

**Universidad Nacional del Comahue**  
*Facultad de Ingeniería*  
*Departamento de Geología y Petróleo*  
*Licenciatura en Ciencias Geológicas*



Trabajo final de licenciatura

---

**CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA: PROPUESTAS PARA LA  
DEFINICIÓN DE LÍNEAS DE BASE GEOQUÍMICAS EN EL  
CONGLOMERADO URBANO GRAN NEUQUÉN**

---

Autor: Vergara, Matias Sebastian

Director: Lic. Danieli, Juan Carlos

Neuquén – 2023

Universidad Nacional del Comahue  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Geología y Petróleo  
Licenciatura en Ciencias Geológicas

**CARTOGRAFÍA GEOQUÍMICA: PROPUESTAS PARA LA  
DEFINICIÓN DE LÍNEAS DE BASE GEOQUÍMICAS EN EL  
CONGLOMERADO URBANO GRAN NEUQUÉN**

Trabajo Final de Licenciatura, presentado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue como parte de los requisitos para la obtención del título de:

**LICENCIADA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

Autor: Vergara, Matias Sebastian - Legajo ING-2744

Director: Lic. Danieli, Juan Carlos – Cátedra de Geología Minera.  
Departamento de Geología y Petróleo, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.

Jurado 1: Dr. Luis, Mas

Jurado 2: Lic. Marin Ratto, Ramiro Sebastian

Jurado 3: Dra. Pettinari, Gisela

Neuquén Capital, Argentina.

Año 2023

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mis padres Juan Carlos y Elizabeth, hermano Mariano y pareja Sofía que han sido un soporte vital en esta etapa de mi vida, estando siempre a mi lado, acompañándome en cada una de las etapas vividas.

A todos mis familiares, que de forma directa o indirecta me han acompañado, deseándome siempre lo mejor. En especial a mis abuelos que ya no están, pero sé que me han acompañado y me siguen acompañando a lo largo de la vida.

A mis amigos/as quienes han estado a lo largo de esta etapa, con los que he pasado todo tipo de circunstancias, tanto los buenos como los adversos, pero siempre con la mejor predisposición.

A mi Director Juan Carlos Danieli, por guiarme a lo largo de este trabajo y por su compromiso desde el inicio del mismo, estando siempre predispuesto a ayudarme y brindarme su tiempo, paciencia y apoyo en cualquier consulta o duda.

A la Dra. Gisella Pettinari por el apoyo, conducción y soporte durante la preparación de las muestras realizadas en los laboratorios del CIMAR.

Al personal de laboratorio correspondiente al Asentamiento Universitario Zapala (AUZa) por las determinaciones de Espectroscopia de Rayos X.

A la Universidad Nacional del Comahue.

## RESUMEN

El presente trabajo final de licenciatura está centrado en la propuesta de metodologías de muestreo y estudio para definir preliminarmente criterios de zonificación ambiental de los fondos geoquímicos actuales, su variabilidad y distribución espacial. Se procura con ello determinar posibles zonas de dispersión o concentraciones anómalas de elementos y sustancias químicas en el conglomerado urbano de Neuquén, Plottier y Centenario, particularmente en las áreas de mayor afectación antrópica en años recientes.

En la actualidad, el sector urbano de la ciudad de Neuquén y sus localidades aledañas se encuentran constantemente alteradas, en mayor medida por factores antropogénicos (actividad humana) y en menor grado por factores geogénicos atribuidos a contingencias naturales.

Durante un largo tiempo los métodos de prospección geoquímica se han utilizado especialmente para detectar yacimientos minerales, siendo actualmente soporte indispensable para determinar el alcance y magnitud de la contaminación provocada por la actividad minera, como también aquella inducida por otras actividades de la vida cotidiana en los grandes centros urbanos y áreas industriales o rurales conexas. La propuesta de estudio contempla la toma experimental de muestras de sedimentos de corriente y suelos, que permitan su correlación con los datos de base existentes los que luego de su selección y ordenamiento territorial serán georreferenciados sobre la base cartográfica del área de estudio en escala 1:100.000. Sobre dicha base cartográfica se mapearán las principales unidades geológicas incorporando secciones estratigráficas de detalle, con especial atención a las zonas de mayor intervención antrópica.

**Palabras clave:** *Línea de base geoquímica, cartografía geoquímica, Neuquén, Centenario, Plottier, minería.*

## ABSTRACT

This final degree project is focused on the proposal of sampling and study methodologies to preliminarily define criteria for environmental zoning of current geochemical funds, their variability and spatial distribution. The aim is to determine possible zones of dispersion or anomalous concentrations of elements and chemical substances in the urban conglomerate of Neuquén, Plottier and Centenario, particularly in the areas with the greatest anthropic affectation in recent years.

Currently, the urban sector of the Neuquén city and its surrounding towns are constantly altered, to a greater extent for anthropogenic factors (human activity) and to a lesser extent by geogenic factors attributed to natural anomalies.

For a long time, geochemical prospecting methods have been used especially to detect mineral deposits, currently being an essential support to determine the scope and magnitude of the contamination caused by mining activity, as well as that induced by other activities of daily life in the large urban centers and related industrial or rural areas. The study proposal contemplates the experimental taking of samples of current sediments and soils, which allow their correlation with the existing base data, which after their selection and territorial ordering will be georeferenced on the cartographic base of the study area on scale 1: 100,000. On this cartographic basis, the main geological units will be mapped, incorporating detailed stratigraphic sections, with special attention to the areas with the greatest anthropic intervention

**Keywords:** Geochemical base line, Geochemical cartography, Neuquén, Plottier, Centenario, minería.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
CAPÍTULO I.....	7
1.2 Metodología de trabajo.....	8
1.3 Ubicación.....	9
CAPÍTULO II.....	10
2.1 Marco geológico regional.....	10
2.2 Estratigrafía.....	11
2.3 Estructura.....	15
CAPÍTULO III.....	16
3.1 Marco teórico – metodológico.....	16
3.1.1 Importancia de las líneas de base geoquímica.....	16
3.1.2 Diseño y planificación para la elaboración de las Cartas Geoquímicas.....	16
3.2 Medios de muestreo geoquímico.....	17
Sedimentos de corriente y sedimentos de llanuras de inundación (floodplain).....	18
Suelos residuales y no transportados (autóctonos).....	19
3.2.1 Organización de los archivos de muestras.....	20
3.2.2 Diseño de la grilla para nuevos muestreos.....	20
CAPITULO IV.....	22
1.1 Selección de áreas.....	22
1.2 clasificación del nivel de impacto según el tipo de actividad antrópica.....	23
1.2.1 Actividad hidrocarburífera.....	23
1.2.2 Actividad minera.....	25
1.2.3 Actividad urbana.....	27
CAPITULO V.....	29
1.1 Trabajo de campo.....	29
1.1.1 Rutas de acceso.....	29
1.1.2 Puntos geográficos para el muestreo de los sedimentos de corriente.....	31
1.1.3 Muestreo de sedimentos de corriente.....	31
1.1.4 Muestreo de suelo.....	33
1.2 Litología.....	34
1.2 Perfiles geológicos.....	34
1.3 Preparación de muestra.....	38

1.4 Técnicas de análisis de muestras .....	41
1.4.1 Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	41
Figura 21. Comportamiento de una muestra al ser sometida al análisis químico de Fluorescencia de Rayos X (Imagen extraída de Aparicio Rebollo F.J.).....	42
CAPÍTULO VI .....	43
1.1 Resultados de los análisis .....	43
I.2 Interpretación y discusión de los resultados .....	45
• Río Neuquén (elementos de interés): .....	46
• Río Limay (elementos de interés): .....	46
• Muestras de suelo (elementos de interés):.....	47
• Muestras de roca (elementos de interés): .....	47
DISCUSIÓN .....	51
CONCLUSIONES .....	55
ANEXO I: Concentraciones medidas y límites de detección .....	62
ANEXO II: Distribución geográfica de los puntos de muestreo en ppm. ....	65
ANEXO III: Interpolación de líneas de base geoquímicas.....	70

## CAPÍTULO I

### **1.1 Fundamentos teóricos y objetivos**

La cartografía geoquímica es una herramienta que ha representado a lo largo del tiempo el estudio actual de la evolución de las metodologías de la exploración química multielemental con objetivos prospectivos, donde, a partir de un conjunto de bases de datos geoquímicos multielementales permiten reflejar las condiciones del medio superficial. Pretende determinar los niveles actuales de los contenidos de los elementos químicos o fondos actuales (geochemical base-lines) y así poder conocer la distribución espacial de los elementos y su variabilidad (Méndez *et al*, 2017). Durante décadas los métodos de prospección geoquímica se utilizaron para detectar yacimientos minerales. Hoy, paradójicamente, estos mismos métodos se empiezan a usar para determinar la extensión y el grado de la contaminación inducida por la actividad minera relacionada con esos mismos yacimientos minerales (Oyarzun et al ,2010).

Las aplicaciones de la geoquímica ambiental han ampliado el uso del relevamiento geoquímico a nivel regional con fines multipropósitos, de tal modo que han permitido la correlación y caracterización de los niveles de determinados elementos traza, obtenidos a partir de la toma de muestras de sedimentos de corriente, aguas y suelos, con áreas donde la actividad antropogénica se encuentra muy marcada (urbanización, agrícolas, mineras o centros industriales, petroleras, etc.), pudiendo zonificar aquellas áreas con un elevado potencial de riesgo de toxicidad para la población. Por este motivo, la obtención y caracterización de los valores de dicha base de datos, son de gran importancia para la identificación tanto de los pasivos ambientales, como de los centros potenciales de perturbación ambiental en el conglomerado urbano del Gran Neuquén.

En el presente trabajo se llevó a cabo la revisión de la información existente hasta la fecha, tomando como referencia la cartografía geoquímica en escala 1:500.000 de las Cartas Geoquímicas de la República Argentina (IGRM-SEGEMAR), con el objetivo de zonificar en la región de estudio las áreas de mayor afectación geogénica y/o antropogénica.

A partir de la cartografía geoquímica para la definición de líneas de base geoquímicas, hasta el momento no se han realizado estudios ambientales de detalle, con la finalidad de analizar y caracterizar las condiciones que se encuentran tanto los suelos como los distintos cuerpos de agua que rodean el conglomerado urbano del Gran Neuquén.

De esta manera el objetivo general de este trabajo consiste en un principio en la determinación preliminar de aquellas áreas con diversos grados de compromiso ambiental dentro de los ejidos urbanos de Neuquén y sus localidades aledañas, a partir de la confección de los mapas geológicos. Uno de escala 1 : 100.000 perteneciente a la cartografía de la hoja 3969-17 Neuquén de la Dirección Provincial de Catastro e Información Territorial, y otro de escala 1 : 100.000 para la descripción de la zona de estudio que presenta un mayor grado de impacto ambiental por los procesos antropogénicos y/o geogénicos.



Dentro de los objetivos específicos que se han descrito en el plan de trabajo se incluye la recopilación de la información cartográfica existente de escala 1:100.000 de los organismos provinciales; la recopilación y ordenamiento de los datos catastrales de registros provinciales y/o municipales, relacionados a la actividad minera, rural, petrolera, industrial y de utilización de aguas de escorrentía superficial y subterránea; revisión y la posterior selección de los datos de análisis químicos y geoquímicos de las cartas geoquímicas editadas (IGRM-SEGEMAR) escala 1:500.000 límites con la región de la confluencia (Hoja 3969 III Picún Leufú y Hoja 3969 I Zapala) para poder establecer parámetros de correlación y/o líneas de bases geoquímicas; evaluación y valoración de los datos recopilados y seleccionados, para seguir preliminarmente criterios de zonificación ambiental, procedimientos y técnicas de muestreo para chequeos de campo; realización de perfiles geológicos.

## 1.2 Metodología de trabajo

Las tareas realizadas durante la elaboración del informe involucraron trabajos geológicos de gabinete, campo y trabajo final de gabinete.

Para alcanzar los objetivos preestablecidos, el trabajo se subdividió en tres etapas: en primera instancia, previo a los trabajos de campo, se realizó la recopilación de datos e información a través de los medios virtuales disponibles, y/o en los centros de atención habilitados de acuerdo a las modalidades vigentes durante la emergencia sanitaria del Covid-19. Se consultó la bibliografía disponible respecto a la cartografía geoquímica y geoquímica ambiental para la elaboración de los mapas de líneas de base geoquímicas.

La zonificación de cada área de estudio dependió de la cantidad de datos disponibles que fue posible recopilar, procurando en primera instancia que la representación espacial dé cuenta de la correlación con las unidades geológicas presentes.

Una vez analizados y examinados los datos obtenidos a partir de la bibliografía, se procedió con la segunda etapa llevada a cabo durante el trabajo de campo. Éste consistió en la toma de muestras de sedimentos de corriente, suelos y rocas que se encuentran expuestas en drenajes superficiales y escorrentías superficiales.

Posteriormente se representaron gráficamente los datos obtenidos sobre una base cartográfica, cuyo mapeo se realizó durante el relevamiento geológico de campo, con apoyo de imágenes satelitales y la cartografía disponible del área de estudio (Hoja 3969-II. Neuquén). Durante los trabajos de relevamiento de campo se tomaron diversas mediciones (distancias, diferencia de alturas y puntos geográficos) con el uso de GPS y escala métrica. Para la elaboración de los perfiles geológicos, se utilizaron diversos programas digitales (SAS planet, Qgis, Corel Draw), haciendo énfasis en las zonas de mayor intervención antrópica.

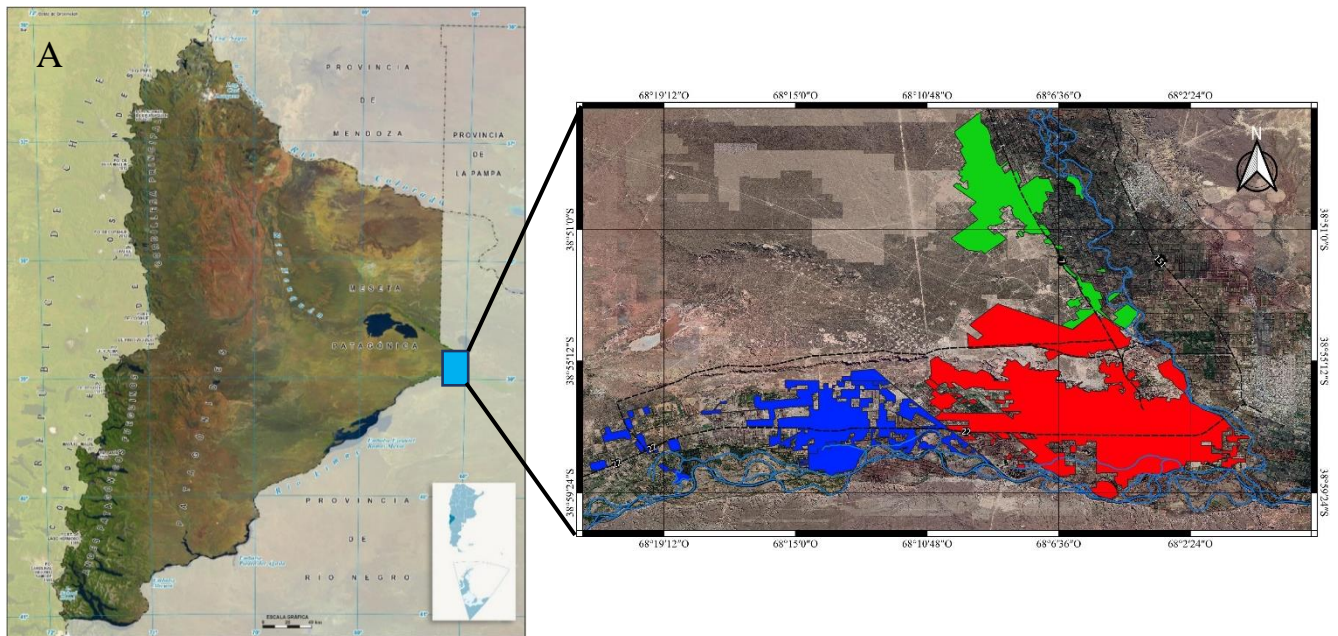
La caracterización petrográfica consistió en el análisis macroscópico de las rocas sedimentarias aflorantes en las áreas de mayor intervención antrópica (canteras, movimientos de suelos, áreas cercanas a los yacimientos de hidrocarburos en explotación), con el objetivo de observar evidencias de alteraciones en suelos y/o rocas producto de los contaminantes y la dispersión de los mismos en el sistema de drenaje.

