de los sedimentos loésicos e inclusiones de trazas vítreas, minerales y fragmentos líticos volcánicos correspondientes a la Formación Fray Bentos que por disolución podrían ser transportados o infiltrados a niveles inferiores. Asimismo, otra fuente de flúor podría ser atribuida a actividades agrícolas, quema de biomasa y agroindustrias (Zunckel *et al.*, 2003).

6.5.6.4. Boro

Los datos obtenidos de los análisis de los pozos muestreados son presentados en el cuadro 18 y figura 28. Todas las muestras de agua de las perforaciones se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos tanto para la Norma UNIT 833:2008 y Decreto N° 253/79 Clase 2a (0.5 mg/L), como para la OMS (0.3 mg/L), y EPA (5 mg/L).

Cuadro 18 - Pozos con su respectivo valor del elemento Boro. Datos de este trabajo y de instituciones estatales.

 Norma UNIT 833:2008/Decreto N° 253/79–VMP 0.5 mg/L

 OMS – VMP 0.3 mg/L

 EPA – VMP 5 mg/L

Muestras	B (mg/L)
P1	0,067
P2	0,131
P3	0,059
P19	0,034
P6	0,121
P13	0,105
P14	0,109
P16	0,072
P18	0,063
P7	0,122
P9	0,081
<i>Blanco</i>	0,005

En el caso del Decreto N° 253/79 sólo hace referencia a la Clase 2a dado que el uso preponderante del agua es para riego de hortalizas o plantas frutícolas y otros cultivos.

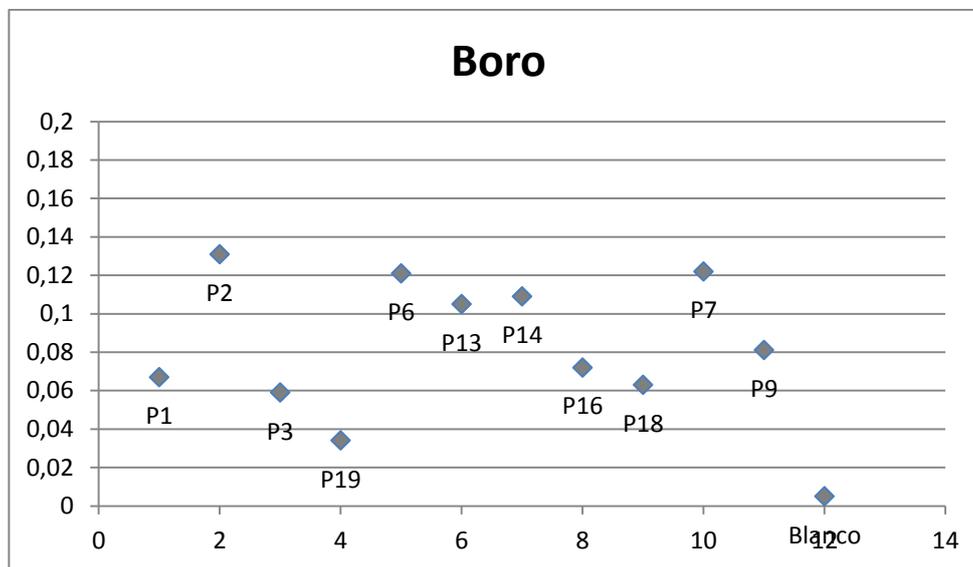


Figura 28 – Concentración de Boro en mg/L en los pozos estudiados en relación con las normas.

El boro es un elemento químico no metal que entra en las aguas superficiales y subterráneas por intemperismo de rocas que lo contienen, como por ejemplo borosilicatos del tipo turmalina (Dyer *et al.*, 2009). Además, existe en pequeñas cantidades en la mayoría de los suelos en rocas de origen volcánico, asimismo se emplea en fertilizantes, por lo que es factible encontrarlo con concentraciones muy bajas en las aguas subterráneas. Este elemento químico en grandes concentraciones es muy tóxico para la vegetación. Si se observa el mapa realizado de isovalores de concentración de boro (en mg/L) a escala 1:50.000 (figura 29), se distingue dos zonas bien marcadas, una con altos valores de concentración de este elemento (0.105 - 0.135 mg/L) al sureste de la zona de estudio y otra zona, al noroeste del área con valores bajos de concentración (0.06 - 0.07 mg/L).

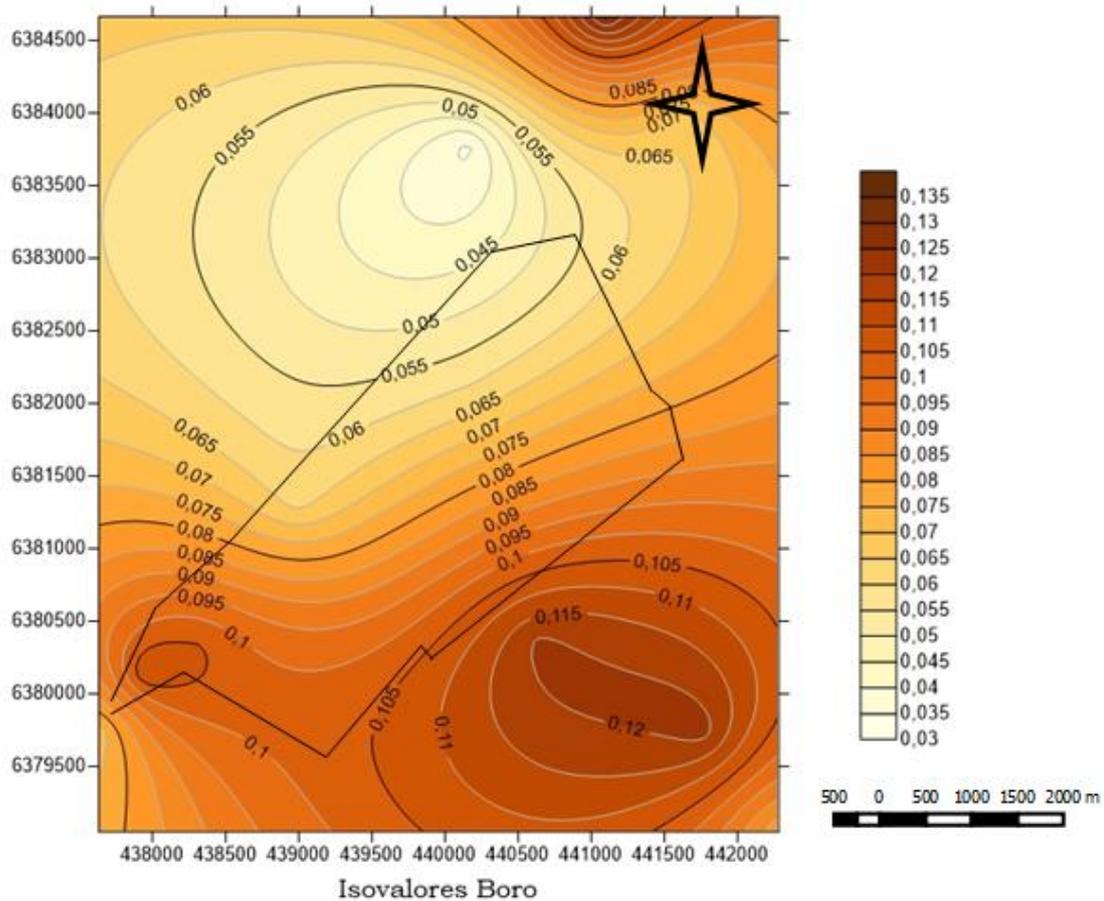


Figura 29 – Mapa de isovalores de Boro en el agua subterránea de Young.

6.5.6.5. Uranio

Los datos obtenidos de los análisis de los pozos muestreados se presentan en el cuadro 19 y figura 30. Se observa que todas las muestras de agua subterránea de dichas perforaciones se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos tanto para OMS como EPA.

La Norma UNIT 833.2008 no establece un valor de concentración límite para el uranio, sino que establece el valor permitido en emisiones de radioactividad. Los valores máximos establecidos para la radiactividad son de 0,1 Bq/L para la radioactividad alfa global y 1 Bq/L para la radioactividad beta global. Debido a que no se midieron estas emisiones, no se pudo determinar si las muestras estudiadas exceden o no la Norma nacional.

Cuadro 19 - Pozos con su respectivo valor del elemento Uranio.
Datos de este trabajo.

Muestras	U (mg/L)
P1	0,00391
P2	0,00586
P3	0,00309
P6	0,00518
P7	0,00947
P9	0,00501
P13	0,00743
P14	0,00519
P16	0,00198
P18	0,0032
P19	0,00152
Blanco	0,00002

■ OMS – VMP 0.015 mg/L

■ EPA – VMP 0.03 mg/L

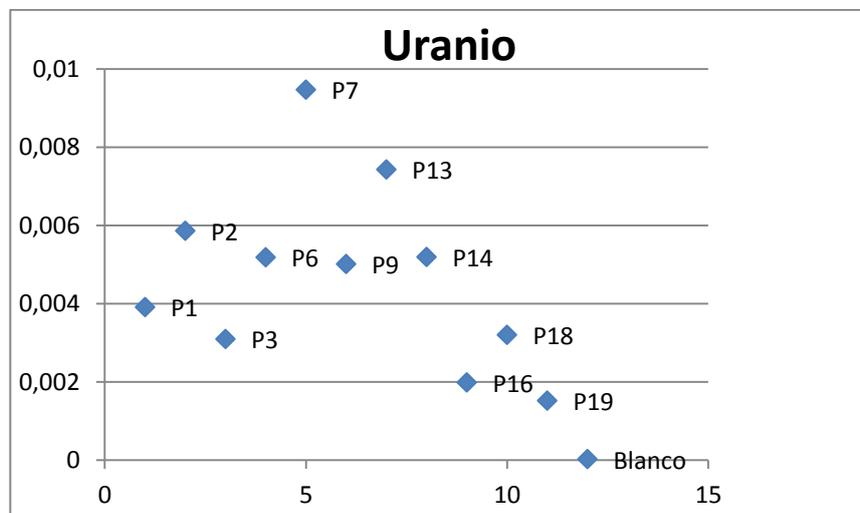


Figura 30 – Concentración de Uranio en mg/L en los pozos estudiados en relación con las normas.

El uranio está asociado a vidrio volcánico, turmalina, micas, y anfíboles, todos minerales presentes en rocas ígneas. De ahí que su origen en las aguas subterráneas del Acuífero Mercedes seguramente sea geogénico (Galindo *et al.*, 1999).