Una vez obtenidos los datos de laboratorio, a través de los análisis químicos mediante la técnica de Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (EFRX) (realizados en el Asentamiento Universitario Zapala, AUZa, Universidad Nacional del Comahue), se volcaron sobre la base cartográfica mediante el software de Qgis, con el fin de sectorizar las áreas con presencia de posibles anomalías geoquímicas y así contrastarlas con el entorno antropogénico.

### 1.3 Ubicación

El área donde se realizó el estudio se encuentra focalizada en la Provincia del Neuquén, delimitada entre las localidades de Neuquén, Plottier y Centenario, ubicadas entre los paralelos  $38^{\circ}46'42''$  y  $39^{\circ}00'56''$  de latitud Sur y los meridianos  $68^{\circ}19'16''$  y  $68^{\circ}00'16''$  de longitud Oeste. La zona de estudio se encuentra conformada por tres localidades cuyos ejidos urbanos ocupan grandes extensiones areales (Neuquén Capital: 12.828 Has, Plottier: 14.260 Has, Centenario: 27.400 Has), provocando alteraciones antrópicas, ya sea por las actividades urbanas, o por las diversas actividades industriales que se realizan en el sector perteneciente al parque industrial de Neuquén (PIN) (46.900 Has), el cual está constituido por un conjunto de industrias con multipropósito (petroleras, mineras, metalúrgicas, químicas, cerámicas).

Existen diversas vías de acceso al área de estudio, las principales son las rutas nacionales N° 22, 151, la ruta provincial N° 7 y la ruta de circunvalación. Cada una de éstas convergen en Neuquén Capital.



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio. A) Ubicación del área de estudio en la Provincia de Neuquén. B) Delimitación del área de estudio, detallando las correspondientes localidades que se abarcan y las vías de acceso.

## CAPÍTULO II

### **2.1 Marco geológico regional**

Neuquén Capital como las localidades adyacentes de interés para el trabajo (Plottier – Centenario) se encuentran situadas en el extremo centro-este de la provincia del Neuquén, integrando parte de la ya conocida Cuenca Neuquina, considerada como la mayor productora de hidrocarburos (petróleo – gas) del país. No solamente la industria de los hidrocarburos predomina en la cuenca, ya que la industria minera, especialmente relacionada a rocas y minerales industriales, es una de las actividades que en los últimos años ha tenido un gran crecimiento en la provincia.

La evolución geológica de la Cuenca Neuquina es el resultado de una larga y compleja historia de sedimentación que se desarrolló en este sector a lo largo de los diferentes periodos geológicos (Garrido, 2005). Las rocas más antiguas de la cuenca Neuquina pertenecen a las metamorfitas (Fm. Colohuincul) y plutonitas (Fm. Huechulafquen) (Turner, 1965) que constituyen el basamento, cuyas edades estimativas se encuentran entre el Proterozoico y el Paleozoico Temprano, según diversos autores (Turner y Cazau, 1978; Digregorio, 1980; González Díaz y Nullo, 1980; Leanza y Hugo, 1997). Se sobreponen en la secuencia estratigráfica rocas volcánico-sedimentarias del Grupo Choiyoi cuyas edades van del Pérmico Superior al Triásico Medio. A partir del Ciclo Precuyano se da inicio a la sedimentación de la Cuenca Neuquina durante el Triásico Medio-Superior hasta la actualidad.

La cuenca está emplazada principalmente en la provincia del Neuquén, abarcando el sector sur de la provincia de Mendoza, sector oeste de La Pampa y el sector noroeste de Río Negro.

El área de estudio del presente trabajo, afloran principalmente depósitos sedimentarios del Grupo Neuquén. Litológicamente constituye una secuencia de aproximadamente 1.200 m de espesor máximo (Cazau & Uliana, 1973), integrada por una sucesión de capas rojas (red beds) compuestas principalmente de areniscas, fangolitas y grauvacas; con una reducida participación de horizontes conglomerádicos (Garrido, 2010).

Desde el punto de vista tectosedimentario, el Grupo Neuquén ha sido vinculado a un estadio de desarrollo de una fase de antepaís en la Cuenca Neuquina, generado como consecuencia del inicio de una tectónica compresional sobre el margen andino ocurrido a fines del Cretácico Inferior (Tunik et al., 2010). Producto de esta fase compresional se produce la inversión de las antiguas estructuras extensionales (Mpodosis & Ramos, 1989; Vergani et al., 1995; Macdonald et al., 2003), con la consiguiente generación de un frente de deformación occidental (faja plegada y corrida) y la migración hacia el este de los depocentros sedimentarios (Franzese et al., 2003; Ramos & Folguera, 2005; Howell et al., 2005). Los efectos de esta deformación quedan evidenciados en la base del Grupo Neuquén a partir de una marcada discordancia angular y erosiva que define a la discordancia Patagónica (Garrido, 2010).

En las etapas finales de la depositación del Grupo Neuquén se produce la inversión de la pendiente regional de la cuenca, posibilitando el ingreso del Océano Atlántico desde el este, factor que facilitó la generación de una marcada discordancia regional, identificada localmente como la discordancia Huantráiquica. dando comienzo a la depositación del Grupo Malargüe, con una secuencia sedimentaria continental – marina de más de 400 m de espesor.

## 2.2 Estratigrafía

Los primeros estudios realizados en profundidad de estos depósitos continentales del Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina, fueron realizados por geólogos de la ex Comisión Geológica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) en dos grandes etapas, la primera entre las décadas de 1930 y 1940 y la segunda entre las décadas de 1960 y 1970 (Garrido, 2010). Estos sedimentos continentales han despertado gran interés desde entonces, principalmente debido al descubrimiento de trampas de hidrocarburos, como así también, por los grandes hallazgos paleontológicos sucedidos durante las últimas dos décadas.

Uno de las primeras observaciones y descripciones geológicas realizadas en los depósitos sedimentarios que componen al Grupo Neuquén, fueron efectuadas por el naturalista Adolfo Doering (1882), quien describió los afloramientos de las bardas situadas al norte de las actuales ciudades de Plottier y Neuquén Capital. De esta manera Doering fue el propulsor de incontables estudios realizados en estos depósitos continentales del Cretácico Superior.

El termino litoestratigráfico de “Grupo Neuquén” fue introducido en la literatura geológica por Stipanovic *et al.* (1968), sin embargo, el alcance de su definición fue dada por Cazau & Uliana (1973) y posteriormente modificada por Uliana & Dellapé (1981) y Ramos (1981). De esta forma, el Grupo Neuquén ha quedado definido como una sucesión de depósitos continentales sinorogénicos de cuenca de antepaís (Tunik *et al.*, 2010) correspondientes al Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina, limitados en su base por la discordancia Patagónica (Keidel, 1917; Leanza, 2009) y en el techo por la discordancia Huantráiquica (Méndez *et al.*, 1987).

Actualmente rige un nuevo ordenamiento litoestratigráfico para la descripción de sus unidades formacionales. Este trabajo final se basará en los criterios de Garrido 2010 (fig. 2). De esta manera, el Grupo Neuquén se encuentra conformado por tres subgrupos (Subgrupo Río Limay, Subgrupo Río Neuquén y el Subgrupo Río Colorado) y nueve unidades formacionales (Fm. Candeleros, Fm. Huincul, Fm. Cerro Lisandro, Fm. Portezuelo, Fm. Los Bastos, Fm. Sierra Barrosa, Fm. Plottier, Fm. Bajo de la Carpa y la Fm. Anacleto). Agregando a lo descripto por Cazau & Uliana (1973), Uliana & Dellapé (1981) y Ramos (1981), dos unidades formacionales y la reorganización de sus dos primeros subgrupos.

Edad	Esquema litoestratigráfico vigente (*)	Esquema litoestratigráfico propuesto		
65.5 Ma	<b>Grupo Malargüe (parcial)</b>	<b>Grupo Malargüe (parcial)</b>		
Maastrichtiano				
70.6 Ma	Discordancia Huantráiquica	Discordancia Huantráiquica		
Campaniano	<b>Grupo Neuquén</b>	<b>Grupo Neuquén</b>		
83.5 Ma			Subgrupo Río Colorado	F. Anacleto
			F. Bajo de la Carpa	
85.8 Ma			Subgrupo Río Neuquén	F. Plottier
Coniaciano			Subgrupo Río Neuquén	F. Sierra Barrosa
				F. Los Bastos
				F. Portezuelo
88.6 Ma			Subgrupo Río Limay	F. Cerro Lisandro
Turoniano				F. Huincul
93.6 Ma			Subgrupo Río Limay	F. Candeleros
Cenomaniano	F. Candeleros			
99.6 Ma	Discordancia Miránica Principal	Discordancia Patagónica		

**Figura 2.** Esquema propuesto y modificado por Garrido (2010), del proyecto descripto por Cazau & Uliana (1973), modificado según Uliana & Dallepé (1981) y Ramos (1981).

A partir del trabajo de Sánchez *et al.*, 2006 la ciudad de Neuquén y sus alrededores describe la sucesión de depósitos continentales pertenecientes al Cretácico Superior (Subgrupo Río Colorado), Paleógeno – Neógeno (Terciario innominado) y Plioceno-Pleistoceno (Formación Bayo Mesa) como una faja continua de sedimentos con una disposición horizontal a subhorizontal.

La Formación Sierra Barrosa está aflorando principalmente en el sector occidental del área de estudio, ésta se conforma principalmente por depósitos fluviales de dominio

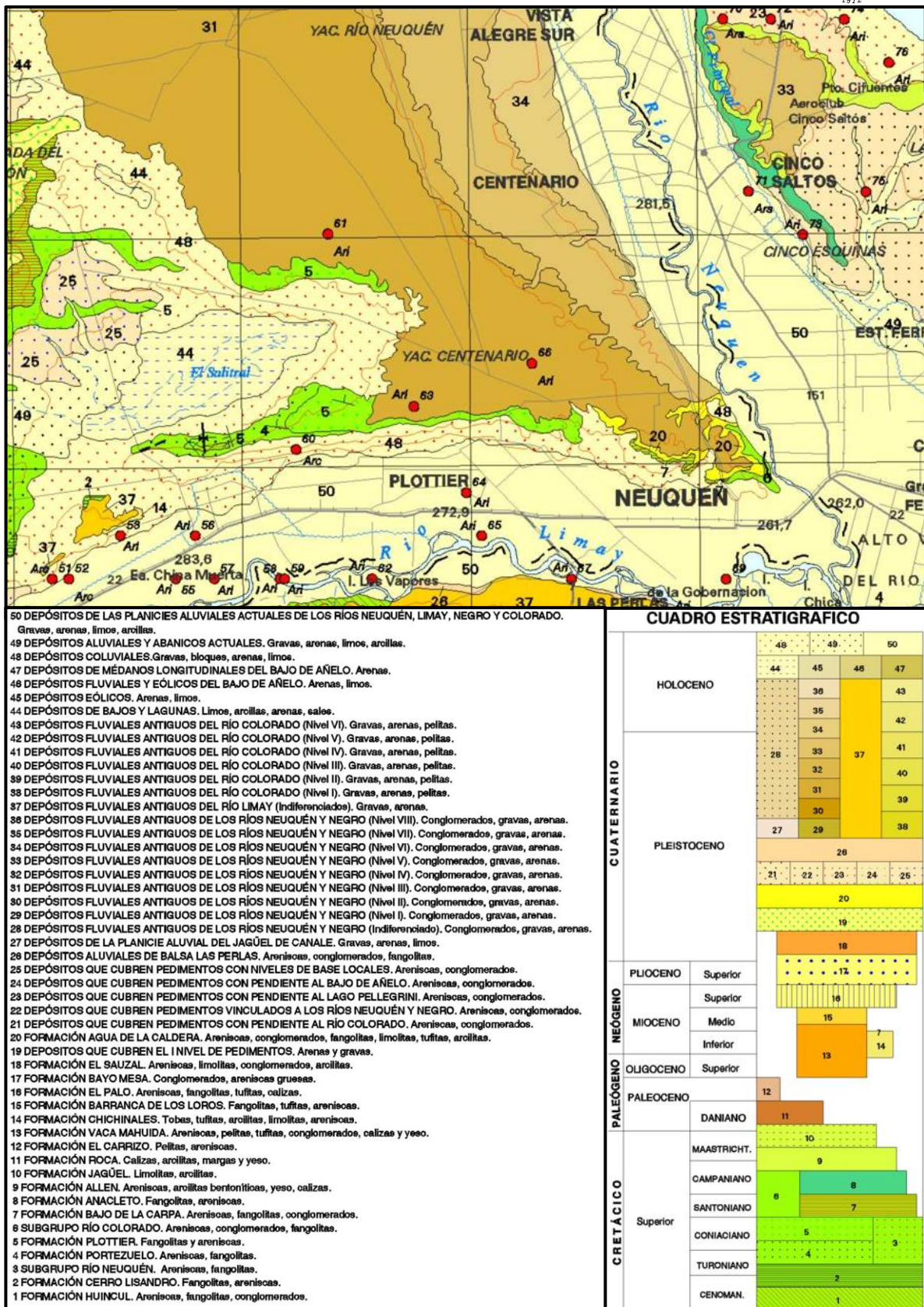
psamítico, exhibiendo características similares a la Formación Portezuelo. Se encuentra integrado por una sucesión de areniscas de granulometría media a fina, con intercalaciones menores de niveles fangolíticos (Garrido, 2010).

Suprayaciendo a esta secuencia de sedimentos se encuentra la Formación Plottier, está compuesta por pelitas rojas a rojizas pálidas, poco consolidadas, con intercalación de bancos limolitas y areniscas finas. La secuencia sedimentaria de esta formación, ha sido interpretada como depósitos de baja energía vinculadas a amplias llanuras aluviales de escaso relieve (Cazau & Uliana, 1973; Ramos, 1981), sobre las que se desarrollan pequeños cuerpos de agua y marcados paleosuelos (Garrido, 2010).

La Formación Bajo de la Carpa definida por Herrero Ducloux 1939, está integrada por areniscas varicolores con intercalaciones de fangolitas y brechas intraformacionales. Esta formación alcanza una potencia de 150 m, que contienen restos de terópodos (Leanza y Hugo 2001), aves, aves dinosaurianas, reptiles, huevos de aves y nidos de véspidos. Los paleoambientes de sedimentación corresponden a sistemas fluviales con buen desarrollo de paleosuelos (Leanza y Hugo 2001) y dunas eólicas (Heredia y Calvo 1997, 2002).

La Formación Anacleto está constituida por fangolitas rojas con intercalaciones de areniscas verdes depositadas en un paleoambiente fluvial, integrándose con la Formación Bajo de la Carpa y es sincrónica con ésta en su tramo medio y superior.

Por último, encima de estas formaciones se encuentran los depósitos terciarios integrados por estratos volcaniclásticos predominantemente y suprayaciendo a estos depósitos se encuentra la Formación Bayo Mesa compuesta principalmente por un manto de conglomerados.



**CUADRO ESTRATIGRAFICO**

CUATERNARIO	HOLOCENO	48	49	50		
		44	45	46	47	
		36		43		
		35		42		
		34		41		
		28	33	37	40	
		32		39		
		31		38		
		30				
		27	29			
PLEISTOCENO		26				
	21	22	23	24	25	
		20				
		19				
		18				
		17				
	MIOCENO	Superior	16			
		Medio	15			
		Inferior	13		14	
	OLIGOCENO	Superior	12			
		11				
PALEOCENO	DANIANO	10				
	MAASTRICHT.	9				
	CAMPANIANO	8		8		
	SANTONIANO	7		7		
	CONIACIANO	6		6		
	TURONIANO	5		5	3	
CRETÁCICO	Superior	4		4		
		3		3		
		2		2		
	CENOMAN.	1		1		

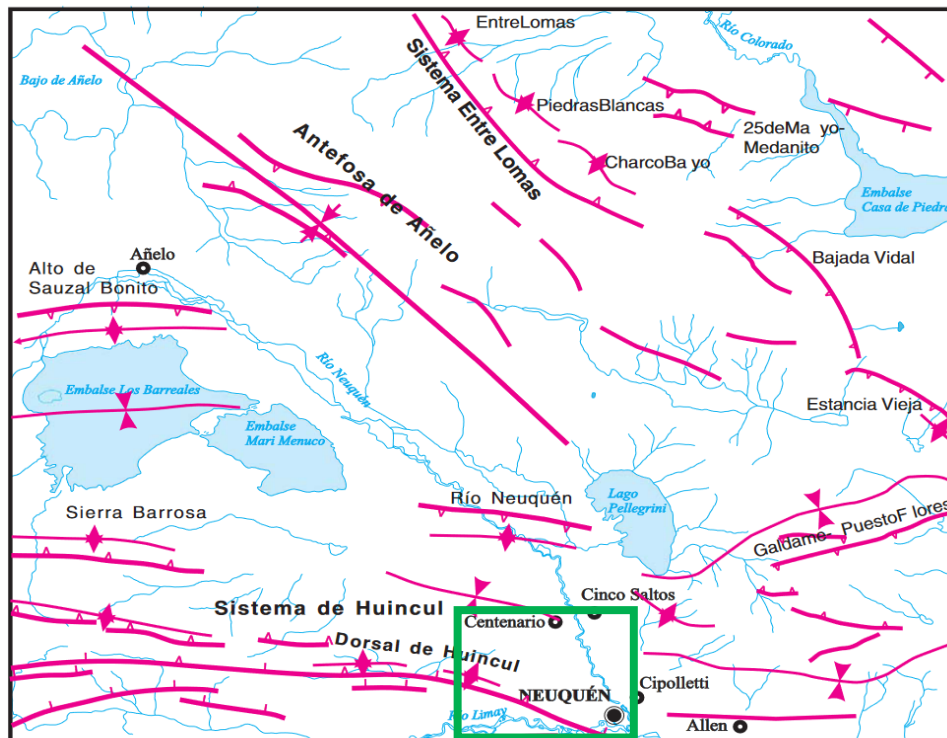
**Figura 3.** Mapa geológico de la Hoja 3969-II Neuquén, indicándose sus principales formaciones geológicas en el área de estudio (editado y extraído de M. F. Rodríguez, H. A. Leanza y M. Salvarredy Aranguren, 2007).

### 2.3 Estructura

La escasa deformación estructural en la ciudad de Neuquén, permite una buena preservación de los paquetes sedimentarios que componen el área de estudio, donde la única componente que los altera son los factores erosivos superficiales.

En líneas generales, pueden diferenciarse dos sectores con distinto grado de deformación delimitados por una línea aproximadamente N - S que estaría definida por Barreales Colorados – Sierra Blanca - Valle del Río Neuquén. Al oeste de dicha línea, se localizan las exposiciones del Grupo Neuquén, con una disposición homoclinal con valores bajos de inclinación y rumbo general N-NE; localmente se distinguen pliegues suaves y fallas de pequeño rechazo. En el área de la Dorsal de Huincul se reconocen pliegues de segundo orden con ejes paralelos a la estructura principal, con valores de buzamiento inferiores a 1° y longitudes de onda de 5 a 10 kilómetros (Danderfer y Vera, 1992).

Las direcciones de inclinación de las capas son variables, aunque siguen una tendencia general hacia el E y SE. La existencia de fracturas menores con rumbo E - O y NO - SE fue mencionada por Herrero Ducloux (1946) en las localidades de Aguada Anacleto, Plottier y en el valle del río Neuquén. En el flanco norte de la barda de Plottier se observa localmente que los estratos de las formaciones Portezuelo y Plottier se presentan muy inclinados en relación con una fractura de rumbo E-O vinculada con la Dorsal de Huincul (Rodríguez, M.F, *et al*, 2007).



**Figura 4.** Esquema tectónico de la Hoja 3969-II Neuquén, indicándose sus principales elementos estructurales en el área de estudio (extraído de M. F. Rodríguez, H. A.

Leanza y M. Salvarredy Aranguren, 2007 ).



## CAPÍTULO III

### **3.1 Marco teórico – metodológico**

#### **3.1.1 Importancia de las líneas de base geoquímica**

El conocimiento y el cuidado del ambiente son factores importantes a la hora de hacer uso de los recursos naturales, por este motivo se debe profundizar en el conocimiento respecto a la composición geoquímica del territorio.

Como es de amplio conocimiento la anisotropía en la concentración natural de los elementos químicos en la corteza (suelo, agua, sedimentos), varía de forma amplia a lo largo de las distintas áreas geológicas que son estudiadas. La comprensión de este concepto es de suma importancia ya que son muy versátiles y en muchos casos las concentraciones geogénicas o antropogénicas de los elementos químicos suelen ser considerados potencialmente peligrosos (As, Cd, Pb, Hg, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, elementos radioactivos, etc.). Respecto a los elementos y especies de interés, la geología y la geoquímica del entorno son las que ejercen un control fundamental sobre su distribución y su potencialidad para crear riesgos y causar daño a los seres vivos. Por esta razón, es de gran importancia el entendimiento de las posibles variaciones de las concentraciones base (*background*) antes de definir límites para contaminación (Rincón y González, 2011).

Por este motivo, la realización de las líneas de base geoquímicas debe ser de calidad y confiables, de modo que se puedan fijar los “límites de seguridad” de los elementos y especies potencialmente peligrosos, los cuales van a ser comparados con los límites determinados por las normas y ordenanzas establecidas a nivel nacional, provincial y municipal y así disponer de los programas de monitoreo ambiental, para mantener un control constante.

#### **3.1.2 Diseño y planificación para la elaboración de las Cartas Geoquímicas**

Según lo establecido por las Normativas para la Carta Geoquímica de la República Argentina realizada por el Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR, la elaboración de las cartas geoquímicas del punto de vista geológico - minero, brinda información geoquímica de base, que aporta un sustento importante para el desarrollo de nuevos programas de prospección y exploración minera, proporcionando de esa manera indicios o evidencias que permitan el descubrimiento de nuevos depósitos minerales.

La normativa es aplicable para la producción de cartas a escala 1:250.000, hasta 1:100.000, así como para mapas de escala regional (1:500.000, 1:750.000, 1:1.000.000). De esta forma, permite la definición del fondo regional de los elementos analizados en los sedimentos de corriente, y así evaluar la disponibilidad potencial de aquellos elementos de interés para el medio ambiente en las distintas cuencas hídricas, observando de esta manera los posibles excesos y deficiencias en la concentración de los mismos.

La información de cada Hoja Geoquímica describe dos versiones que exhiben un contenido diferente a partir de los estudios analíticos del sedimento de corriente obtenidos en el campo. Una de las versiones expone los datos de cobre, plomo y cinc preexistentes en las muestras seleccionadas, y la segunda versión muestra los datos del análisis multielemento generados a partir de muestras recientes.

### 3.2 Medios de muestreo geoquímico

Los muestreos aplicados tienen como objetivo obtener datos geoquímicos de calidad, para esto, se aplican metodologías de muestreo estandarizadas y métodos analíticos para lograr establecer líneas de base geoquímicas, con el fin de ser utilizadas con fines multipropósito (recursos minerales, hidrocarbúricos, ambientales, etc.).

La recolección de las muestras es una etapa fundamental dentro del trabajo, donde se toman en cuenta diversos factores que puede afectar a la muestra. La contaminación de la muestra es uno de los factores que deben ser controlados, mediante la elección apropiada de las herramientas, equipamiento y contenedores, para su preparación y almacenamiento.

A la hora de realizar la toma de muestras se deben seguir ciertas consideraciones (en esta contribución se tomó en cuenta las recomendaciones realizadas en el trabajo de Rincon G.P. y González A.E, 2011), para evitar la contaminación de la muestra y/o la inadecuada adquisición de los datos a la hora de realizar el muestreo (ubicación, etiquetas, etc.).

- Para obtener la toma de muestra y evitar la posible contaminación de la misma, se realizan los métodos con instrumentos de materiales plásticos o madera sin pintar y herramientas de acero inoxidable.
- Todos los sectores donde se realiza el muestreo deben ser georreferenciados (coordenadas geográficas y planas) por medio de GPS.
- Para la manipulación de las muestras se debe utilizar guantes de polipropileno desechables.
- A la hora de tomar muestras superficiales y profundas, se debe tener en cuenta la precaución de tomar primero profunda y luego la superficial. Este procedimiento evita la contaminación de las muestras profundas, del material caído de la superficial, en el caso de que está se tome primero.
- Los sitios de muestreo deben estar alejados de fuentes evidentes de contaminación derivados de las actividades antropogénicas, y a distancias prudentes de la carretera (mínimo 50 m).
- Para la muestra de datación, se debe tener en cuenta la precaución de no tomar muestras expuestas al aire o que se haya alterado visiblemente.

Las técnicas de análisis multielemento constituyen un excelente complemento del muestreo de sedimentos de corriente, ambas mejoran significativamente la eficacia del proyecto. Ésta permite el análisis sincrónico de los elementos de una determinada familia geoquímica, o pathfinders (elementos traza), y de esta manera permite abastecer de indicadores confiables sobre un rango más grande de escalas en un estudio.

La elaboración de la Carta Geoquímica tiene un sentido multipropósito, para esto se han seleccionado 48 elementos químicos que componen un paquete analítico como en la selección multielemento.

De esta forma, los datos de cobre, plomo y cinc preexistentes y los datos multielemento obtenidos en las áreas de interés, proveen información de base a una escala de anomalía local. Siendo la variación de la densidad del muestreo en el primer caso de una muestra cada 2-5 km<sup>2</sup>, y en el segundo caso de una muestra cada 5-10 km<sup>2</sup>. Esta información permite la detección de las anomalías o trenes de dispersión local, cuyas dimensiones no sean inferiores a 2 km<sup>2</sup>. Localmente aquellas áreas consideradas de interés y que tienen densidades de muestreo mayores (1 muestra cada 6-9 km<sup>2</sup>), los datos multielemento de la carta proporcionan información en la escala de la anomalía local.

En el presente trabajo se hará mención de las metodologías empleadas para la preparación y toma de muestras según lo establecido por Darnley *et al.* (1995):

### **Sedimentos de corriente y sedimentos de llanuras de inundación (floodplain)**

Los sedimentos de corriente han sido el medio de muestreo preferido para los estudios geoquímicos para el reconocimiento relacionados con la exploración minera. Si las muestras son colectadas de manera correcta, tienen la capacidad de representar un conjunto de materiales de la cuenca de drenaje río arriba del sitio de recolección. Vale decir de aquellos sedimentos que se mantienen en contacto permanente con la corriente de agua es el que normalmente tiene las mayores ventajas.

Estas muestras de sedimentos de corriente presentan gran sensibilidad para muchos elementos traza de metales pesados. Son importantes porque reflejan la composición geogénica promedio de la cuenca de captación. La conveniencia de muestrear sedimentos activos radica en que, en estos, se equilibra el contenido metálico del agua con el de los sedimentos finos, en particular aquellos de la fracción consistente en arcillas, materia orgánica e hidróxidos de Fe y Mn (Jorge Oyarzún, 2022). Cabe destacar que a lo largo del año se modifica la relación de distribución del contenido metálico entre la fase líquida y la sólida fina, con una subfase coloidal jugando un papel de intermediaria entre ambos.

La experiencia a nivel mundial ha demostrado que este medio de muestreo tiene elevada efectividad en la mayoría de los ambientes exógenos (Ballantyne, 1991; Fletcher, 1997; Hale, Plant, J. A, 1994).

Las muestras de sedimentos de corriente se toman en el lecho activo del curso fluvial, o donde hay evidencia de una circulación reciente de la corriente de agua. Idealmente, se recomienda tomar las muestras en tramos rectos del borde de la corriente, para evitar distorsiones por efecto hidráulico en los codos de los cauces. El material más indicado es el que incluye fracciones de limo y arcilla.

Los sedimentos de llanura de inundación representan el aluvión de toda cuenca de drenaje y se deben recolectar de la llanura aluvial en el punto más bajo (cerca de la desembocadura) de las cuencas de captación grandes. Estos sedimentos son depositados

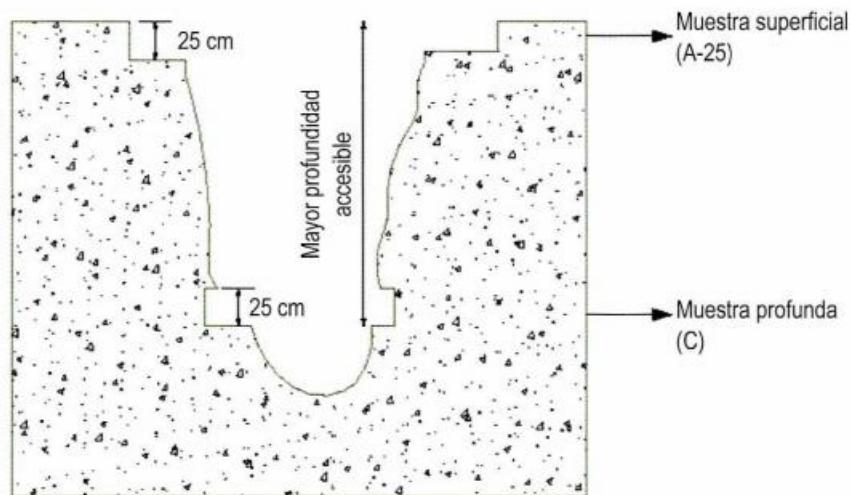
durante eventos de inundación en ambientes de baja energía. Los sedimentos de llanuras de inundación y de sobrecarga son afectados normalmente por las actividades antropogénicas, provocando la contaminación de los mismos.

### Suelos residuales y no transportados (autóctonos)

Este tipo de muestras se toman debido a que reflejan o muestran las variaciones en la composición de las capas más superficiales de la corteza, por lo que el muestreo de los suelos nos permitiría identificar aquellas zonas o áreas que han sufrido cambios o alteraciones, ya sea por factores geogénicos o antropogénicos (figura 5).