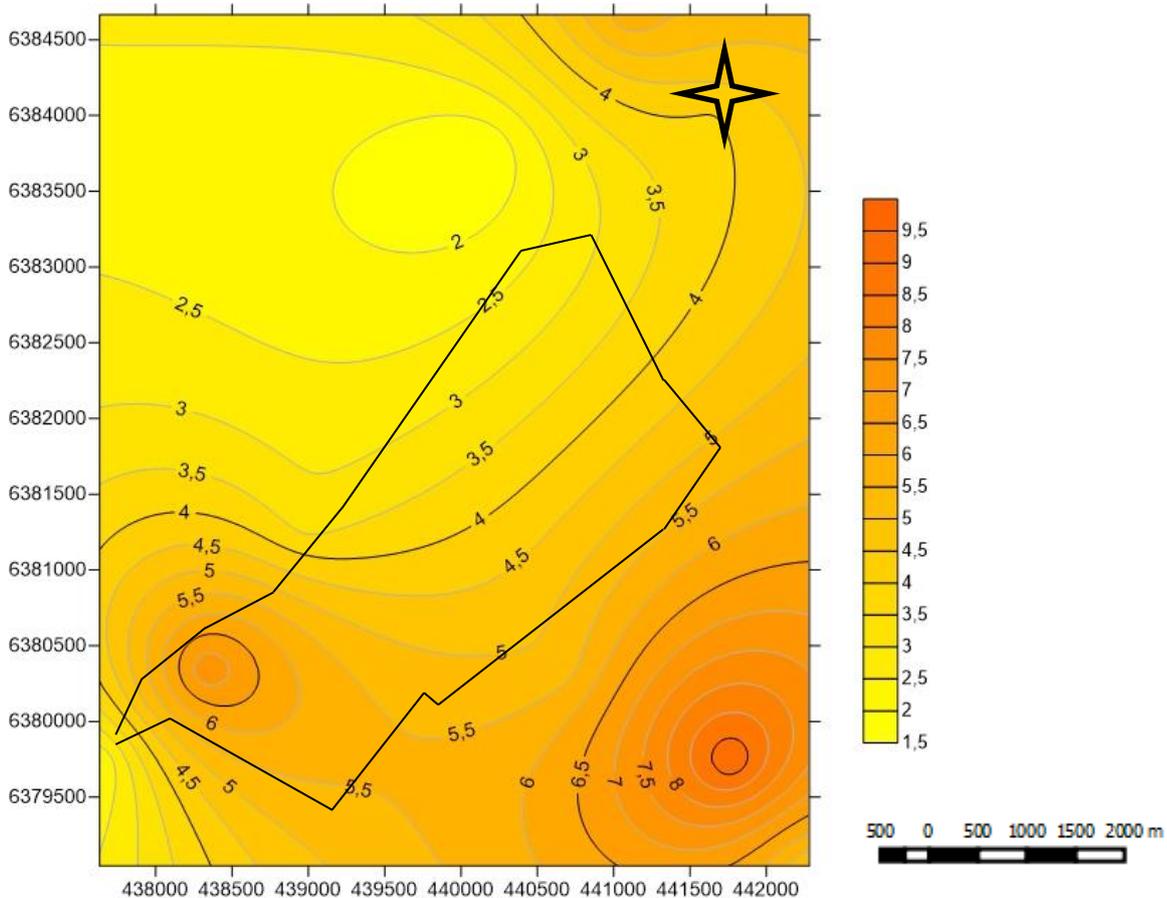


Figura 31 - Mapa de isovalores de Uranio en el agua subterránea de Young.

6.5.6.6. Vanadio

En el cuadro 20 se presentan los resultados de este elemento en los pozos muestreados. Ninguna de las normativas utilizadas lo tiene en cuenta (Norma UNIT 833:2008, Decreto N° 253/79, OMS y EPA), por lo que no existe un valor de referencia para poder evaluar su posible afectación en la salud humana.

A partir del mapa de isovalores de la figura 32 se observa que los valores más elevados de vanadio se encuentran en la zona sureste del área de estudio. Este elemento podría deber su origen a la presencia de minerales arcillosos que provienen de la meteorización de rocas ígneas (Galindo *et al.*, 1999).

Cuadro 20 - Pozos con su respectivo valor del elemento Vanadio. Datos de este trabajo.

Muestras	V (mg/L)
P1	0,0685
P2	0,064
P3	0,029
P6	0,0759
P7	0,0757
P9	0,0612
P13	0,0691
P14	0,0638
P16	0,0585
P18	0,0561
P19	0,0491
Blanco	0,0002

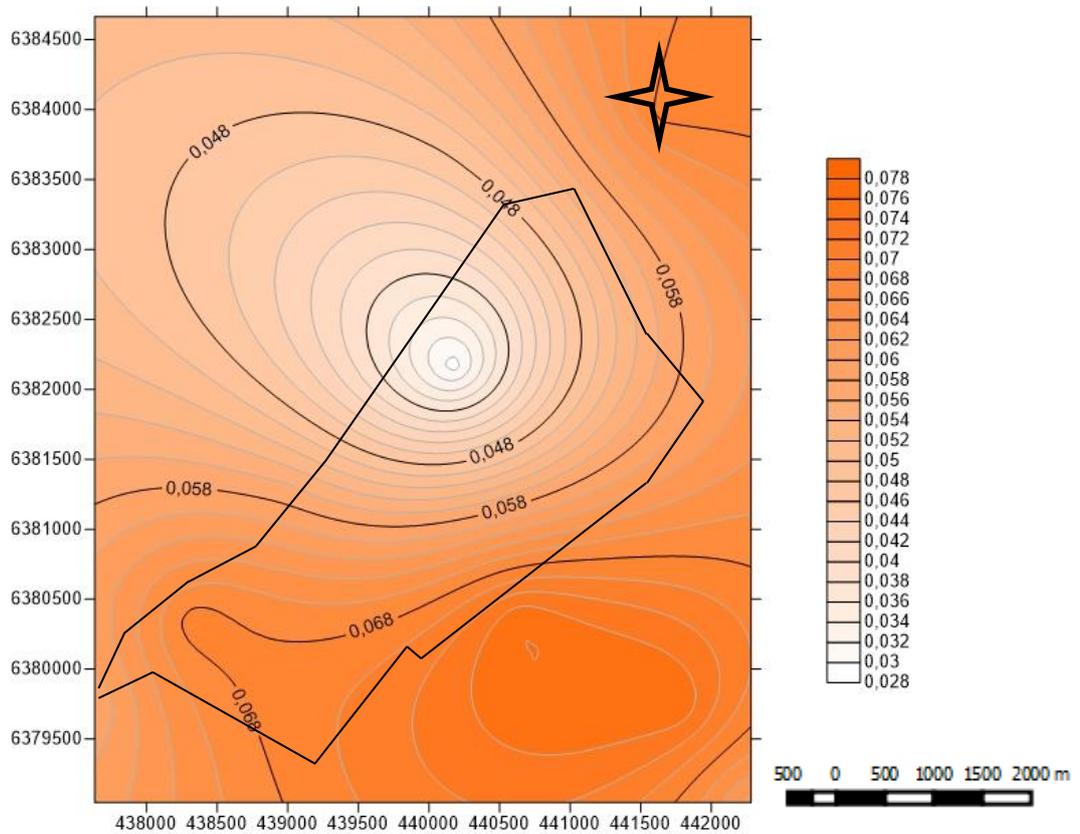


Figura 32 - Mapa de isovalores de Vanadio en el agua subterránea de Young.

7. Conclusiones

La piezometría indica que el flujo del Acuífero Mercedes en el área de estudio va de E – NE en el Norte y al SW en el Sur. Se observa también que existe un rebajamiento o depresión importante de los niveles estáticos en el área de la ciudad de Young. Esto debe ser producto del intenso bombeo de los pozos y del caudal extraído por OSE y las industrias. Además, los ríos y arroyos del área no tienen vinculación hidráulica con el acuífero.

A partir del análisis de los datos químicos, se señala que las aguas del Acuífero Mercedes en la zona de estudio son bicarbonatadas cálcicas. Todas las muestras presentan valores de dureza mayor a 180 mg/L de CaCO₃ lo que las clasifica como aguas duras. Los valores de conductividad eléctrica se encuentran entre 574 y 1100 µS/cm. Además, los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica medidos en este trabajo coinciden con los resultados de trabajos anteriores.

En cuanto a los elementos trazas, solamente los elementos arsénico y bario presentaron valores por encima de las normas empleadas en este trabajo (Norma UNIT 833:2008, OMS, y EPA). Para el caso del arsénico, la mayoría de los pozos se encuentran con valores por encima 0.01 mg/L (normas OMS y EPA), y solo dos pozos superan el valor máximo establecido en la Norma UNIT 833:2008 (0.02 mg/L). Si se toma en cuenta el Decreto N° 253/79, Clases 1, 2b y 3, la mayoría de las muestras poseen valores de arsénico por encima del límite máximo permitido (0.005 mg/L). Para el caso del bario, tres muestras presentaron valores por encima de lo establecido en las normas UNIT 833:2008 y OMS (0.7 mg/L); para la norma de la EPA, todas las muestras analizadas se encuentran por debajo de los valores máximos permitidos (2 mg/L).

Finalmente, se propone un origen geogénico para los elementos traza determinados en las aguas del Acuífero Mercedes en el área de estudio. Esto se basa en los valores presentados por los elementos trazas analizados en las aguas del Acuífero Mercedes, junto con el factor de enriquecimiento en relación con las aguas superficiales, y a los tenores promedio presentados por las

litologías tipo (granitos, basaltos, y sedimentos limo-arcillosos) asociadas al acuífero.

8. Referencias

8.1. Bibliográficas

- Abelenda, E. (2016). Caracterización hidrogeoquímica e hidrodinámica y estimación de la recarga de los Acuíferos Salto y Arapey. Tesis de Grado.
- Bocanegra, O., Bocanegra, E. & Álvarez, A. (2002). Arsénico en Aguas Subterráneas: su impacto en la salud. Groundwater and human development ISBN987-554-063-9.
- Custodio, E. & Llamas, E. (1983). Hidrología subterránea. Tomo 1 y 2. Ed. Omega. España.
- De Santa Ana, H., Veroslavsky, G., Fulfaro, V., & Rossello, E. (2006). Cuenca Norte: evolución tectónica y sedimentaria del Carbonífero-Pérmico. Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Geología, Paleontología y Recursos Naturales. Paleozoico. Montevideo, DIRAC - Facultad de Ciencias, 209-244.
- DINAMIGE (2003). Mapa Hidrogeológico del Uruguay. Dirección Nacional de Minería, Montevideo, Uruguay.
- Dyer S.D. y Caprara R.J. (2009). A method for evaluating consumer product ingredient contributions to surface and drinking water: Boron as a test case. Environ. Tox. Chem. 16, 2070–2081.
- Fondo Conjunto de Cooperación México - Uruguay (2017). Gestión ambiental del Sistema Acuífero Mercedes (SAM). Montevideo – Uruguay.
- Gaillardet, J., Viers, J., Dupré, B. (2003). Treatise on Geochemistry. Meteorites, Comets and Planets. Volum 1. Cap 5.09. Trace Elements in River Waters. Editores Davis, Holland, Turekian. Elsevier.
- Galindo, G., Herrero, M. A., Flores, M. & Fernández Turiel, J. L. (1999). Correlación de Metales Traza en Aguas Subterráneas someras en la Cuenca del Río Salado, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Argentina). Correlación Geológica 13: 251-264.
- Galindo, G., Fernández Turiel, J. L., Parada, M. & Gimeno Torrente, D. (2007). Content of trace metals in groundwater from western region of

- Maracaibo Lake, Venezuela. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia vol.30 N° Especial Maracaibo.
- Goso, C. & Perea, D. (2004). El Cretácico post basáltico de la Cuenca Litoral del Río Uruguay: Geología y Paleontología. pp 143-170 de Veroslavsky G; Ubilla M & Martínez S. (eds): Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Geología, paleontología y recursos naturales. Mesozoico. DIRAC, Facultad de Ciencias, Montevideo, Uruguay.
 - Goso, C., Manganeli, A., Fernández Turiel, J. L., García Vallés, J., Gimeno, D., Saavedra, J., Ruggieri F. & Pérez, C. (2008). Hidrogeoquímica del Acuífero Mercedes en el oeste de Uruguay. V Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Buenos Aires, Argentina.
 - Goso, C., Manganeli, A., Fernández Turiel, J. L., García Vallés, J., Gimeno, D., Saavedra, J., Ruggieri F. & Pérez, C. (2008). Calidad del agua del Acuífero Mercedes, Uruguay. XII Reunión Argentina de Sedimentología. Buenos Aires, Argentina.
 - Guerequiz, R., Mañay, N., Goso, C. & Bundschuh, J. (2006). Evaluación de riesgo ambiental por presencia de arsénico en el sector oeste del acuífero Raigón, departamento de San José, Uruguay. Taller de distribución del As en Iberoamérica, Centro Atómico Constituyentes, San Martín, Prov. de Buenos Aires, Argentina.
 - Heinzen, W., Carrión, R., Massa, E., Pena, S. & Stapff, M. (2003). Mapa Hidrogeológico del Uruguay. DINAMIGE.
 - Iaquinta, F. (2012). Estudio de la toxicidad de Arsénico, aguda y crónica, y de las formas de evaluación y control del mismo en población afectada. Tesis de Grado.
 - INE (2011). Reporte del Censo Nacional. Instituto Nacional de Estadística (Uruguay). Sitio web <http://www.ine.gub.uy/censos-2011>
 - Klein, C. & Hurlbut, C. (2003). Manual de Mineralogía. 4° Edición. Basado en la obra de J. D. Dana.
 - Falchi, L., Pizzorno, P., Iaquinta, F., Cousillas, A (2018). Relevamiento de la concentración de arsénico en agua proveniente de varias fuentes en una zona arroceras del Uruguay.