La comparación entre muestras de suelo del horizonte superficial y las del subsuelo proveen información sobre los procesos naturales o antrópicos que permitieron el empobrecimiento o enriquecimiento entre las capas.

Con respecto a los espesores de las muestras de suelo residuales, solo se midió en aquellos lugares donde era posible efectuar una excavación con pala manual, a una profundidad no mayor a los 20 cm, tomando una sección aproximada de muestra de 25 cm. Dependiendo de las condiciones en las que se encuentra la cobertura del área de muestreo se procede a la extracción de la misma para evitar la contaminación de la muestra con restos vegetales presentes en la cobertura del suelo.



**Figura 5.** Esquema representativo para la toma de muestras de suelos residuales y de llanuras de inundación. Las muestras de los horizontes superficiales como también de los horizontes profundos son recolectadas (modificado de Darnley *et al.* 1995).

### **3.2.1 Organización de los archivos de muestras**

La etapa de registro al momento de realizar la recolección de las muestras, es una etapa fundamental para selección e inventario de la información, la cual se ingresa de manera conjunta con las muestras obtenidas previamente, al Sistema de Información Geográfica (GIS) incorporando de este modo toda la información recolectada en el área de estudio.

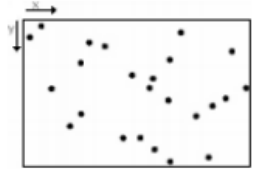
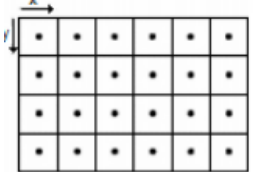
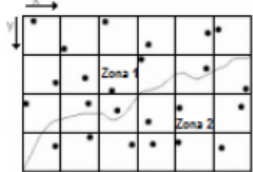
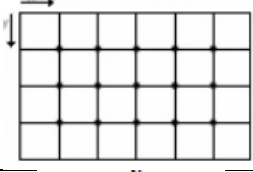
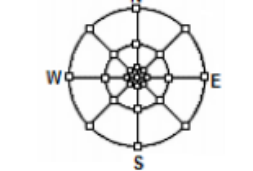
La información de las Hojas Geoquímicas es georreferenciada mediante el empleo de imágenes satelitales Landsat TM, referidas al datum Campo Inchauspe 1969 y con proyección Gauss Krüger. Las coordenadas de cada sitio, expresada en grados o en metros, se obtienen a partir del mosaico de imágenes satelitales Landsat MT. Los datos que muestra la información existente incluyen una selección de todas las muestras de sedimentos de corriente o suelos que han sido analizadas por Cu, Pb, Zn, y los datos multielemento.

### **3.2.2 Diseño de la grilla para nuevos muestreos**

Aquí el diseño de la grilla para nuevos muestreos y la selección de muestras de archivo destinadas al análisis multielemento, toma en consideración las características de los muestreos previos de sedimentos de corriente, suelo, y drenajes superficiales, como también la información de los mapas geoquímicos metalogénicos, geofísicos, geológicos y de distribución de yacimientos disponibles.

La grilla del nuevo muestreo de sedimentos de corriente y suelos está indicada por los puntos que no coinciden con sitios de muestreos preexistentes o que se hallen ubicados en áreas sin cobertura de muestreos previos.

De esta manera, conforme a las características del área de estudio se procedió a realizar el muestreo de suelo y sedimentos de corriente, con objetivo multipropósito siguiendo algunos de los modelos de distribución del muestreo como se puede observar en la figura 6.

Modelos de distribución	Descripción	Gráfico
Distribución al azar	Define posiciones aleatorias en la superficie a muestrear. No permite obtener información adicional a la del muestreo.	
Distribución sistemática	Presupone que existen gradientes de contaminación que se quieren determinar a través del muestreo	
Sistemática al azar	Cuando existe insuficiente información histórica. Combina las ventajas de los muestreos anteriores.	
Sistemática regular	Ubica los puntos de muestreo en una malla cuyo espaciado depende del tamaño del emplazamiento y del grado de fiabilidad.	
Sistemática en gradiente	Cuando se supone que la distribución de la contaminación es heterogénea. Las muestras se toman a lo largo en dirección de la máxima variación de la concentración.	

**Figura 6.** Principales modelos de distribución del muestreo, extraído de Fantini, M.A *et al.* 2021.

La selección y ubicación de los sitios de muestreo en el campo se efectúa con imágenes satelitales Landsat TM en escala 1 : 100.000, Fotografías aéreas y hojas de mosaicos a escala 1:50.000. el sitio de muestreo es identificado sobre las imágenes y su ubicación geográfica determinada “in situ” con un posicionador geográfico (GPS).

La muestra de sedimentos de corriente está compuesta y conformada por varias alcuotas recolectadas en diferentes sectores del cauce que pueden estar hasta 100 metros aguas arriba y abajo del sitio seleccionado para el muestreo. Es tamizado en seco y húmedo en el campo con tamices de 500 micrones (malla 35).

## CAPITULO IV

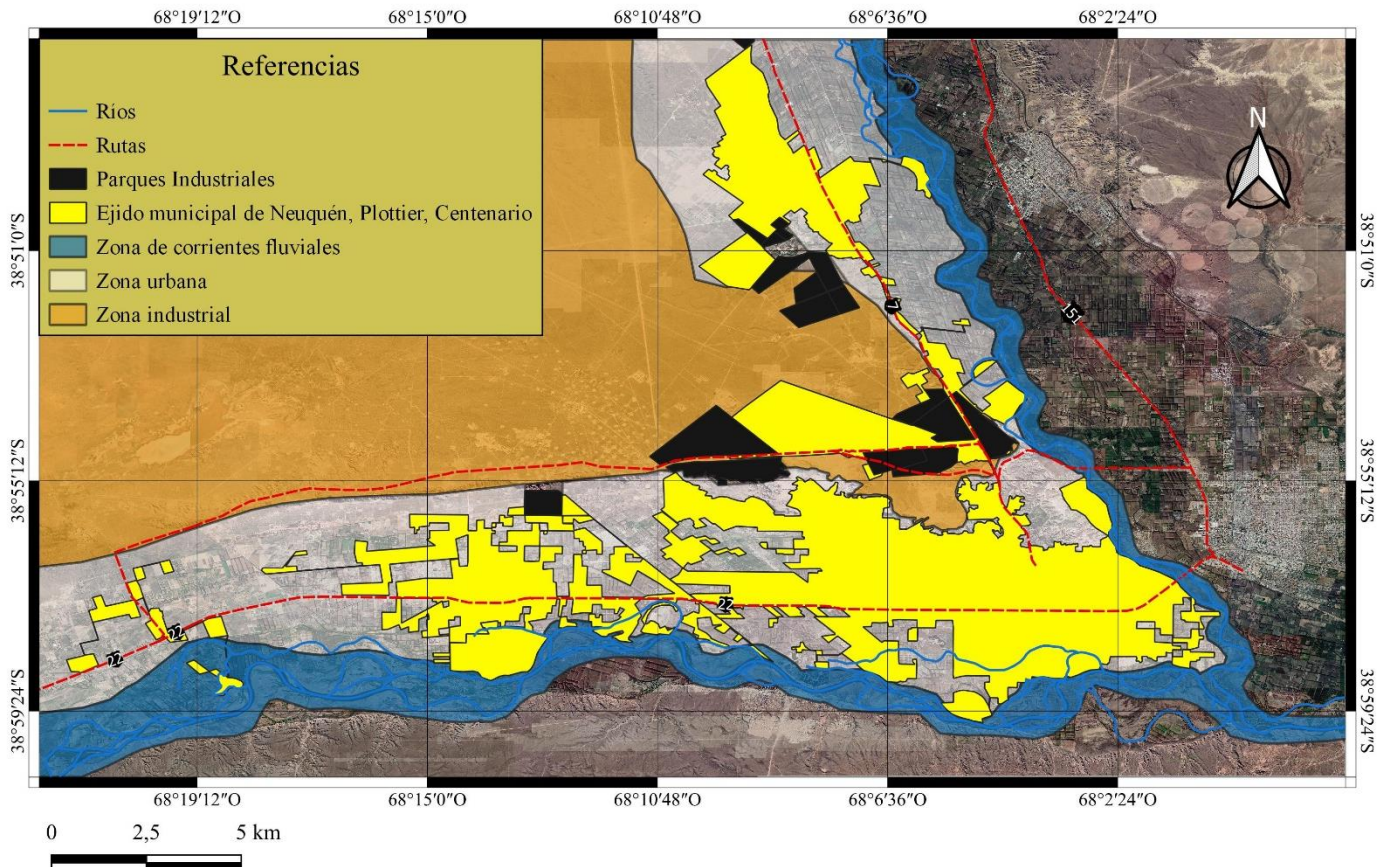
### **1.1 Selección de áreas**

Como ya se ha indicado, el área de estudio se encuentra delimitada dentro de los ejidos municipales de Neuquén, Plottier y Centenario, abarcando una superficie total de 61.680,31 Ha. La zonificación propuesta se realizó en primera instancia, a partir de la información recopilada de los distintos entes regulatorios y organismos de control ambiental provinciales. Se seleccionaron 3 (tres) sectores considerando la situación actual de intervención antropogénica en cada uno de ellos y el riesgo potencial de mayores modificaciones ambientales en el corto y mediano plazo.

Los principales factores que generan visibles impactos en el ambiente dentro al área de estudio, se encuentran mayormente relacionados a la expansión urbana, diversas industrias (metalúrgicas, mecánicas, madereras, químicas, cerámicas, etc.), actividad petrolera, agricultura y minería, que se encuentran entre las más difundidas.

La determinación del nivel de impacto generado en cada caso, se basó en primer lugar conforme al avance de la urbanización sobre el medio ambiente natural, y consecuentemente el incremento de la actividad antrópica sobre el mismo, de tal modo que las zonas de interés (figura 7) quedaron definidas como:

- Zona de corrientes fluviales (azul): Área definida principalmente por la influencia de las corrientes fluviales del Río Limay y del Río Neuquén, con una superficie aproximada de 7.291,7 hectáreas.
- Zona Urbana (blanco): Con una superficie del orden de 23.125,74 hectáreas, es el área de mayor grado de urbanización, conformado por los ejidos urbanos de Neuquén, Plottier y Centenario.
- Zona Industrial (Naranja): Espacio territorial ubicado en la meseta del área de estudio con una extensión areal con 31.262,87 hectáreas, en el cual se agrupan las diversas industrias con o sin relación entre sí, y llevan a cabo sus diversas actividades.



**Figura 7.** sectorización de las zonas de interés dentro del área de estudio.

## 1.2 clasificación del nivel de impacto según el tipo de actividad antrópica

### 1.2.1 Actividad hidrocarburífera

La actividad hidrocarburífera en la ciudad de Neuquén y sus alrededores es una de las que genera impactos evidentes en el medio ambiente, modificando con la sola presencia de instalaciones petroleras el escenario natural. El impacto puede ser atenuado si dichas actividades se realizaran con los cuidados y protocolos adecuados.

Actualmente el área de estudio se encuentra compuesto por un conjunto de 1276 pozos activos y no activos, además cuenta con un sistema de transporte de la materia prima conformado tanto por oleoductos (aproximadamente 298,72 km de extensión) y gasoductos (aproximadamente 304 km de extensión) que lo atraviesan. Además, ésta cuenta con un conjunto de plantas y baterías en las que se almacenan los hidrocarburos extraídos durante la actividad (figura 9).

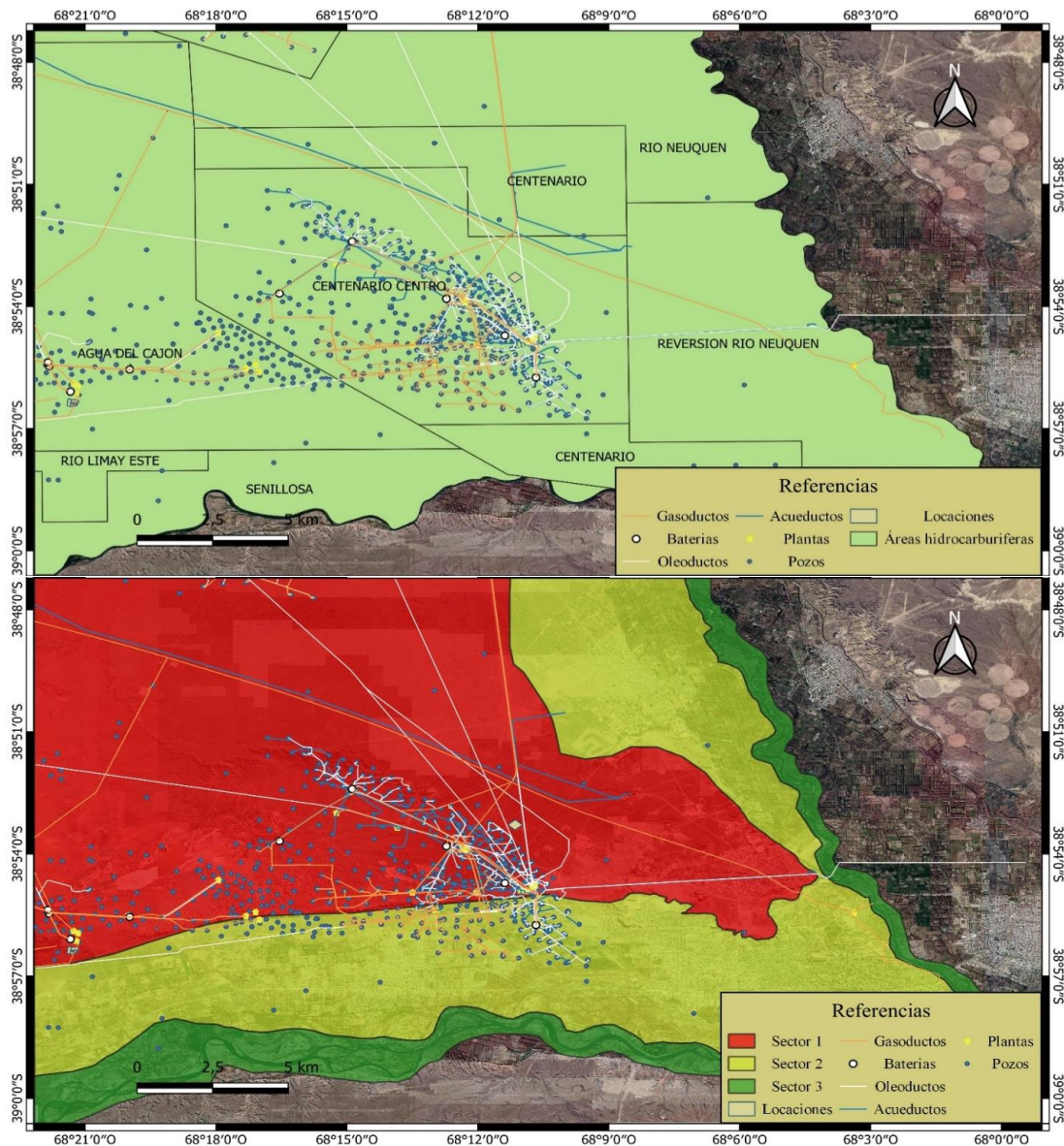
Como es de público conocimiento las diversas técnicas utilizadas dentro de esta actividad generan un gran impacto en el ambiente, modificando el hábitat del lugar. Esto da lugar a diversos tipos de cambios que van desde lo físico (perforaciones,



infraestructuras y logística) a lo visual (numerosos equipos, cambios del terreno para la instalación del equipo, etc.) de los suelos y en los biomas, generando un deterioro no tan solo en el medio que es afectado por las perforaciones, sino también, en la calidad del aire por el venteado (durante la emisión y quema de gas natural).