- Manganeli, A., Goso, C., Guerequiz, R., Fernández Turiel, J. L., García Vallés, J. & Gimeno, D. (2007). Estudio preliminar del contenido de arsénico de las aguas subterráneas del suroeste de Uruguay. *Geogaceta*, 41(2007), 3-6 ISSN:0213683X
- Mañay, N., Goso, C., Pistón, M., Fernández-Turiel, J.L., García-Vallés, M., Rejas, M. & Guerequiz, R.† (2013). Groundwater arsenic content in Raigón Aquifer System (San José, Uruguay). *Revista SUG N°18*, 20 – 38 (publicado 11/2013) Sociedad Uruguaya de Geología.
- Mañay, N., Pistón, M. & Goso, C. (2011). Facing arsenic environmental and health issues in Uruguay with a medical geology approach. *GeoMed 2011 -4th International Conference on Medical Geology - Italy*. Pp 79.
- Mesa, J., Bravo, A., Morales, J., Sánchez, L., Valle, P., Gutiérrez, E., & Ledo, H. (2007). Contenido de metales trazas en aguas subterráneas de la región occidental del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, vol.30, pp. 20-28. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000400004&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0254-0770.
- Molerio-León, L., Aldana, C., Marrero, J., Balado, E., Farfán, H. & Díaz, C. (2016). Distribución de vanadio como trazador de la migración de aguas de capa de yacimientos petrolíferos en acuíferos cársicos litorales. 2. Concentraciones de referencia. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*. Año 16, No.31, julio-diciembre 2016 ISSN-1683-8904
- Montaña, J., Gagliardi, S. & Montaña, M. (2006). Recursos hídricos subterráneos del Uruguay. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (1): 201-222 ISSN: 0366-0176
- Mora, D., Alfaro, N. & Portuguese, F. (2000). Aporte del Agua de Bebida a los Requerimientos de Calcio de la Población Costarricense. San José, Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, vol. 9, n. 16.
- NIH (2019). National Institutes of Health – U.S. Department of Health & Human Services. <https://ods.od.nih.gov/HealthInformation>

- OMS (1996). Trace Elements in Human Nutrition and Health. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- OMS (2003). Barium in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/76).
- OMS (2008). Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition:
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_12.pdf
<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/uno.pdf>
- Osicka, R., Agulló, N., Herrera, C. & Giménez, M. (2002). Evaluación de las concentraciones de fluoruro y arsénico en las aguas subterráneas del Domo Central de la Provincia del Chaco. Cátedra de Química Analítica General Facultad de Agroindustrias. Universidad Nacional del Nordeste. Roque Sáenz Peña. Chaco. Argentina.
- Programa UNESCO/OEA – ISARM AMÉRICAS: Aspectos socioeconómicos, ambientales y climáticos de los Sistemas Acuíferos Transfronterizos de las Américas (2010). Tomo 3. ISBN 978-92-9089-157-4
- Rodríguez, C., Duque, C., Calvache, M. & López-Chicano, M. (2010). Causas de las variaciones de la conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña, España. GEOGACETA, 49.
- Rodríguez, J. & Altamirano, M. (2006). Vanadio: Contaminación, Metabolismo y Genotoxicidad. Rev. Int. Contam. Ambient. 22 (4) 173-189.
- Ryczel, M. (2006). Flúor y agua de consumo – su relación con la salud – Controversias sobre la necesidad de fluorar el agua de consumo. Boletín de la ATA. Año 20. Número 72. pp 21-26.
- Sánchez Bettucci, L., Peel, E. & Oyhantçabal, P. (2010). Precambrian geotectonic units of the Río de la Plata craton. International Geology Review. Vol. 52. Issue 1.

- Shiklomanov, I.A. & Rodda, J.C. (2003). World Water Resources at the Beginning of the Twenty – First Century. International Hydrology Series. Cambridge University Press. ISBN 0 521 82085 5
- Tófalo, O., Pazos, P. & Fernández, C. (2003). Petrografía y diagénesis de la Formación Mercedes (Cretácico), Uruguay.
- Torres, J., Gonzatto, L., Goso, C., Fernández Turiel, J. L., Rejas, M., García Vallés, M., Kremer, C. & Kremer, E. (2015). Using Chemical Modeling to Assess Water Quality in the Raigon Aquifer System in Southern Uruguay. Journal of Environment Pollution and Human Health, Vol. 3, No. 2, 31-38
- Zunckel, M., Saizar, C., & Zarauz, J. (2003). Rainwater composition in northeast Uruguay. Atmospheric Environment, 37(12), 1601-1611.

8.2. Normativa

- Decreto N° 86/004 - Norma técnica de construcción de pozos perforados para captación de agua subterránea: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/86-2004>
- Decreto N° 253/79 (con las modificaciones de los Decretos N° 232/88, N° 698/89 y N° 195/91 incluidas): Norma para prevenir la contaminación ambiental.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency): <https://espanol.epa.gov/>
- Ley N° 14.859 “Código de Aguas” (1979).
- Ley N° 18.610 “Política Nacional de Aguas” (2009).
- Normas UNIT 833:2008. Norma de calidad de agua potable. Administración de Obras Sanitarias del Estado (OSE). (Diciembre 2012). http://www.ose.com.uy/descargas/reclutamiento/norma_interna_de_calidad_agua_potable_de_OSE.pdf

Anexo 1- Resultados analíticos de las muestras extraídas junto al valor máximo permitido por las Normas (UNIT 833:2008, OMS y EPA).

Sample	UNIT 833:2008 (mg/L)	OMS (mg/L)	EPA (mg/L)	NC-P1	NC-P2	NC-P3	NC-P6	NC-P7	NC-P9	NC-P16	NC-P13	NC-P14	NC-P18	NC-P19	NC-P20
Ag				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Al	0.2			5	30	6	6	10	10	3	6	2	16	4	7
As	0.02	0.01	0.01	16,1	12,6	4,3	24,2	14,2	16,9	8,1	10,1	17,0	15,7	7,6	<0.5
Au				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
B	0.5	0.3	5	67	131	59	121	122	81	72	105	109	63	34	<5
Ba	0.7	0.7	2	146,39	627,11	1388,64	231,31	1047,42	419,15	495,56	568,36	205,31	131,72	950,53	2,23
Be				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Bi				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Br				45	55	174	45	296	75	73	373	52	36	44	11
Ca				111,94	85,84	165,23	62,91	129,77	93,62	90,41	104,10	86,19	88,86	99,78	0,76
Cd	0.003	0.003		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ce				<0.01	0,54	0,02	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	0,04	<0.01	0,14	0,03	0,02
Cl	250	250	250	2	2	19	3	48	6	2	12	3	2	2	<1
Co				<0.02	0,04	0,09	<0.02	0,33	<0.02	<0.02	0,52	<0.02	0,06	<0.02	<0.02
Cr	0.05	0.05		<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0,5	<0.5	<0.5	0,5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cs				<0.01	<0.01	<0.01	0,03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cu	1	2	1.3	1,0	1,9	1,7	3,9	3,0	1,4	5,3	1,4	3,3	4,5	1,5	0,7
Dy				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Er				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Eu				<0.01	0,02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Fe	0.3		0.3	72	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	160	<10	10
Ga				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Gd				<0.01	0,04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,01	<0.01	<0.01
Ge				0,16	0,16	0,13	0,14	0,10	0,15	0,20	0,13	0,14	0,10	0,06	<0.05

“Determinación de los niveles de concentración de elementos traza en las aguas subterráneas de los alrededores de la ciudad de Young (Río Negro – Uruguay)”