Las zonas de interés se clasificaron según el nivel de desarrollo en el que se encuentre la actividad en cada zona, y de esta forma, visualizar el avance que ha tenido sobre el ambiente.

Como se puede observar en la figura 8, a cada una de las zonas de interés se le ha atribuido un color (rojo - ALTO, amarillo – MODERADO, verde – BAJO) que representa su desarrollo o evolución en el área de estudio.



**Figura 8.** A) Distribución de la actividad dentro de las áreas hidrocarburíferas. B) Determinación del grado de impacto sobre el área de estudio respecto al aumento del nivel de la actividad hidrocarburífera.

En la figura 8, se encuentra representado la distribución de las distintas instalaciones relacionadas a la actividad hidrocarburífera obtenidos de los servicios GIS de la Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos. Se puede visualizar la ubicación de los pozos (activos y no activos), las plantas de tratamiento, los oleoductos, acueductos, gasoductos y la ubicación de las locaciones y baterías.

### 1.2.2 Actividad minera

La actividad minera en el conglomerado urbano del Gran Neuquén ha tenido un gran desarrollo e impacto en el medio ambiente físico, donde la explotación de áridos es la actividad más difundida en la actualidad (figura 9), con la apertura de un gran número de canteras no solo en el área de la meseta de la zona de estudio, sino también, en las inmediaciones de los ejidos urbanos.

Considerando la producción en toneladas por yacimientos, la extracción de áridos es la actividad más desarrollada en la provincia del Neuquén, representando el 77% del total. Según la Estadística Minera 2021, existe un total de 100 yacimientos activos en toda la provincia, donde los áridos componen el mayor porcentaje de las rocas de aplicación (material utilizado en la industria de la construcción y como materia prima para la elaboración de insumos para la misma). En el año 2021, la producción de áridos en el departamento de Confluencia alcanzó un total de 482.075 tn, que han sido utilizados no solamente dentro del mercado de la construcción, sino también, en el hidrocarburífero en las construcciones que le dan soporte a dicha industria.



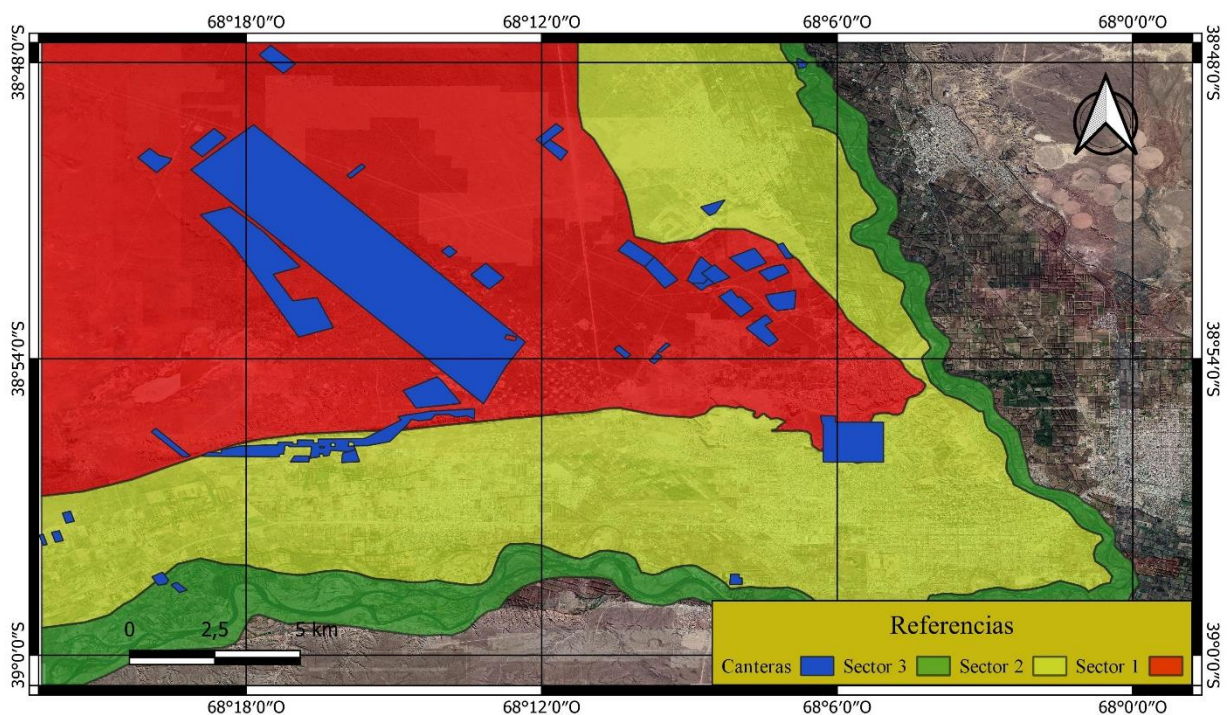
**Figura 9.** Explotación de áridos realizados en el conglomerado del Gran Neuquén, utilizados principalmente en la industria de la construcción.

El control en este tipo de explotaciones es fundamental para poder preservar y restaurar los ecosistemas sometidos a dicha actividad, siempre bajo el principio del manejo racional y sostenible del recurso natural. De modo que las autoridades municipales neuquinas tienen la facultad de regular y resguardar la integridad de cada recurso para evitar su uso desmedido y mitigar su posterior alteración o daño (Ordenanza N° 8201/98 - Bloque Temático N°2 “Control Ambiental de las Actividades”).

A partir de la información obtenida del servicio GIS, brindado por la Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos, se lograron identificar todas las canteras pertenecientes a la zona de interés.

Las canteras abarcan diferentes sectores en el conglomerado urbano del Gran Neuquén ocupando aproximadamente 5032.89 has del área de estudio. Donde 4847.34 has pertenecen al sector identificado como la zona del Parque Industrial, 162.92 has corresponde a la zona Urbana y en menor medida la zona de las Corrientes Fluviales ocupando solo 22.63 has.

Del mismo modo que en los casos anteriores, a partir de la información recolectada se ha realizado la sectorización de las zonas de interés según la evolución de la actividad minera sobre el medio ambiente, situando dentro de ellas la ubicación de cada cantera identificada mediante imágenes satelitales, como se lo observa en la figura 10.

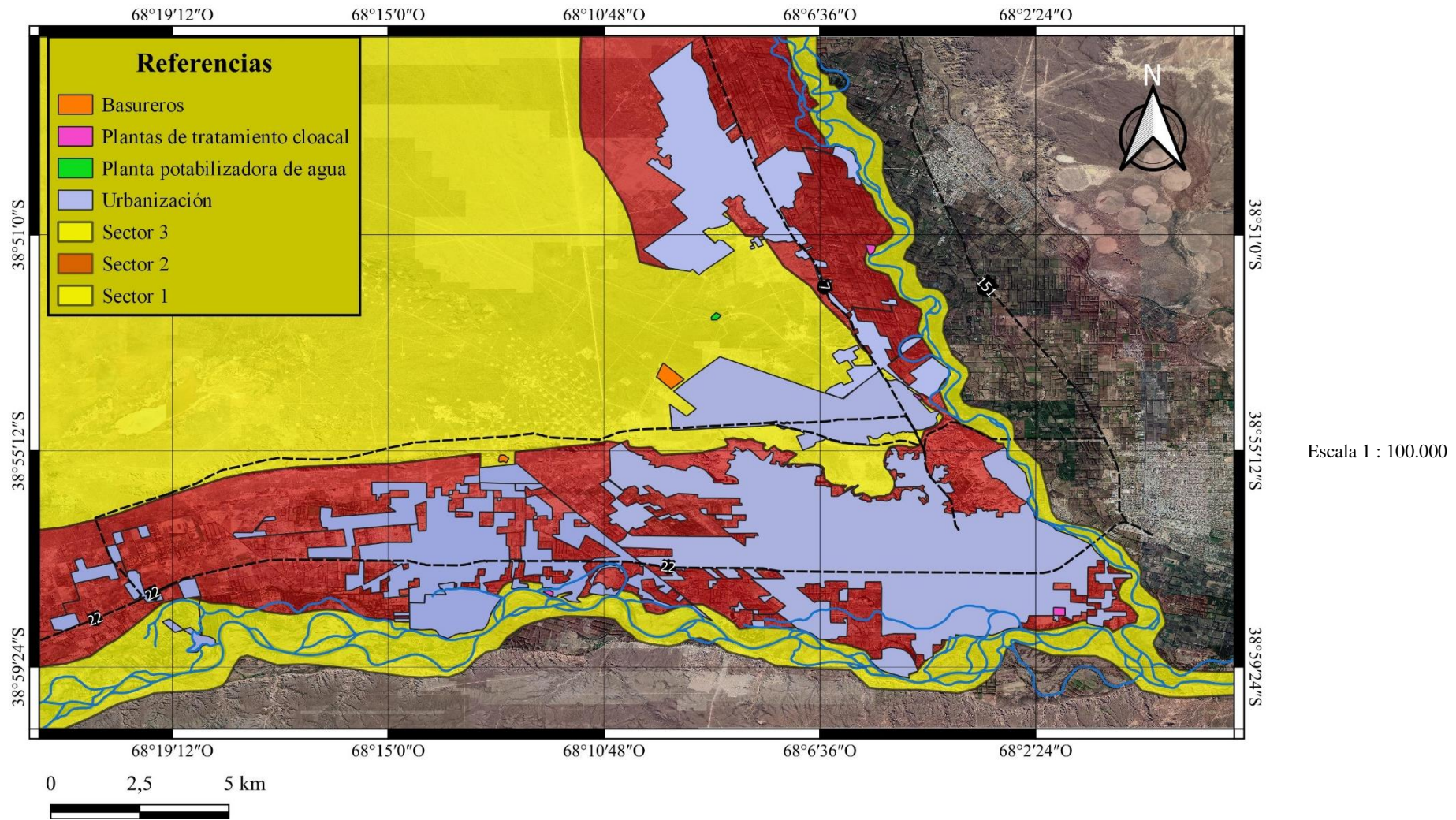


**Figura 10.** Sectorización de las canteras ubicadas dentro de las zonas de interés, indicando las áreas que presentan mayor impacto por la actividad minera.

### 1.2.3 Actividad urbana

El crecimiento industrial, la urbanización acelerada, la mala distribución de los desechos, entre otros aspectos, generan un incremento en los niveles de contaminación del suelo, agua y aire. Esto se debe a que dichos ambientes se encuentran interconectados unos con otros, lo que genera un ciclo constante de contaminación. Aquí el agua contaminada en muchos de los casos es utilizada para el riego de los suelos y cultivos, provocando la acumulación de los contaminantes en la vegetación, pudiendo de esta forma provocar efectos no deseados en la salud de los animales y humanos por el consumo de los alimentos derivados de los cultivos que han asimilado los contaminantes cuando superan los niveles permitidos.

A partir de la información recopilada del Instituto Geográfico Nacional “IGN”, y del E.P.A.S (Ente Provincial de Agua y Saneamiento), se procedió a la elaboración de un mapa (figura 11), con el fin de visualizar aquellas zonas que presentan un gran potencial de contaminación o alteración del medio natural (ubicación de vertederos de residuos domiciliarios, plantas cloacales y tratamientos de efluentes, y planta de potabilización de agua, entre otros).



**Figura 11.** Ubicación de algunas de las instalaciones relacionada a las actividades urbanas.

## CAPITULO V

### **1.1 Trabajo de campo**

#### **Propuesta de las zonas de muestreo**

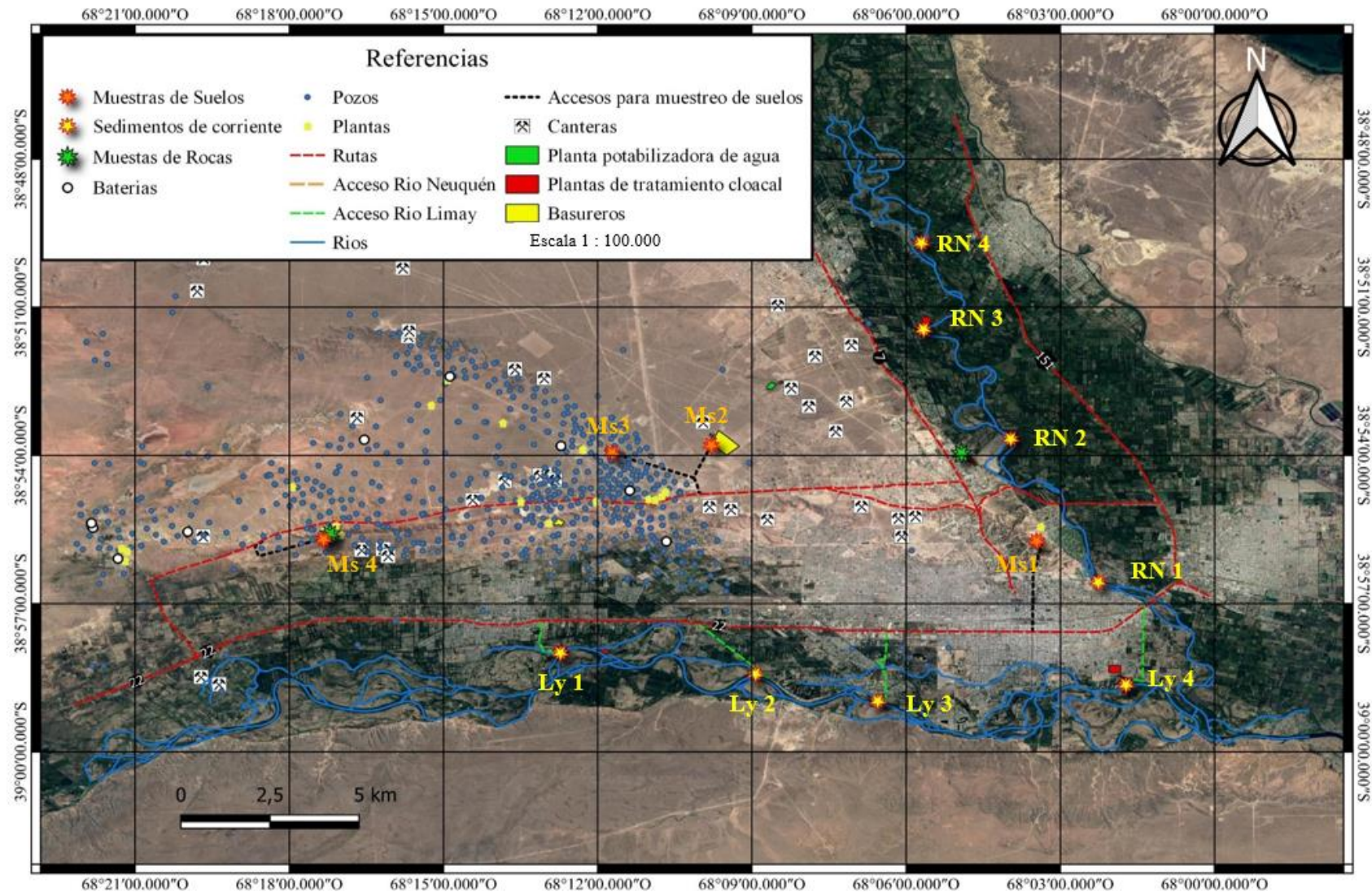
La determinación preliminar de los puntos donde se realizó el muestreo se basó principalmente en la información descripta previamente, haciendo foco en los sitios que presentarían mayor sensibilidad. En la figura 12 se muestra aquellas zonas o localizaciones que se han considerado potencialmente sensibles.