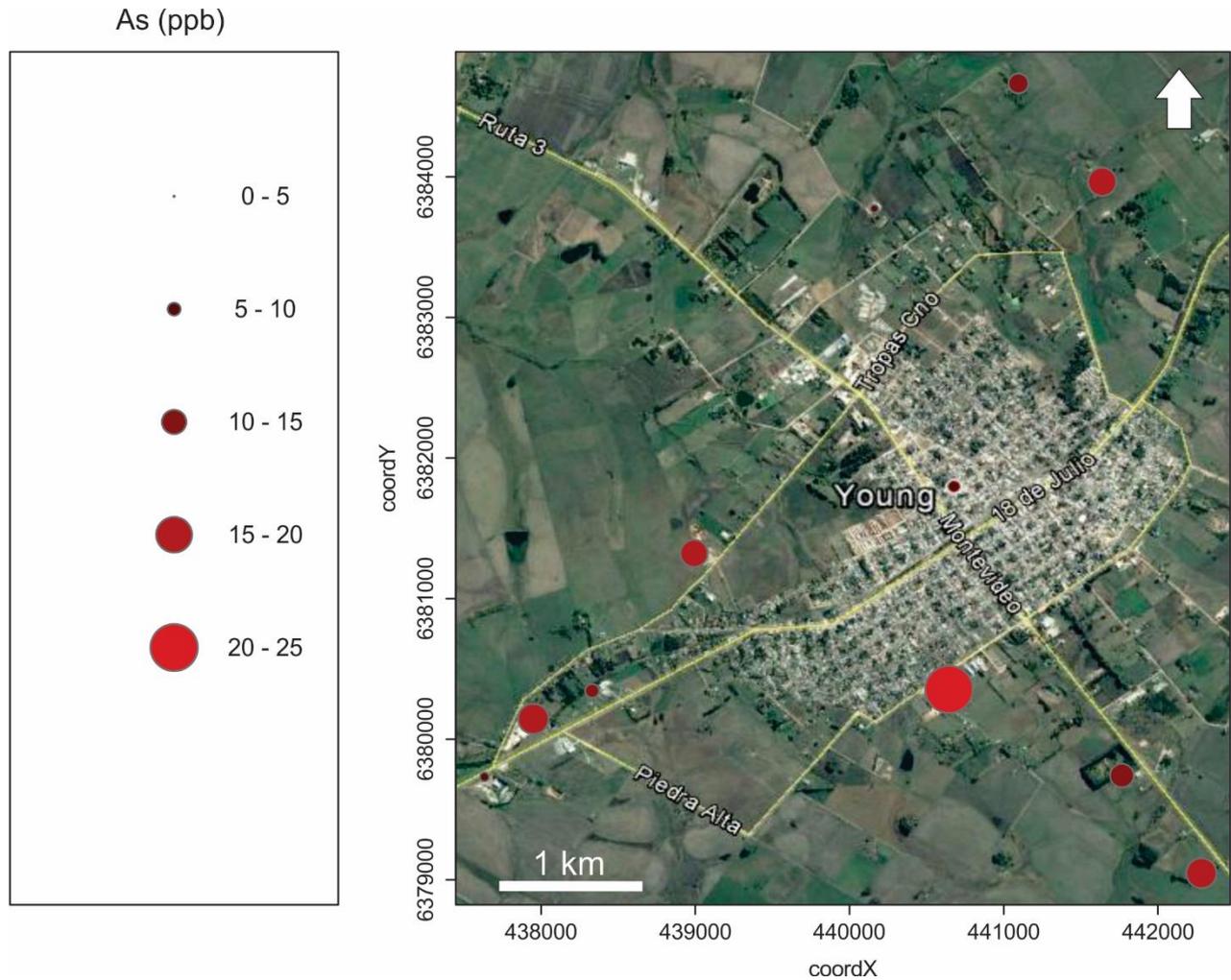
Sample	UNIT 833:2008 (mg/L)	OMS (mg/L)	EPA (mg/L)	NC-P1	NC-P2	NC-P3	NC-P6	NC-P7	NC-P9	NC-P16	NC-P13	NC-P14	NC-P18	NC-P19	NC-P20
Hf				<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Hg	0.001	0.006		<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ho				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
In				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
K				4,06	1,28	0,82	2,05	0,24	2,00	2,05	1,05	1,48	1,45	1,14	0,52
La				<0.01	0,25	0,01	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	0,01	<0.01	0,07	<0.01	<0.01
Li				32,0	31,4	19,0	29,8	37,0	26,6	34,0	38,7	35,6	20,9	12,1	0,2
Lu				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Mg				10,35	15,73	10,42	7,91	29,08	10,88	23,26	18,99	7,73	7,57	4,18	0,06
Mn	0.1	0.4		1,68	2,70	0,88	0,56	1,04	0,36	0,10	193,50	0,58	3,13	0,26	0,43
Mo	0.07	0.07		0,4	0,6	0,4	0,5	0,8	0,6	0,3	7,0	0,6	0,5	0,3	0,1
Na	200	200		24,89	47,82	29,50	80,83	60,03	41,60	23,75	52,83	47,94	27,11	6,36	0,42
Nb				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Nd				0,01	0,31	<0.01	0,01	0,02	0,02	<0.01	0,02	<0.01	0,07	<0.01	0,02
Ni	0.02	0.02	0.02	<0.2	<0.2	<0.2	1,2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	1,6	<0.2	<0.2
P				19	13	20	12	21	18	14	16	11	16	<10	12
Pb	0.03			0,8	0,9	0,9	1,0	1,3	1,1	1,1	0,8	0,9	1,9	0,9	1,2
Pd				<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Pr				<0.01	0,08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	<0.01
Pt				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Rb				2,14	1,00	0,86	1,87	0,41	1,57	0,99	0,67	1,25	1,14	0,30	0,30
Re				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Rh				0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	<0.01	<0.01	<0.01
Ru				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
S				<1	4	6	<1	5	2	2	2	1	<1	2	<1
Sb	0.005	0.02		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,07	0,09	<0.05	<0.05	<0.05	0,20	<0.05	0,07

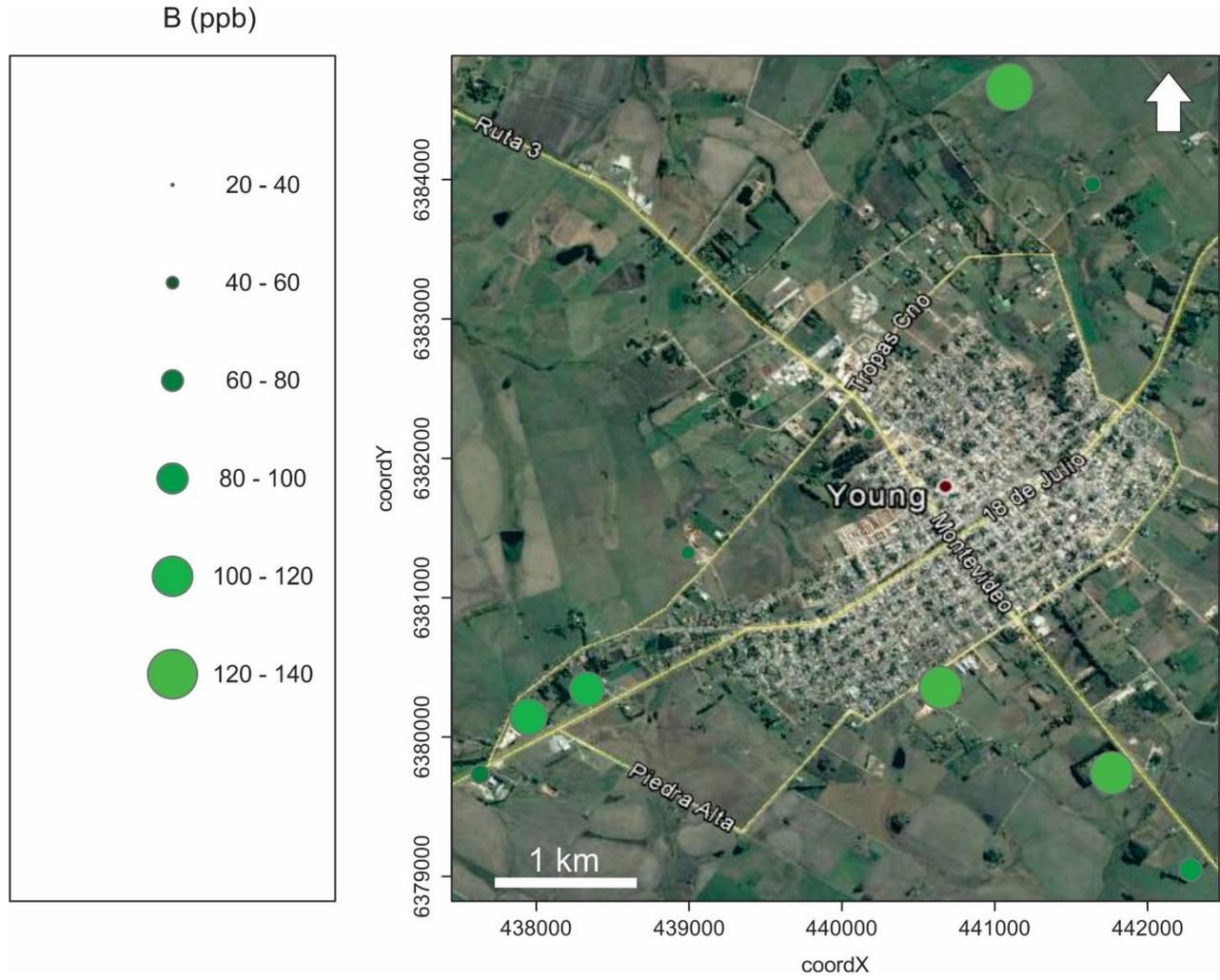
“Determinación de los niveles de concentración de elementos traza en las aguas subterráneas de los alrededores de la ciudad de Young (Río Negro – Uruguay)”

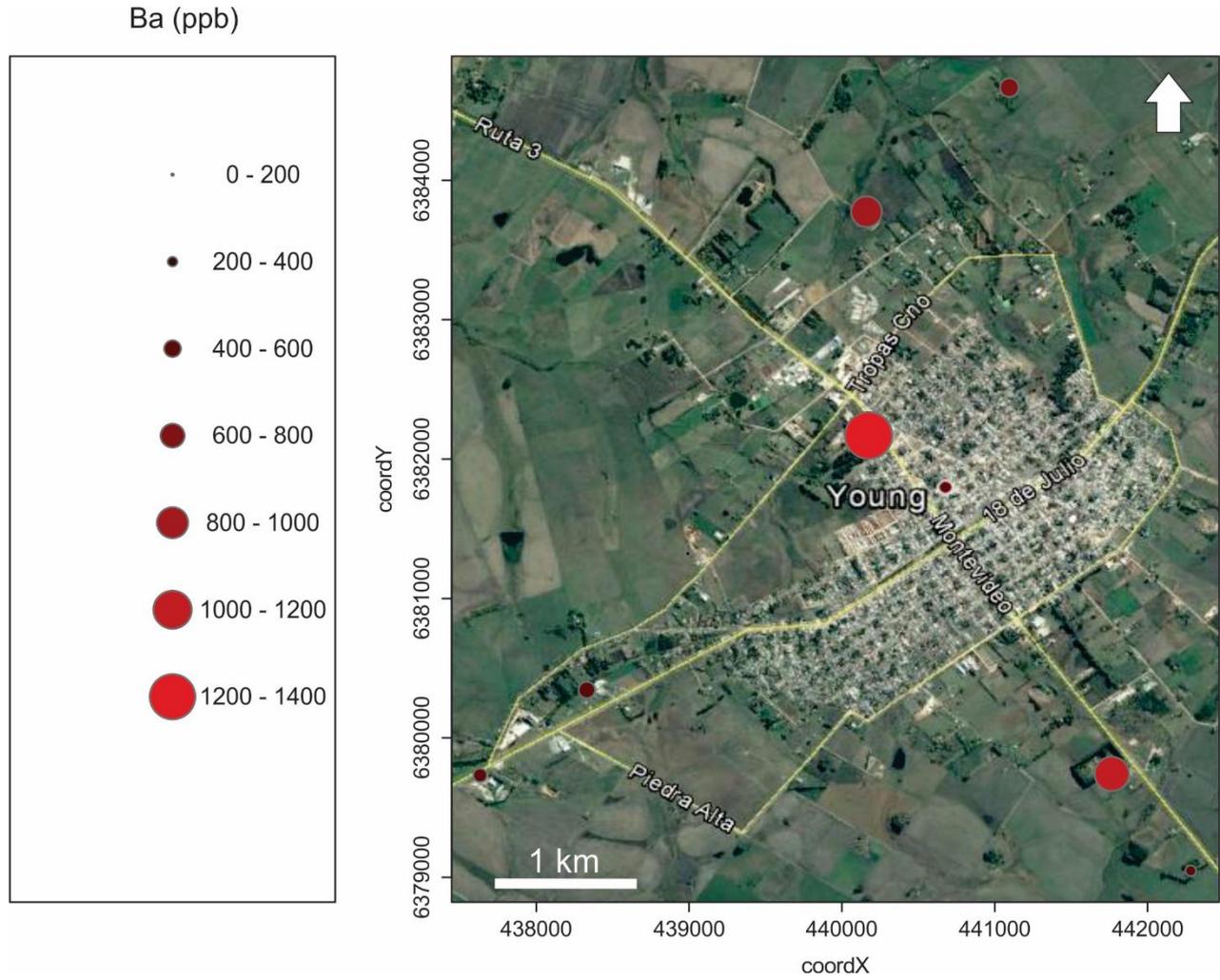
Sample	UNIT 833:2008 (mg/L)	OMS (mg/L)	EPA (mg/L)	NC-P1	NC-P2	NC-P3	NC-P6	NC-P7	NC-P9	NC-P16	NC-P13	NC-P14	NC-P18	NC-P19	NC-P20
Sc				5	4	4	4	5	5	6	5	4	5	6	<1
Se	0.01	0.01	0.05	<0.5	<0.5	0,8	<0.5	1,0	<0.5	<0.5	1,0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Si				35140	39218	36201	33568	42098	36204	47269	42055	31928	32473	34913	147
Sm				<0.02	0,07	0,03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0,02	<0.02	<0.02
Sn				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sr				563,78	709,39	542,12	462,59	1075,92	673,97	696,19	709,18	493,49	415,09	532,15	2,96
Ta				<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Tb				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Te				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0,05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Th				<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ti				<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Tl				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Tm				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
U		0.015	0.03	3,91	5,86	3,09	5,18	9,47	5,01	1,98	7,43	5,19	3,20	1,52	<0.02
V				68,5	64,0	29,0	75,9	75,7	61,2	58,5	69,1	63,8	56,1	49,1	<0.2
W				<0.02	0,05	0,03	<0.02	<0.02	0,02	<0.02	0,02	<0.02	0,10	0,18	<0.02
Y				<0.01	0,08	0,03	<0.01	0,02	<0.01	<0.01	0,03	<0.01	0,04	<0.01	<0.01
Yb				<0.01	0,01	<0.01	<0.01	0,02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zn	4			16,8	24,0	17,7	27,0	39,3	19,3	321,3	14,3	13,0	56,4	20,8	19,9
Zr				<0.02	0,05	0,03	<0.02	0,02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0,05	<0.02	<0.02
F	1.5	1.5	4	0,800	0,940	0,360	0,930	1,100	0,760	0,630	1,000	0,860	0,340	0,400	0,017
Coord. X				441638	441095	440175	440645	441766	442282	437633	438331	437950	438992	440161	
Coord. Y				6383965	6384664	6382169	6380355	6379742	6379047	6379732	6380344	6380145	6381322	6383774	
pH				7,24	7,37	7,25	7,54	7,42	7,54	7,49	7,26	7,64	7,31	7,32	
Cond				700	580	990	820	942	808	772	944	700	616	574	
Temp				18	18	16,3	16	15,5	16,8	12,1	12,5	17,5	18,3	17,5	