##### **1.1.1 Rutas de acceso**

El acceso a los sectores de muestreo (figura 12) se programó a partir de imágenes satelitales, lo que facilitó seleccionar los caminos más apropiados para llegar a las zonas de interés. La Ruta Nacional N° 22 y la Ruta Provincial N° 7 son los puntos de partida para arribar a los sectores donde se realizó el muestreo de los sedimentos de corriente.

Para acceder a los puntos de muestreo sobre el lecho activo del Río Limay, se tomaron los caminos (por las calles Leopoldo Lugones, Río Colorado, Tte. Juan Solalique, Obrero Argentino) que se bifurcan directamente desde la Ruta Nacional N° 22, al igual que una de las muestras correspondiente al Río Neuquén, la cual se encuentra ubicada atrás del Parque del Este, por la calle Carlos A. Cosentino. Los sectores donde se obtuvieron las muestras restantes, sobre el cauce del Río Neuquén, se puede acceder principalmente por la Ruta Provincial N° 7.

Las muestras de suelos se obtuvieron en las terrazas de la barda en el área del parque industrial e inmediaciones de la ciudad de Plottier. El acceso al área de muestreo se realizó principalmente desde la Ruta de Circunvalación, y una de las muestras se obtuvo ingresando por la calle Dr. René Favalaro desde la Plaza de las Banderas ubicada en la Av. Olascoaga.



**Figura 12.** Rutas de acceso a los distintos puntos de muestreo para los sedimentos de corriente y muestras de suelo.

### 1.1.2 Puntos geográficos para el muestreo de los sedimentos de corriente

Las muestras de sedimentos de corriente se recolectaron a lo largo de los ríos Limay y Neuquén, con un total de cuatro muestras por río, en la siguiente tabla se encuentran representados los puntos geográficos de cada una de las muestras.

Muestras	N° de muestras	Latitud	Longitud
Ly1	1	38° 58' 0.38" S	68° 12' 44,7" O
Ly2	2	38° 58' 25.33" S	68° 08' 55.49" O
Ly3	3	38° 58' 57.6" S	68° 06' 34.3" O
Ly4	4	38° 58' 38.5" S	68° 01' 44.2 " O
RN1	5	38° 56' 33.8" S	68° 02' 16.6" O
RN2	6	38° 53' 39.9" S	68° 03' 58.3" O
RN3	7	38° 51' 26.8" S	68° 05' 39.8" O
RN4	8	38°49' 41.9" S	68° 05' 42.3" O

**Tabla 1.** puntos geográficos de cada una de las muestras de sedimentos de corriente recolectadas.

### 1.1.3 Muestreo de sedimentos de corriente

El muestreo de sedimentos de corriente se realizó con el fin de obtener indicadores geoquímicos orientativos para constatar con la información disponible en las Cartas Geoquímicas existentes y eventualmente seguir con las guías para la elaboración de líneas de base geoquímicas el conglomerado urbano del Gran Neuquén, con relación a la intervención antropogénica.

La selección y la ubicación de los sitios de muestreo se realizó mediante el empleo de imágenes satelitales a escala 1 : 100.000.

Las muestras fueron recolectadas sobre el lecho activo de los causes fluviales (figura 13). Estas mismas se recolectaron sobre los ríos principales (Río Neuquén y Río Limay), hasta la confluencia de ambos ríos. La densidad de muestreo fue de 1 muestra cada 5 km aproximadamente.

Estas corresponden principalmente a los depósitos de las planicies aluviales actuales de los Ríos Neuquén, Limay, compuestos por sedimentos que granulométricamente corresponden a diversos eventos de depositación (gravas, arenas, limos, arcillas).





**Figura 13.** Muestreo de los sedimentos sobre el lecho activo de los ríos.

Las muestras de sedimentos de corrientes fueron recolectadas en bolsas plásticas de 100 micrones, las cuales fueron numeradas y rotuladas con el fin de facilitar el trabajo de gabinete. El peso de la muestra varía entre 400 gr y los 1000 gr de la fracción más fina (área, limo, arcilla) de los sedimentos de corriente (figura 14).



**Figura 14.** Muestras de sedimentos de corriente.

### 1.1.4 Muestreo de suelo

El muestreo de suelo se realizó siguiendo la metodología aplicada en el muestreo de los sedimentos de corriente, eliminando la capa superficial del suelo (primeros 20 cm) para así recoger la porción de muestra no alterada por intemperismo. Las muestras se recogieron, rotularon y numeraron en bolsas plásticas de 100 micrones, el peso de las muestras también en estos casos varía entre 400 gr y los 1000 gr.



**Figura 15.** Técnica empleada en el muestreo de suelos.

Las muestras de suelo se recolectaron aleatoriamente en el área de estudio, obteniéndose un total de 4 muestras. En la siguiente tabla se detalla la ubicación geográfica de cada una de ellas.

Muestras	Puntos	Latitud	Longitud
MS1	1	38°55'44.3''	68°03'27.9''
MS2	2	38°53'50.1''	68°09'48.9''
MS3	3	38°56'56.8''	68°11'42.8''
MS4	4	38°55'41.8''	68°17'20.5''

**Tabla 2.** Puntos geográficos de cada una de las muestras de suelos.

Cada una de las muestras pertenecen a distintas unidades geológicas, principalmente a depósitos coluviales (gravas, bloques, arenas y limos), depósitos fluviales antiguos de los Ríos Neuquén y Negro (Conglomerados, gravas y arenas) y depósitos asociados al Subgrupo Río Colorado (areniscas, conglomerados, fangolitas).

## 1.2 Litología

Para completar la información de campo, se precedió con la descripción macroscópica de cuatro muestras que han sido recolectadas en el área de estudio, para definir la litología presente y así poder determinar la existencia de otros parámetros que puedan alterar la geoquímica el área. Las muestras se recolectaron en distintos flancos ubicados en las bardas de las ciudades de Neuquén y Plottier, donde posteriormente se procedió con la elaboración de dos perfiles geológicos.

Las muestras de mano tienen dimensiones aproximadas de 10 x 20 cm (figura 15), donde se aseguró que sean desprovistas de óxidos y materiales orgánicos (raíces, vegetación).

Muestras	N° de muestras	Latitud	Longitud
MR 1	1	38° 53' 57.3" S	68° 04' 53,4" O
MR2	2	38° 53' 57.3" S	68° 04' 53,4" O
MR3	3	38° 55' 35" S	68° 17' 12.7" O
MR4	4	38° 55' 35" S	68° 17' 12.7" O

**Tabla 3.** Puntos geográficos de las muestras de roca.

## 1.2 Perfiles geológicos

El levantamiento del perfil A y B (Figuras. 16 y 17) se realizó en áreas cercanas a los puntos de muestreo, en los que la red de drenaje presenta alto potencial de transporte de sedimentos, principalmente asociados a escorrentías de tormentas, construyendo focos de dispersión de componentes artificiales ( locaciones de pozos, instalaciones abandonadas, etc.) de eventual impacto sobre el medio natural.

La secuencia litológica en el perfil A – A' (figura 16) comienza con una sucesión de depósitos continentales pertenecientes al Cretácico Superior (Subgrupo Río Neuquén y Colorado), La Formación Plottier está constituida por una sucesión de limos arcillosos rojos masivos, alcanzando una potencia de hasta 3.5 mts. La Formación Bajo de la Carpa, está integrada por areniscas varicolores con intercalaciones de fangolitas y brechas intraformacionales, esta formación alcanza una potencia de 9 mts.

Le suprayace la Formación Anacleto que está constituida por fangolitas rojas con intercalaciones de areniscas verdes depositadas en un paleoambiente fluvial, alcanzando un espesor de hasta 2,15 mts.

Completan la secuencia depósitos terciarios integrados por estratos correspondientes a la Formación Bayo Mesa de aproximadamente 4.5 mts, culminando con los depósitos aterrazados del Río Neuquén y Limay (Conglomerados grises polimícticos, cemento calcáreo) de hasta 0.85 mts de espesor.

El levantamiento del Perfil B – B' (figura 17) se realizó sobre las bardas correspondientes a la localidad de Plottier. La secuencia litológica comienza con depósitos continentales Cretácicos correspondientes a la Fm. Sierra Barrosa, en el área de estudio alcanza una potencia aproximada de 21 mts, con base oculta. Está compuesta por depósitos psamíticos de granulometría mediana – fina, con bajo grado de diagénesis y cemento predominantemente calcáreo; las tonalidades son rojizas y amarillo pálido a grisáceos. Estas facies litológicas tienen intercalaciones de niveles pelíticos compuestos por fangolitas rojizas seguidas de estratos limo-arenosos de tonalidades gris-verdosa.

Suprayace la Fm. Plottier alcanzando una potencia aproximada de 7 mts. Está representada por materiales finos, principalmente por pelitas y limos con lentes arenosos, con tonalidades rojizas en el caso de las pelitas y amarillento verdosos en los niveles pelíticos y arenosos, los que completan la secuencia sedimentara del Subgrupo Río Neuquén.

El techo de estas unidades es la Fm. Bajo de la Carpa, describiendo el inicio del Subgrupo Río Colorado, éste alcanza una potencia aproximada de 7 mts, compuesto principalmente por sedimentos continentales. La secuencia inicia con predominio de areniscas y cemento calcáreo, con tonalidades amarillentos y rojizas debido al óxido de hierro. Además, se distinguen intercalaciones con pelitas rojizas poco consolidadas, seguidas de depósitos limo-arenosos con tonalidades grises, verdosas y amarillentas, con delgadas láminas de yeso intercaladas.

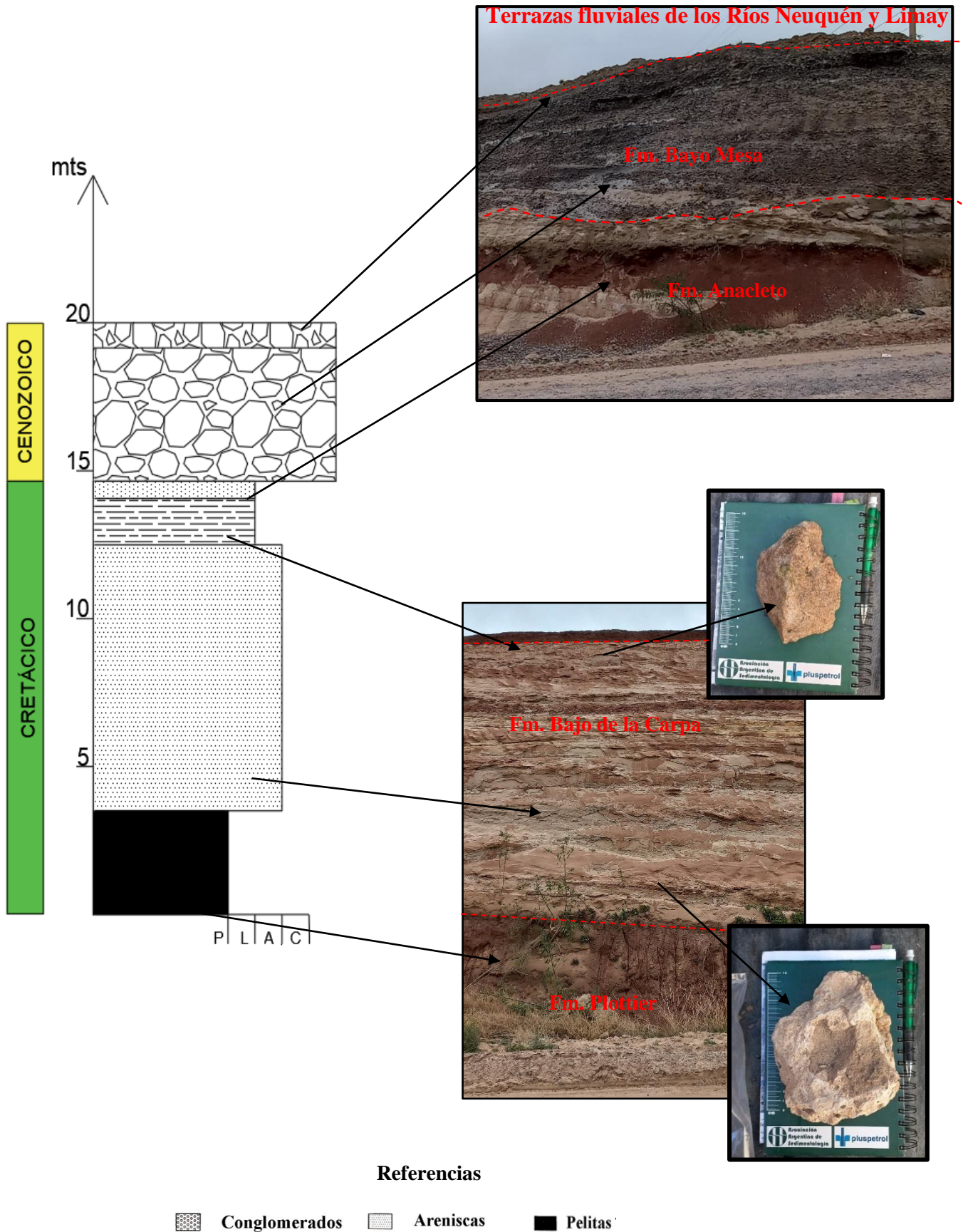
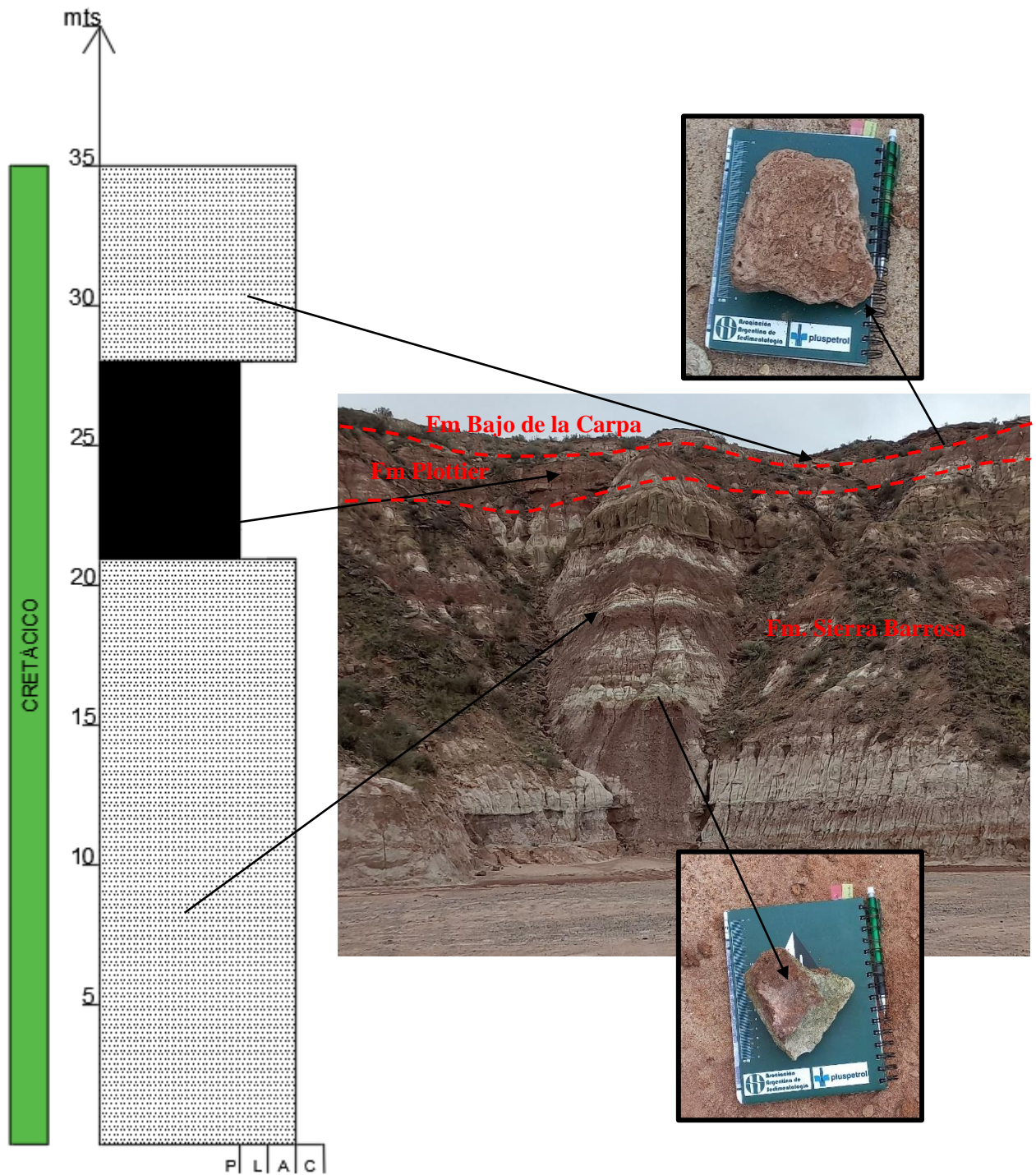


Figura 16. Perfil A – A' localizado atrás del Parque Industrial, Barrio El Vergel.