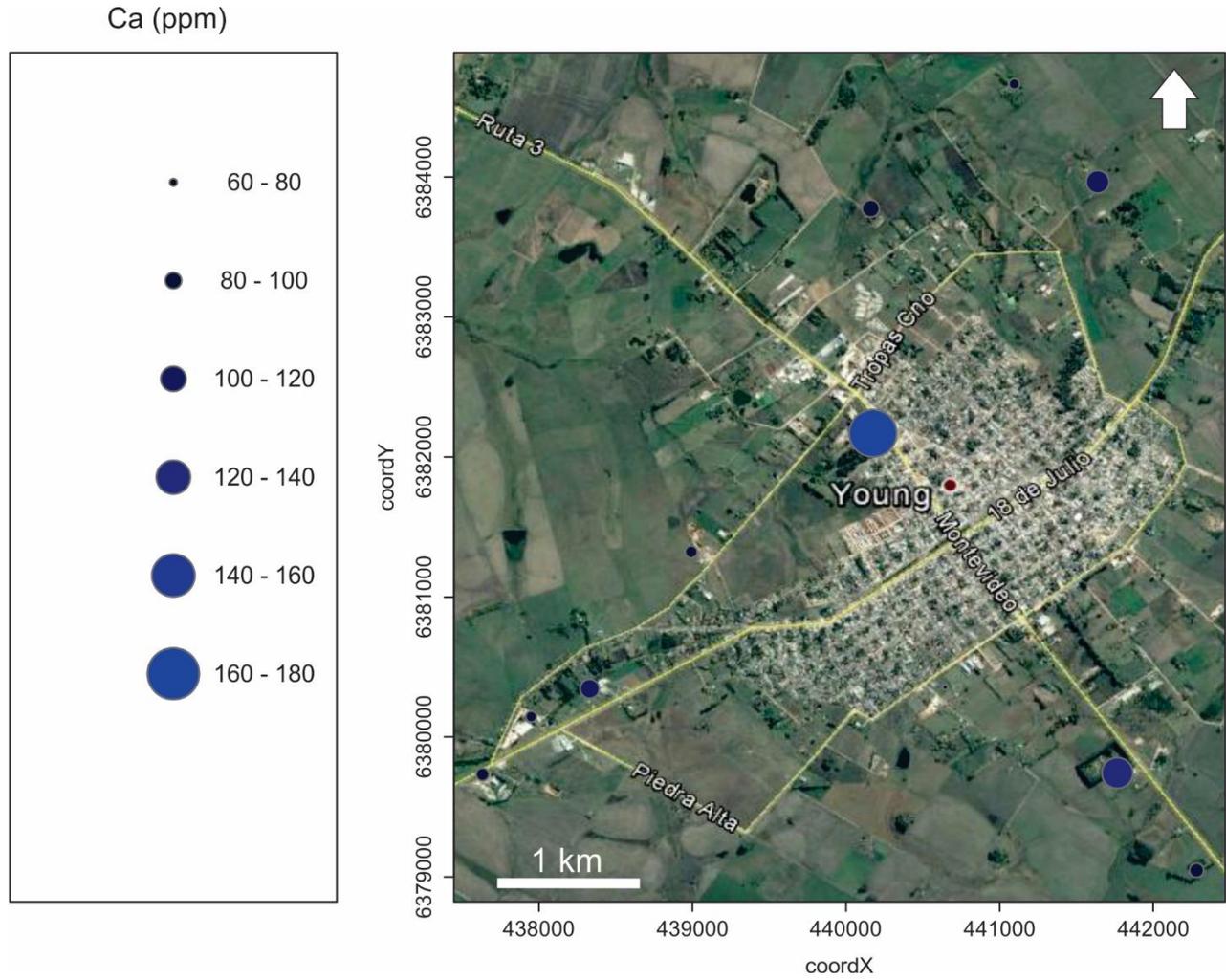
Anexo 2

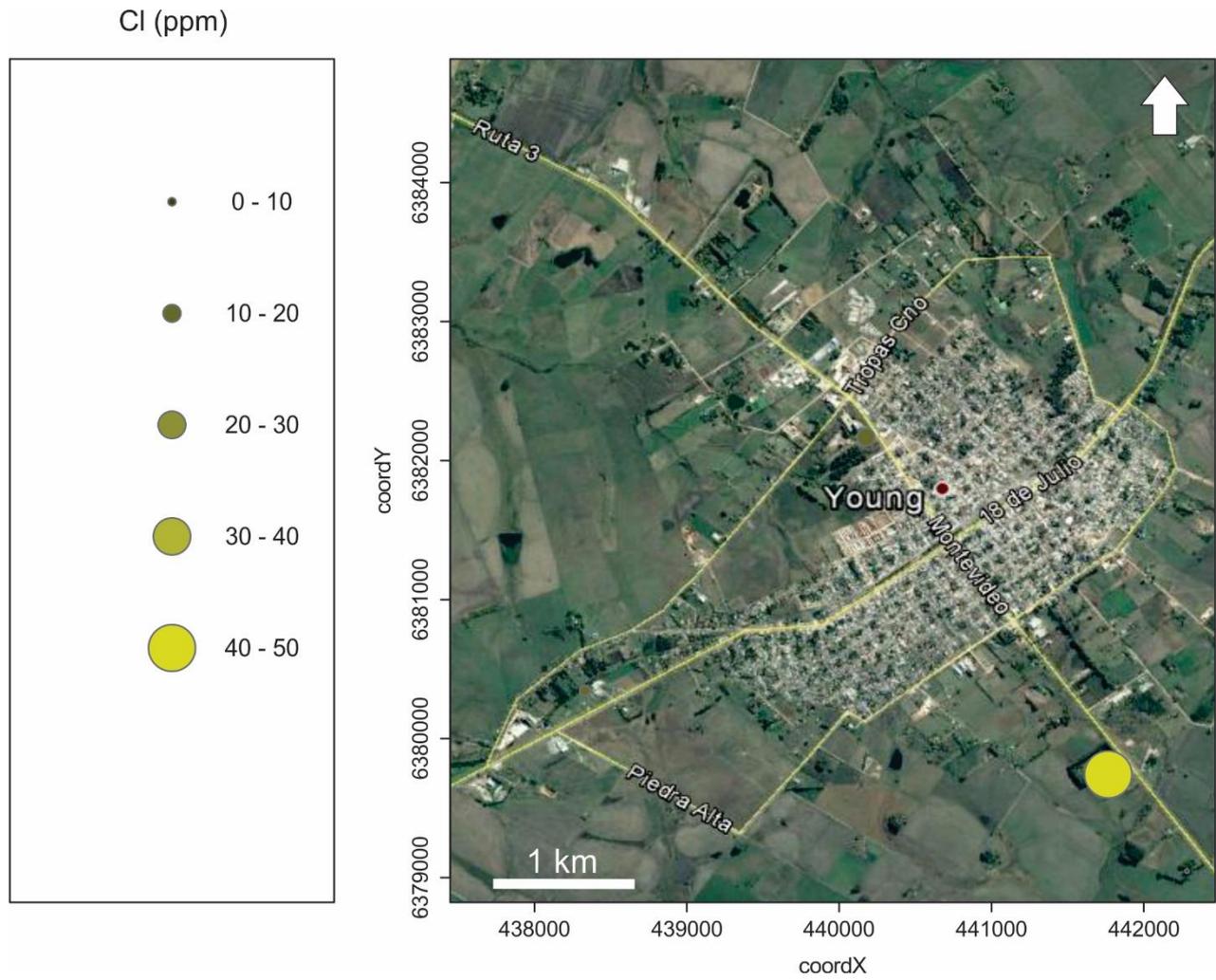
Mapas de distribución de los tenores de los elementos As, B, Ba, Ca, Cl, F, Li, Mg, Na, Si, Temperatura, pH, y Conductividad Eléctrica, en el área de estudio.

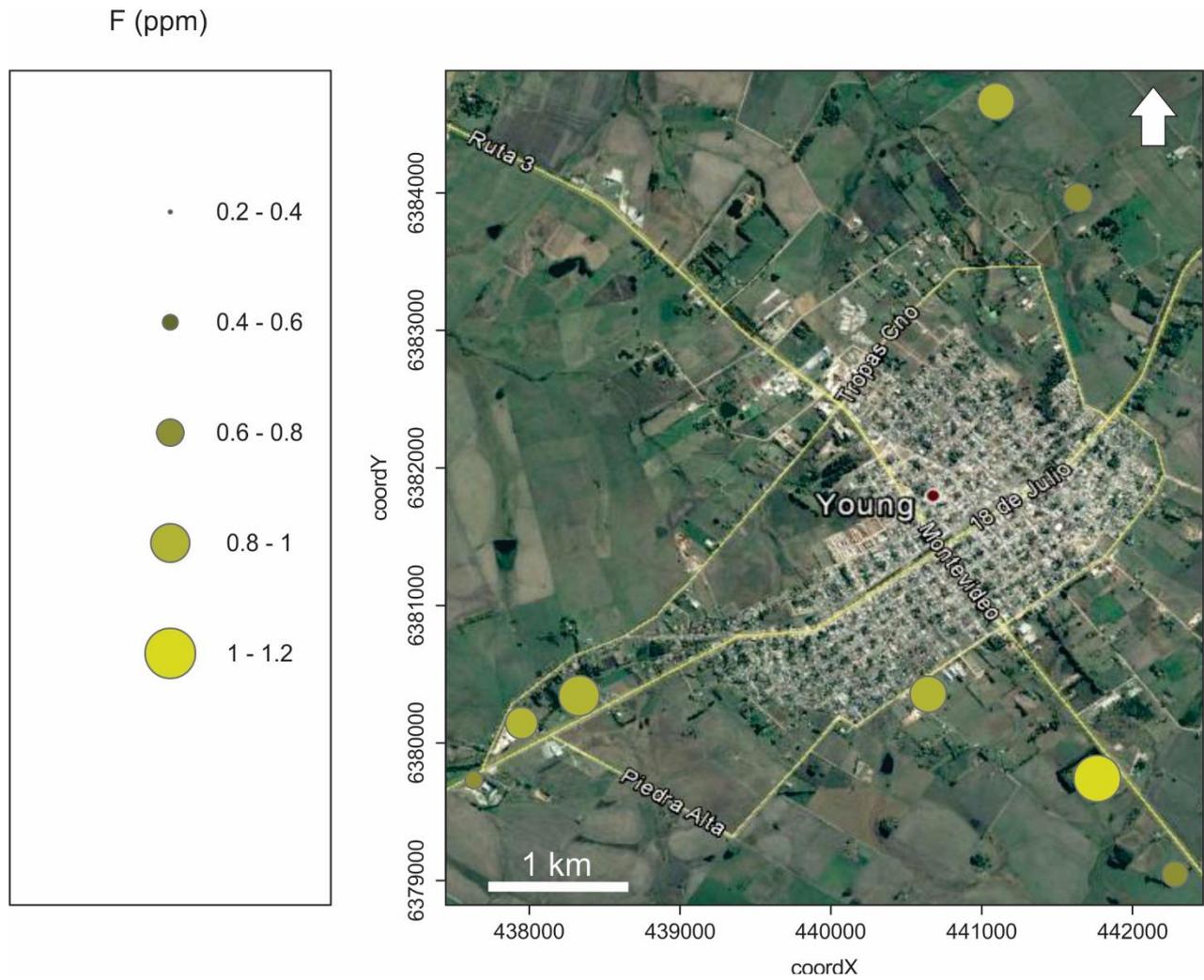


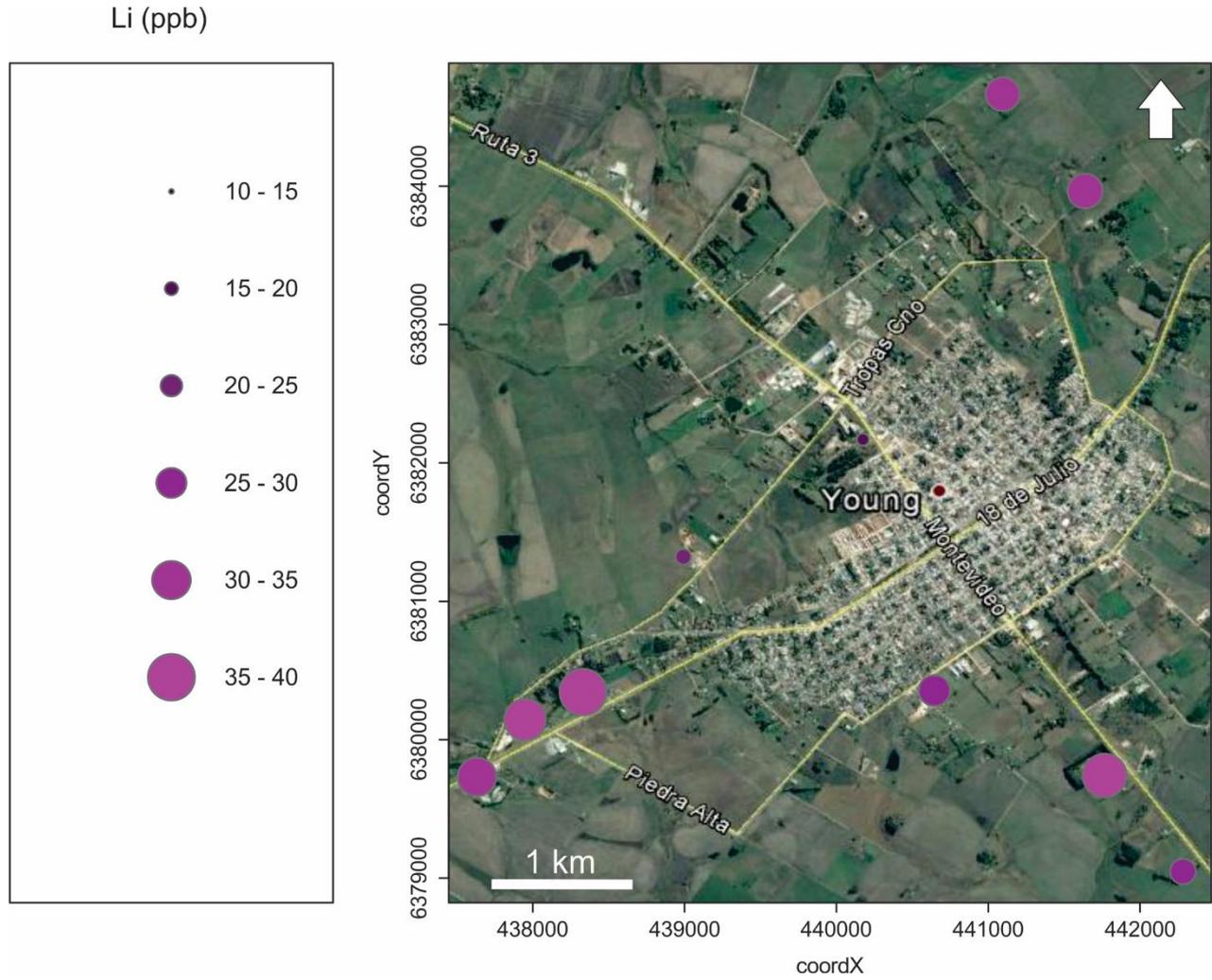


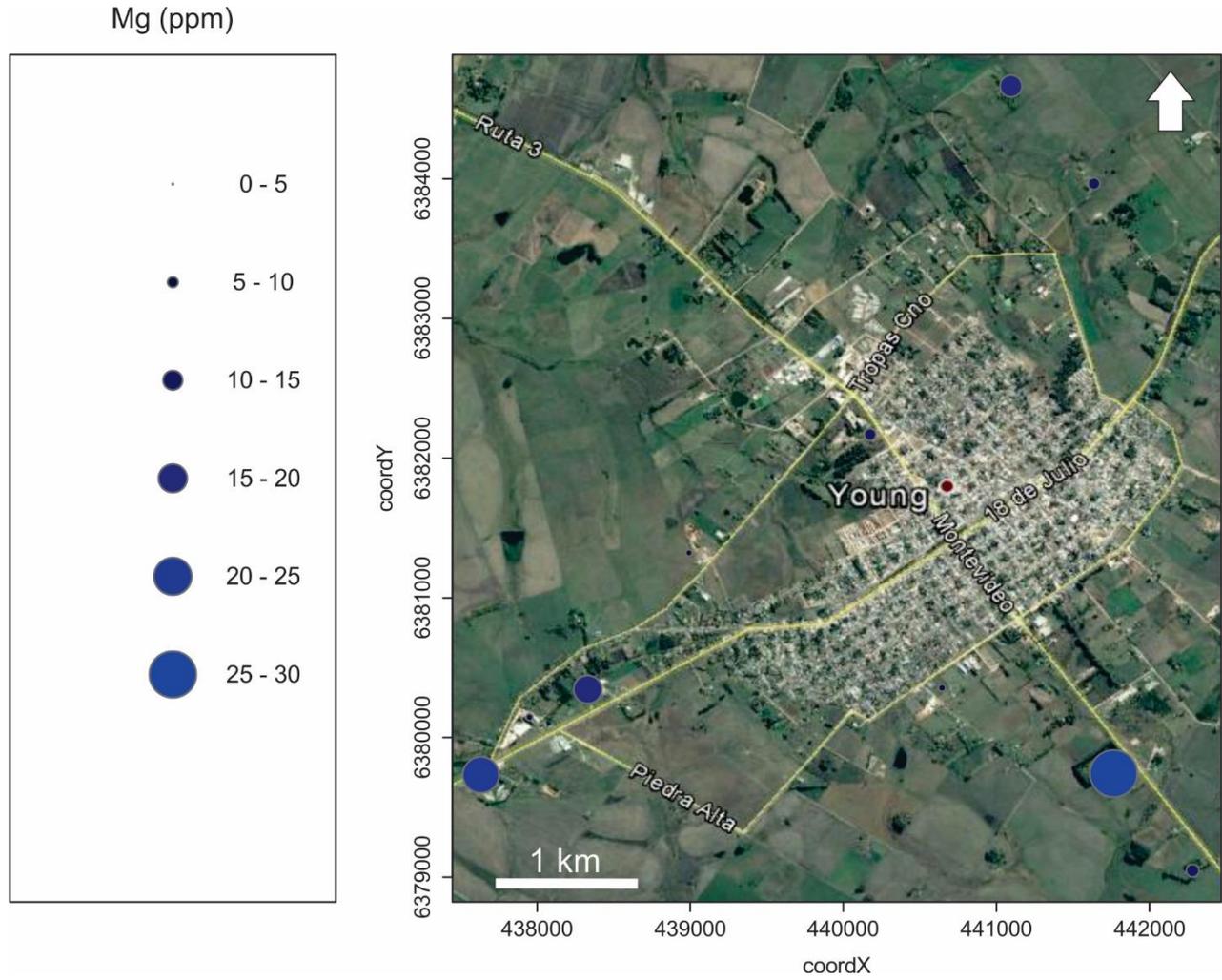


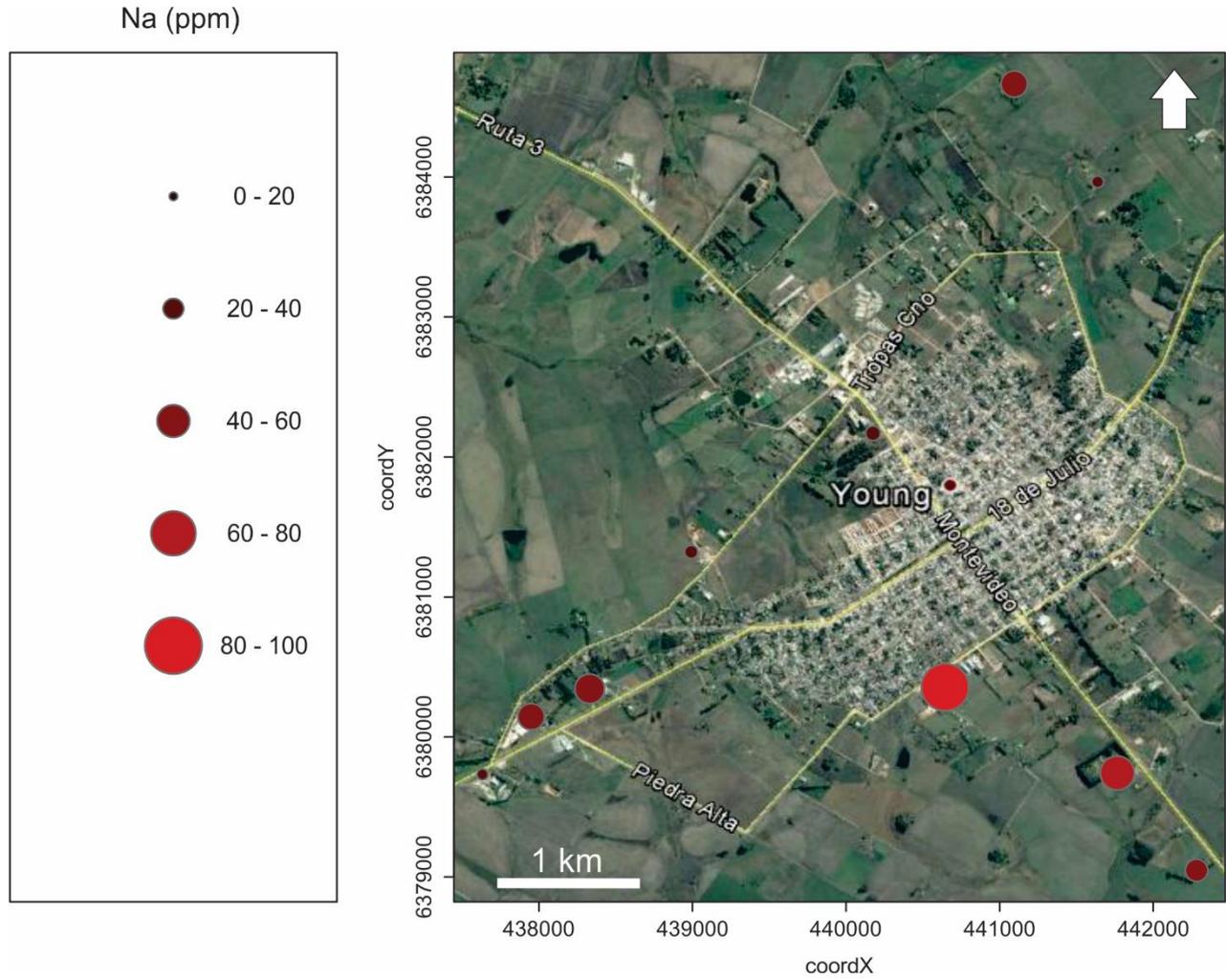




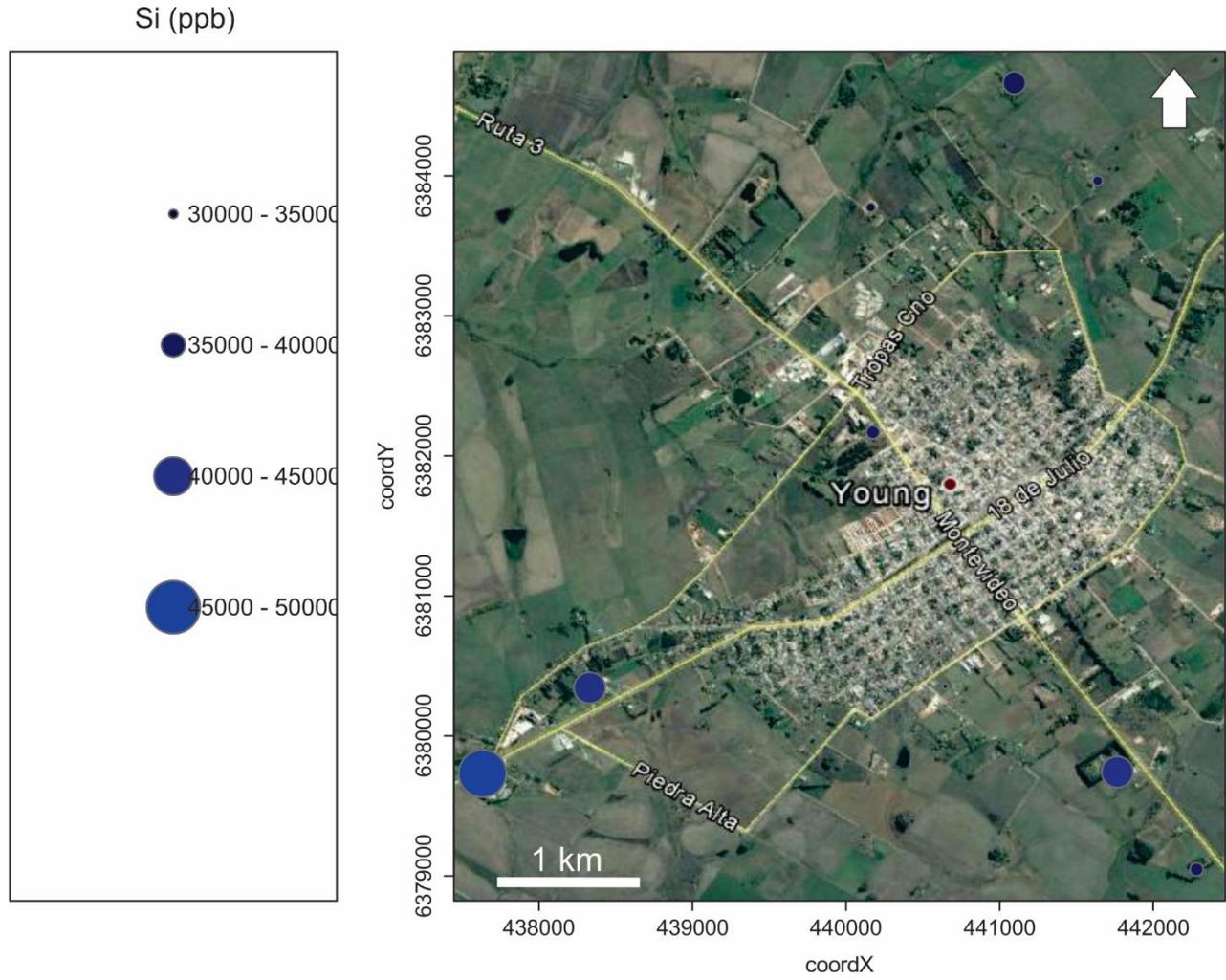


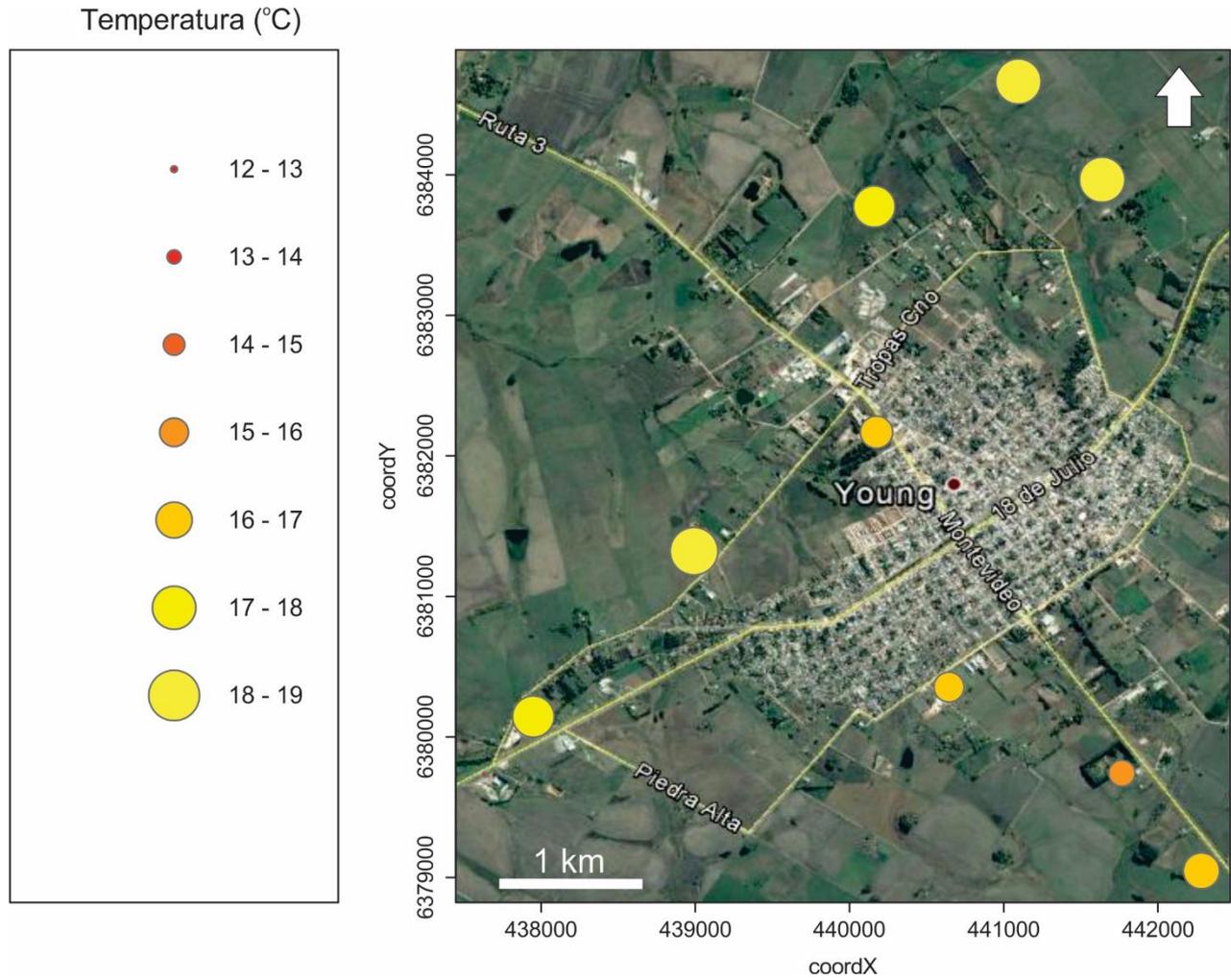


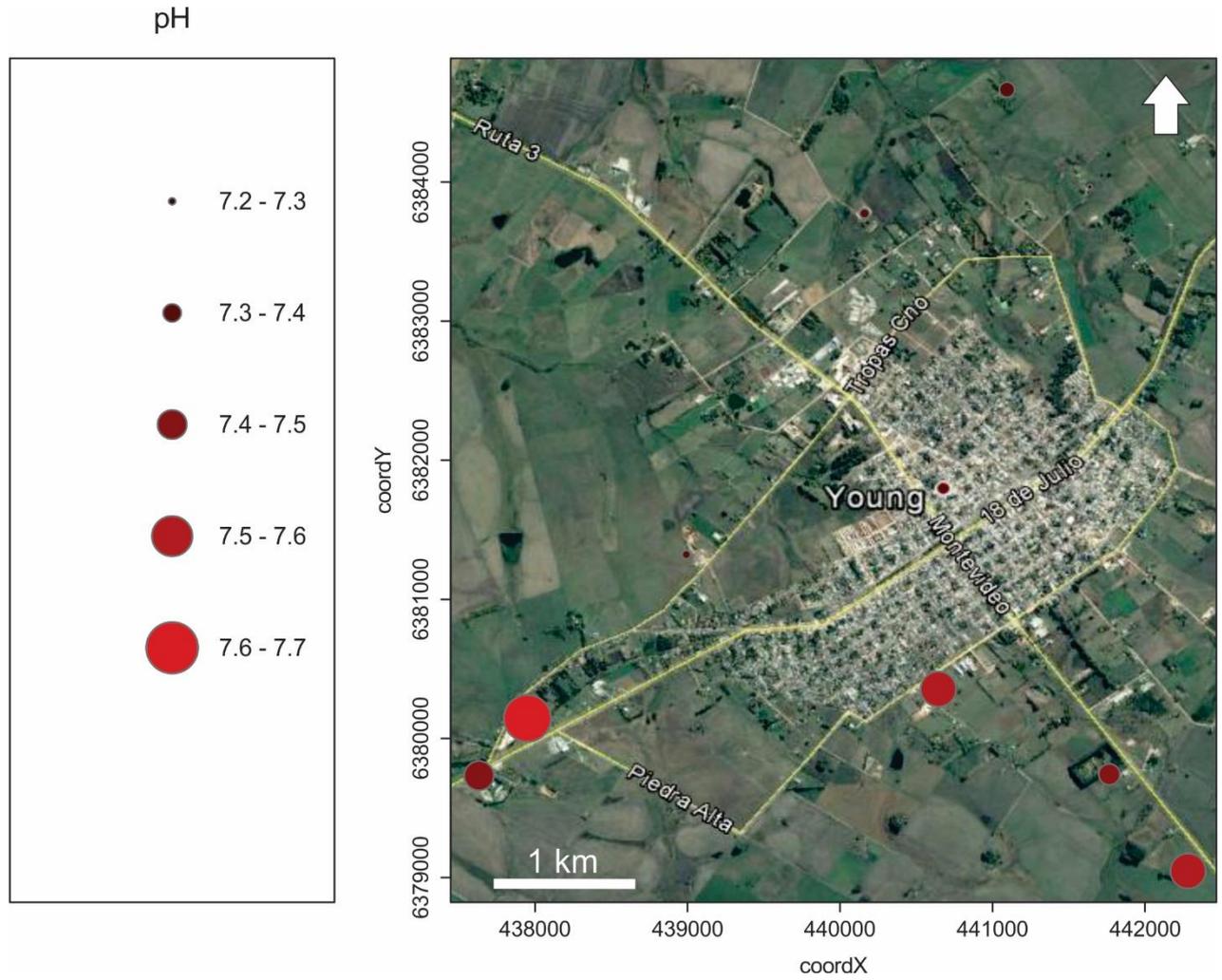




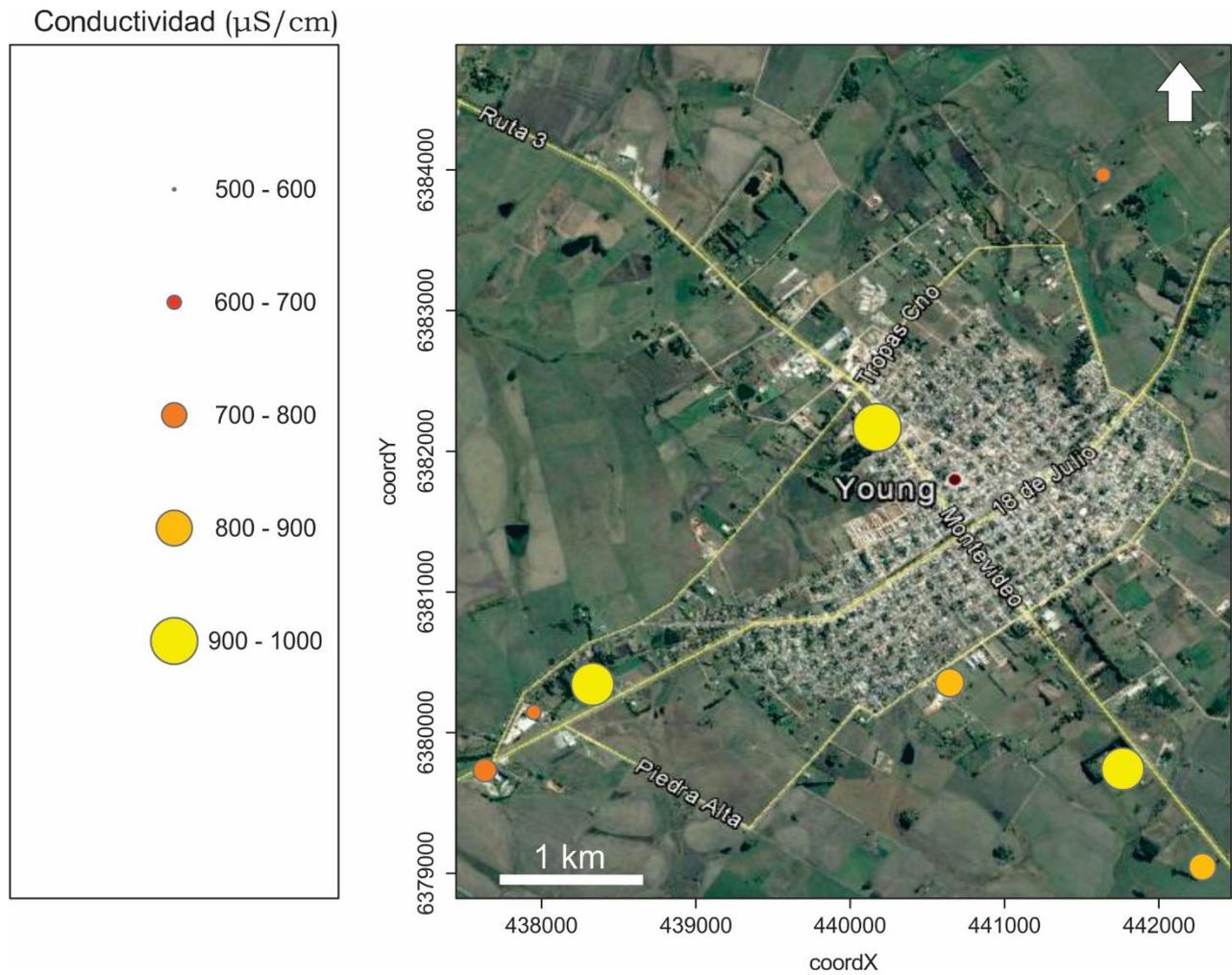
“Determinación de los niveles de concentración de elementos traza en las aguas subterráneas de los alrededores de la ciudad de Young (Río Negro – Uruguay)”







“Determinación de los niveles de concentración de elementos traza en las aguas subterráneas de los alrededores de la ciudad de Young (Río Negro – Uruguay)”

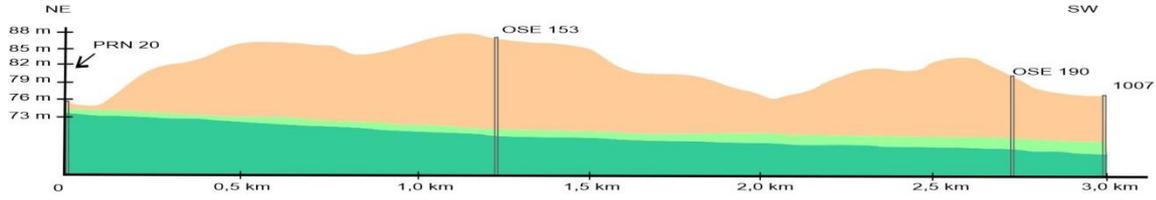


Anexo 3

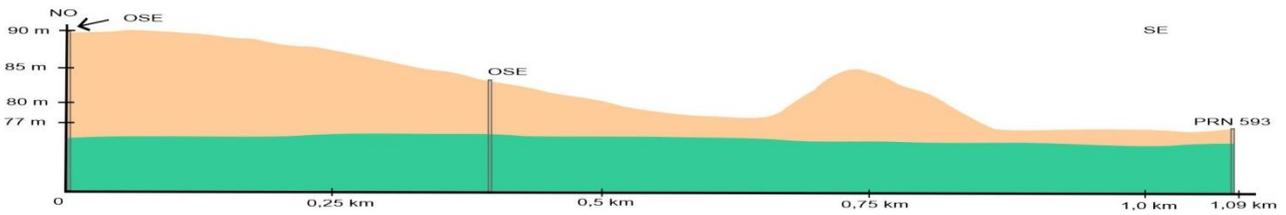
Información del perfil litológico de perforaciones empleadas en este trabajo, proporcionada por DINAGUA a partir de su base de datos. Algunas perforaciones cuentan con descripción más detallada.

Identificación	UTM x	UTM y	Perfil litológico		Formaciones
PRN 20	441236	6382756	0-6 m	Fm. Fray Bentos	Fm. FB