### Referencias

- Areniscas
- Pelitas

**Figura 17.** Perfil B – B', levantado sobre las bardas de la localidad de Plottier, por Ruta de Circunvalación.

### 1.3 Preparación de muestra

La preparación de las muestras para los análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) se llevó a cabo en los laboratorios del C.I.M.A.R pertenecientes a la Universidad Nacional del Comahue (Uncoma). Esta consistió en diversas técnicas, debido al tamaño de los sedimentos que se recogieron durante el muestreo.

Para la preparación de los sedimentos de corriente de tamaño grueso ( $> 2$  mm), se procedió en primera instancia con el secado de las muestras, preferentemente a temperatura ambiente (o en horno, pero a temperatura moderada, unos  $30$  °C). Luego se continuó con la etapa de cuarteo de muestras, con el objetivo de adquirir una muestra representativa del área seleccionada (figura 18), se pesó 500 gr de la misma para realizar el tamizado.



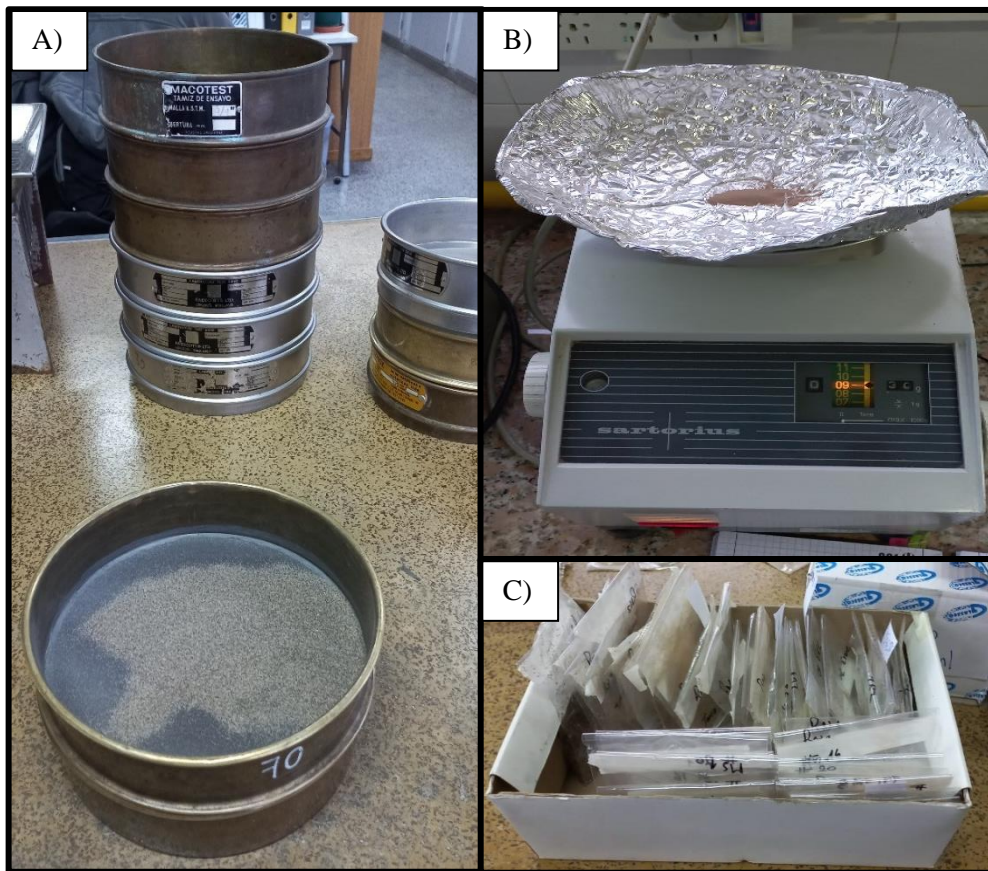
**Figura 18.** Procedimiento empleado para el cuarteo de las muestras.

Posteriormente, se tamizó la porción de muestra seleccionada luego del cuarteo, pasando la misma por una secuencia de tamices con distintas aberturas (tabla 4), hasta conseguir la fracción más fina del sedimento. Una vez obtenida la muestra, es pesada y archivada (figura 19) para su posterior análisis.

**Tamizado de sedimento grueso (Aglomerados – Arcillas)**

MUESTRAS	Ly 1	Ly 2	Ly 3	Ly 4	RN 2	RN 3	RN 4
TAMIZ	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr
3/4	56,33	-	-	-	47,6	-	-
1/2	54,62	39,1	10,09	14,51	77,81	36,53	64,47
4	181,87	222,66	219,57	63,71	72	85,65	170,97
8	68,12	83,98	74,16	81,51	31,69	30,9	39,31
16	24,8	52,08	28,95	54,85	14,49	22,04	20,26
30	19,27	36,99	18,71	50,6	16,32	41,23	30,59
50	60,55	21,8	67,73	61,45	78,65	74,57	64,91
70	18,4	19,12	47,67	43,19	90,86	47,29	60,02
100	3,68	6,95	14,6	15,5	41,44	22,6	21,71
200	1,96	13,82	8,36	10,15	17,34	20,67	12,37
325	0,59	1,53	1,2	1,28	1,1	3,54	1,65
PASANTE	0,31	0,85	0,9	0,85	0,53	2,97	0,69

**Tabla 4.** Peso en gramos de la muestra que quedo retenida en cada tamiz.



**Figura 19.** A) secuencia de tamices para la preparación de la muestra. B) pesado de la muestra, en balanza analítica. C) registro de la muestra para análisis de FRX.



La preparación de las muestras de suelo y de sedimentos de corriente con tamaño de grano menor a 2 mm, es similar a la preparación del material grueso, sin embargo, para estos materiales se procedió a realizar el tamizado de las muestras en húmedo.

Se comenzó con el cuarteo de la muestra y la selección de la porción representativa, de la cual se pesaron 100 gr, para continuar con el tamizado en seco y luego en húmedo. El material recolectado en el pasante final se pesó y archivo. Posteriormente, el material retenido en cada tamiz es llevado a la pileta para comenzar con el tamizado en húmedo, con el objetivo de lograr separar el material más fino (arcillas) que se encuentra adherido a los fragmentos gruesos.

El material retenido en cada tamiz, se separó y recolectó en distintos vasos de precipitados que fueron pesados para su posterior registro. El material pasante retenido en la base recolectora se traspasó a un vaso de precipitado de 1 L., donde se dejó reposar para que el material que se encuentra en suspensión precipite (figura 20). Finalmente, la muestra es secada en la estufa a 100 °C, donde el material obtenido fue pesado y registrado.



**Figura 20.** Precipitado de la fracción fina de las muestras.

### Tamizado de sedimento Fino (Arenas – Arcillas)

MUESTRAS	RN 1	Ms 1	Ms 2	Ms 3	Ms 4
TAMIZ	gr	gr	gr	gr	gr
10	0,72	0,74	6,44	4,26	2,1
16	2,52	0,77	0,77	1,3	8,3
20	3,71	1,44	1,21	3,5	11,20
40	21,07	16,54	4,98	8,25	26,21
100	53,17	34,59	32,07	36,46	33,86
200	14,72	14,51	27,53	18,08	7,13
325	1,18	1,96	9,59	3,89	2,42
PASANTE	0,82	7,20	6,41	8,49	2,54

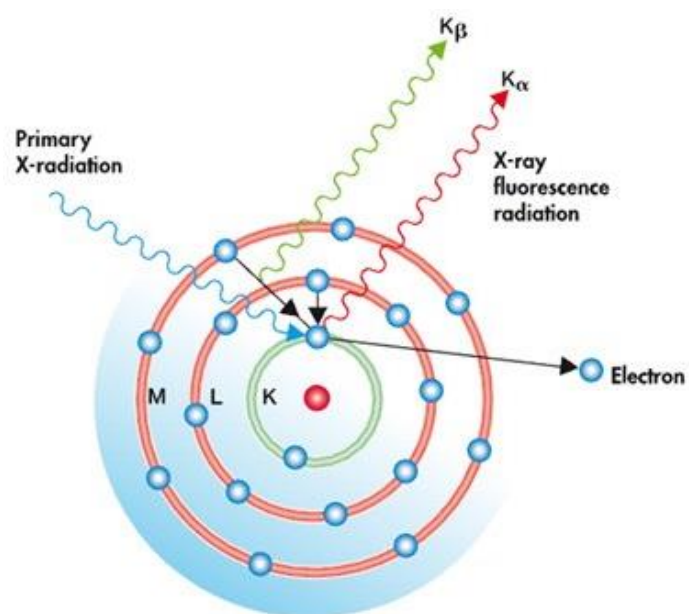
**Tabla 5.** Peso en gramos de la muestra obtenida en la preparación del tamizado en húmedo.

#### 1.4 Técnicas de análisis de muestras

La técnica de análisis empleada en este trabajo corresponde, al análisis químico por fluorescencia de Rayos X (FRX), realizada con el fin de conocer la composición elemental de cada muestra. Esta técnica nos brinda información importante para la interpretación de lo que está ocurriendo en el área de estudio.

##### 1.4.1 Fluorescencia de Rayos X (FRX)

El análisis químico de Fluorescencia de Rayos X es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de rayos que incide expulsando electrones de las capas interiores del átomo. Los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados, y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra. Esta técnica tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cuantitativo como cualitativo, de los elementos comprendidos entre el sodio (Na) y el uranio (U), de muestras sólidas y líquidas. Dado que cada elemento tiene niveles de energía y produce rayos X característicos, permitiendo así medir la composición elemental de una muestra sin destruirla. Esta técnica tiene la capacidad de registrar alrededor de 80 elementos químicos y así revelar la existencia y abundancia de determinados elementos permitiendo de esta manera diferenciar la composición del analito. Sin embargo, esta técnica tiene limitaciones en la determinación de los elementos livianos como el hidrógeno, oxígeno, carbón, nitrógeno, etc., debido a la baja energía de sus rayos X y al bajo rendimiento de la fluorescencia (figura 21).



**Figura 21.** Comportamiento de una muestra al ser sometida al análisis químico de Fluorescencia de Rayos X (Imagen extraída de Aparicio Rebollo F.J).

## CAPÍTULO VI

### 1.1 Resultados de los análisis

Los análisis químicos se realizaron sobre las muestras de suelo y sedimento de corriente recolectadas en las zonas descritas previamente (12 en total). Una vez preparadas las muestras se realizó la lectura de las mismas en el equipo de XRF.

Los análisis Cual-quantitativos fueron realizados empleando un Espectrómetro Dispersivo en Energía Shimadzu, modelo EDX-800HS, empleando el método de parámetros fundamentales. La pérdida por calcinación (PPC) se efectuó en horno mufla a 900 °C durante una hora.

De los ensayos realizados, se obtuvieron los siguientes resultados que se detallan a continuación (Tablas):

Determinación (g%) <sup>1</sup>	Muestra			
	Ly1	Ly2	Ly3	Ly4
PPC <sup>2</sup>	3.700	3.250	3.910	3.590
SiO <sub>2</sub>	55.872	60.736	61.480	62.482
CaO	4.666	4.226	3.630	3.063
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.748	18.239	17.123	17.559
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.146	6.322	5.748	5.907
MgO	1.774	1.705	1.642	1.706
K <sub>2</sub> O	1.850	2.206	2.328	1.987
Na <sub>2</sub> O	2.438	1.537	2.238	2.118
TiO <sub>2</sub>	1.423	1.077	1.125	1.063
SO <sub>3</sub>	0.204	0.173	0.290	0.167
MnO	0.202	0.102	0.104	0.132
ZrO <sub>2</sub>	0.115	0.092	0.122	0.108
SrO	0.045	0.047	0.043	0.039
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.069	0.050	0.038	0.043
CuO	0.045	0.022	0.021	0.018
PbO	0.009	-	-	-
ZnO	0.151	0.036	0.031	0.019
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.543	0.179	0.128	-

**Tabla 6.** Resultados de los análisis de FRX de las muestras Ly.

Determinación (g%) <sup>1</sup>	Muestra			
	RN1	RN2	RN3	RN4
PPC <sup>2</sup>	12.000	19.800	16.240	3.400
SiO <sub>2</sub>	44.912	41.118	31.440	54.616
CaO	17.399	7.475	9.152	4.570
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.215	13.806	10.014	18.324
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.269	7.770	9.486	8.457
MgO	1.980	1.719	1.125	1.970
K <sub>2</sub> O	1.729	1.424	1.443	1.970
Na <sub>2</sub> O	1.223	1.699	1.165	2.314
TiO <sub>2</sub>	0.995	1.482	0.653	1.470
SO <sub>3</sub>	0.927	3.254	17.794	2.095
MnO	0.143	0.127	0.082	0.140
ZrO <sub>2</sub>	0.092	0.170	0.023	0.080
SrO	0.039	0.037	0.039	0.045
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.028	0.073	0.063	0.039
CuO	0.023	0.020	0.170	0.025
PbO	0.010	-	0.039	-
ZnO	0.009	0.027	0.080	0.020
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.007	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	0.990	0.465

Tabla 7. Resultados de los análisis de FRX de las muestras RN.

Determinación (g%) <sup>1</sup>	Muestra		
	Ms1	Ms2	Ms4
PPC <sup>2</sup>	15.980	11.380	9.430
SiO <sub>2</sub>	45.826	51.438	57.476
CaO	11.857	4.171	3.676
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.915	18.729	17.636
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.739	7.098	4.474
MgO	2.427	2.687	2.525
K <sub>2</sub> O	1.664	2.410	2.714
Na <sub>2</sub> O	1.101	0.568	0.591
TiO <sub>2</sub>	0.818	0.963	0.788
SO <sub>3</sub>	0.334	0.182	0.202
MnO	0.108	0.130	0.097
ZrO <sub>2</sub>	0.086	0.020	0.044
SrO	0.031	0.015	0.015
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.052	0.035	0.023
CuO	0.036	0.023	0.024
PbO	0.007	-	-
ZnO	0.019	0.010	0.012
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0.142	-

Tabla 8. Resultados de los análisis de FRX de las muestras Ms.