			6-12 m	Fm. Asencio	Fm. M
			12-34 m	Fm. Mercedes	
PRN 593	439729	6382124	0-3 m	Suelo	
			3-12 m	Arcilla - Arena	Fm. FB
			12-32 m	Arena	Fm. M
			32-52 m	Arena silicificada	
5961-1	439448	6382752	0-28 m	Limolita rosada con carbonato de calcio	Fm. FB
			28-150 m	Arenas y areniscas de granulometría variable	Fm. M
5961-2	439555	6382601	0-29 m	Fm. Fray Bentos	Fm. FB
			29-48 m	Fm. Asencio	Fm. M
			48-150 m	Fm. Mercedes	
5961-3	439733	6382694	0-3 m	Suelo	
			3-21 m	Limo arcilloso	Fm. FB
			21-30 m	Arcilla arenosa roja - Fm. Asencio	Fm. M
			30-105 m	Arenisca silicificada - Fm. Mercedes	
			105-150 m	Arcilla arenosa - Fm. Guichón	Fm. G
5961-4	439735	6382692	0-25 m	Fm. Fray Bentos	Fm. FB
			25-42 m	Fm. Asencio	Fm. M
			42-150 m	Fm Mercedes	
			150-154 m	Fm. Guichón	Fm. G
PRN 1290	441110	6380509	0-12 m	Fm. Fray Bentos	Fm. FB
			12-14 m	Fm. Asencio	Fm. M
			14-80 m	Fm. Mercedes	
OSE Young - 108m	439811	6380524	0-25 m	Limo arenoso	Fm. FB
			25-73 m	Arenisca media	Fm. M
			73-82 m	Arenisca	
			82-86 m	Arena con arcilla	Fm. G
			86-108 m	Arcilla arenosa	
OSE Young - 153m	440407	6380217	0-2 m	Suelo	
			2-34 m	Fm. Fray Bentos	Fm. FB
			34-48 m	Fm. Asencio	Fm. M
			48-98 m	Fm. Mercedes	
			98-153 m	Fm. Guichón	Fm. G
OSE Young - 96m	438611	6380437	0-28 m	Loess rosado claro - Fm. Fray Bentos	Fm. FB
			28-96 m	Arenisca fina, media, gruesa - Fm. Mercedes	Fm. M
OSE Young - 802	440326	6381817	0-8 m	Arenisca rosada	
			8-17 m	Arcilla rosada	Fm. FB
			17-22 m	Tosca algo blanda	Fm. M
			22-90 m	Arenisca cuarzosa	
OSE Young - 190	440724	6381713	0-11 m	Limo y arena - Cuaternario	Fm. L
			11-31 m	Limo rosado - Fm Fray Bentos	Fm. FB
			31-60 m	Arenisca rojiza - Fm Mercedes	Fm. M
			60-115 m	Nivel calcáreo - Fm Mercedes	
1007	440205	6379970	0-28 m	Limo arcilloso rosado	Fm. FB
			28-33 m	Arenisca ferrificada	Fm. M
			33-43 m	Arcilla blanca	
			43-90 m	Arena cementada con calcáreos	
Interagrovial	438331	6380344	0-1 m	Suelo orgánico arcilloso negro	Fm. L
			1-30 m	Limolitas Fm. Fray Bentos	Fm. FB
			30-30,5 m	Contacto con areniscas. Fm. Mercedes	Fm. M

CORTE A - B



CORTE C - D



CORTE E - F