Determinación (g%) <sup>1</sup>	Muestra			
	R1	R2	R3	R4
PPC <sup>2</sup>	15.600	17.610	28.710	15.180
SiO <sub>2</sub>	47.369	42.570	17.859	47.228
CaO	28.060	28.191	46.509	24.154
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.898	7.484	3.928	8.430
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.232	0.974	1.181	1.168
MgO	0.115	0.471	0.303	0.770
K <sub>2</sub> O	1.443	1.626	0.857	1.760
Na <sub>2</sub> O	0.899	0.627	0.341	0.752
TiO <sub>2</sub>	0.040	0.099	0.083	0.179
SO <sub>3</sub>	0.179	0.200	0.065	0.106
MnO	0.141	0.097	0.135	0.241
ZrO <sub>2</sub>	0.009	0.016	0.014	0.011
SrO	0.016	0.035	0.015	0.021

**Tabla 9.** Resultados de los análisis de FRX de las muestras de roca (R).

## I.2 Interpretación y discusión de los resultados

Con los resultados obtenidos se diseñaron gráficos para cada uno de los elementos en los sectores muestreados. Esto permitió visualizar la relación existente entre la composición química de las muestras de distinta procedencia (sedimentos de corriente, suelos y roca), y cotejar dichas concentraciones correspondientes a las líneas de base estipuladas por el Decreto Provincial N° 3699/97.

Mediante la mencionada normativa el gobierno de la provincia del Neuquén fija la implementación de la sección 2° del título XIII del código de minería (T.O. DECR. N° 456/97) “de la protección ambiental para la actividad minera”, para establecer los requisitos mínimos que presentan calidades óptimas y de peligro tanto para el ambiente como para la población.

Con los resultados referidos se realizaron dos tablas (Anexo I) que muestran las concentraciones de los elementos ( g% , mg/L o ppm) (tabla 11 y 12) y otra con los niveles máximos de tolerancia para la calidad de los suelos establecidos por dicho Decreto (tabla 10), que se utilizaron de referencia para la interpretación de los resultados obtenidos, como también, para la elaboración de los mapas donde se destacaron principalmente los elementos de **cobre, plomo, vanadio, cinc y cromo**, que permitieron la elaboración de los mapas para las líneas de bases geoquímicas (Anexo II).

- **Río Neuquén (elementos de interés):**

Aquí se observa que las muestras RN2, RN3 y RN4, ubicadas sobre el margen activo del Río Neuquén, presentarían porcentajes anómalos de vanadio (V), por encima de los niveles establecidos en el decreto provincial. Respecto a los valores del cobre, para las muestras RN1, RN2 y RN4, se visualiza que su concentración superaría los niveles permitidos en suelos agrícolas, sin embargo, la muestra RN3 exhibe concentraciones que podrían superar los niveles permitidos en los suelos industriales alcanzando un valor de 1.358 mg/L.

Para los elementos de cinc, plomo y cromo, sus concentraciones serían inferiores o cercanas al umbral. En cambio, para la muestra RN3 se observa que la concentración de cinc sería levemente superior al umbral para suelos agrícolas, lo que podría sugerir la presencia de anomalías procedente de la actividad antrópica.

Elementos mayoritarios:

Para las concentraciones de azufre en estas muestras, se observa un comportamiento variado: se percibió principalmente en la muestra RN3 un notable incremento en su concentración. Este mismo patrón se aprecia para el caso del fósforo, donde su concentración no varía tanto en las muestras RN1 y RN2, sin embargo, ocurre un salto importante en su concentración en muestra RN3, disminuyendo en la muestra RN4.

Respecto a la concentración del titanio, éste describe un comportamiento más fluctuante, destacándose principalmente las muestras RN2 y RN4. Para el caso del circonio, también se observa un comportamiento más variado teniendo como valor máximo a la muestra RN2 y como mínimo a la muestra RN3.

- **Río Limay (elementos de interés):**

Las muestras ubicadas en el margen activo del Río Limay presentarían concentraciones levemente superiores al umbral permitido en suelos agrícolas para el vanadio, alcanzando una concentración máxima de 387 mg/L en la muestra Ly1 y un mínimo de 213 mg/L. Para el cobre las concentraciones en cada punto de muestreo son similares a las del vanadio, siendo también levemente superiores a los valores permitidos para los suelos agrícolas, solo la muestra Ly4 se encontraría por debajo de los límites máximos permitidos. Las concentraciones de plomo y cinc principalmente se mantienen dentro de los valores del background, y solamente la muestra Ly1 para el caso del cinc se ubicaría por encima del valor del umbral para los suelos agrícolas, alcanzando una concentración de 1.213 mg/L, con lo cual se acercaría de este modo a los límites para los suelos industriales.

Elementos mayoritarios:

Las concentraciones detectadas sobre el margen activo del Río Limay en su mayoría presentan un comportamiento más lineal, como lo es en el caso del azufre. Para los elementos de circonio, titanio y fósforo, se puede apreciar para el caso del fósforo una disminución pronunciada de la concentración en la dirección de la corriente del Río Limay (del Ly1 al Ly4). Asimismo, el titanio presenta un comportamiento similar a este último, pero a diferencia del fósforo la reducción de su concentración es menor, describiendo una pendiente menos pronunciada. Por último, la concentración del

circonio muestra leves fluctuaciones, aumentando y disminuyendo levemente su concentración a lo largo del recorrido del flujo del agua.

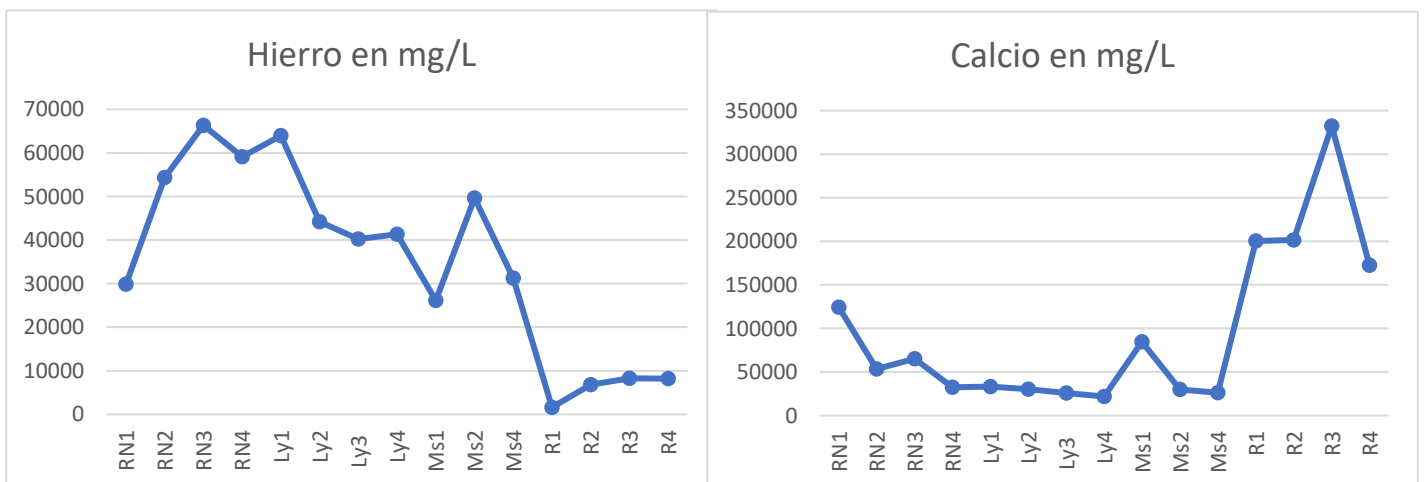
- **Muestras de suelo (elementos de interés):**

Las muestras de suelo ubicadas en el área del parque industrial, registran valores de cobre que superarían lo permitido para suelos agrícolas. Por otro lado, la concentración de vanadio en la muestra Ms1 presenta valores que sobrepasan el umbral establecido para este tipo de suelos. El resto de los elementos de interés analizados se mantienen dentro de los valores del background.

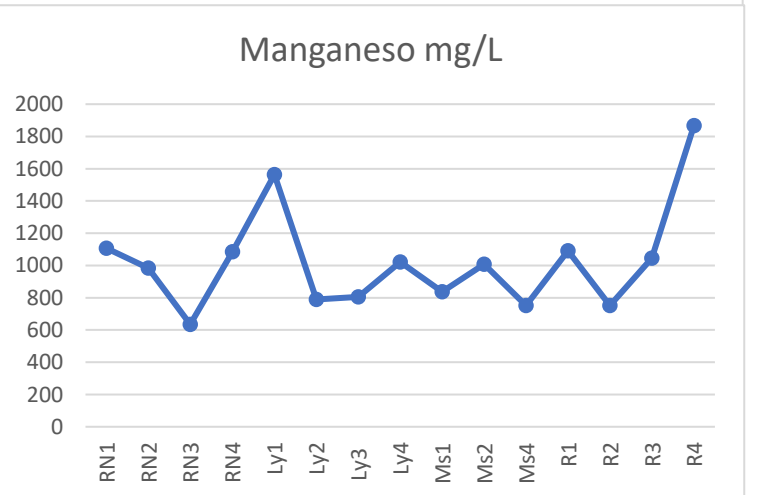
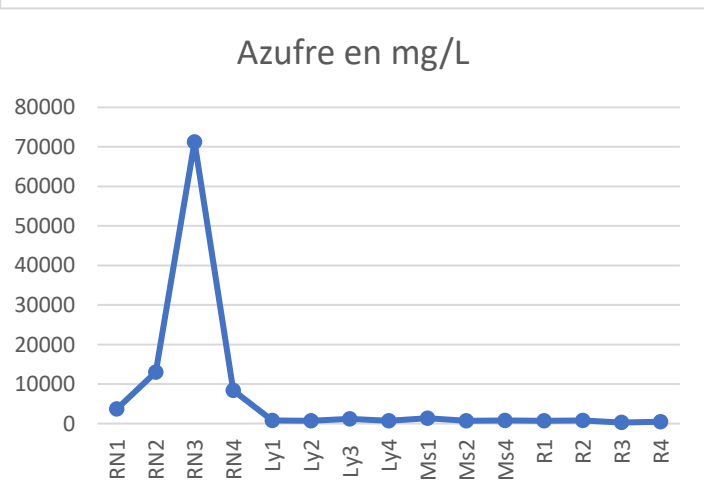
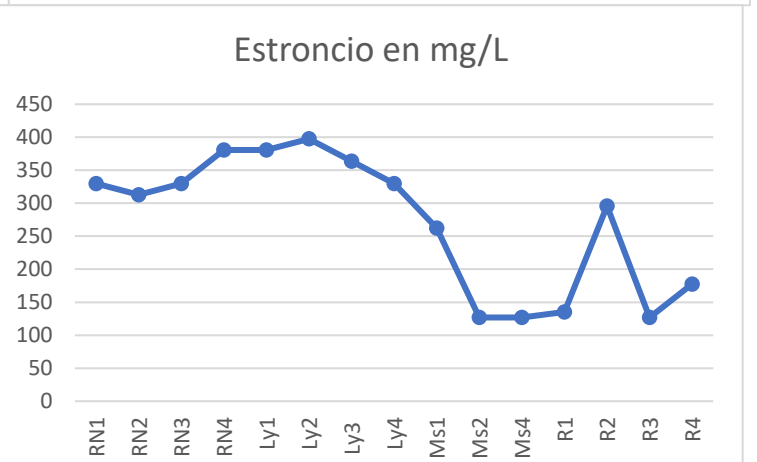
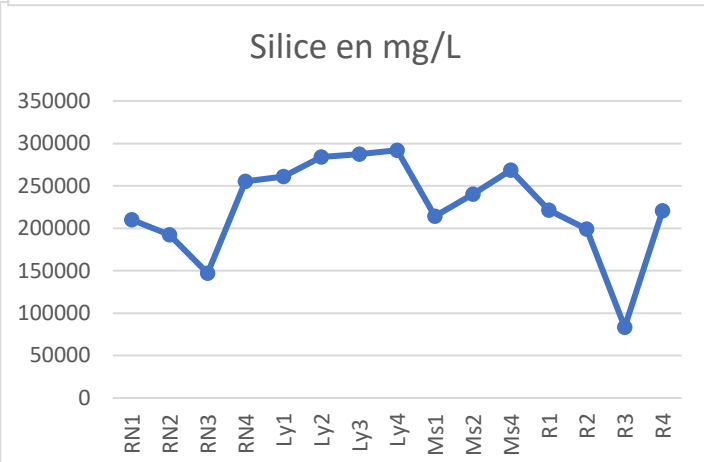
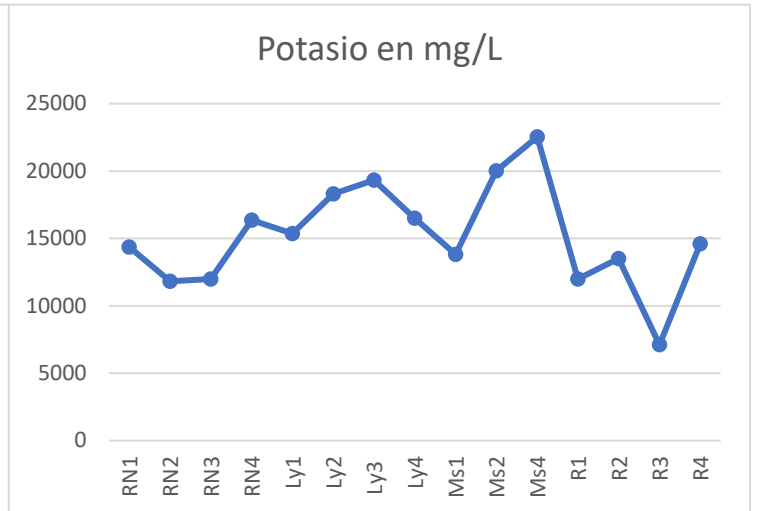
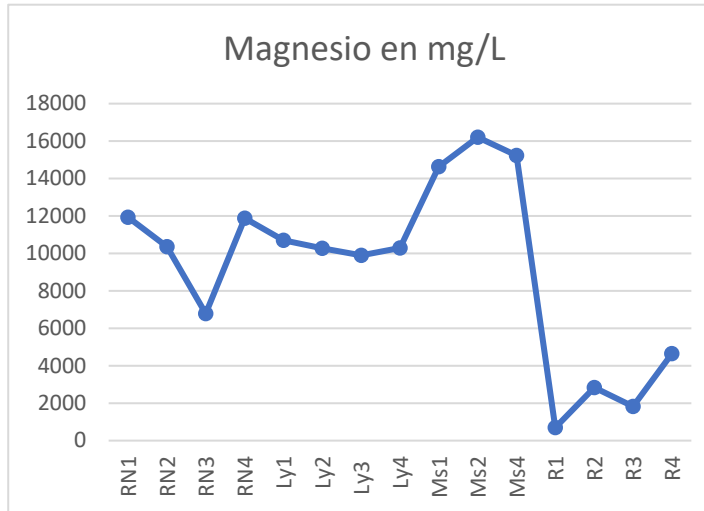
- **Muestras de roca (elementos de interés):**

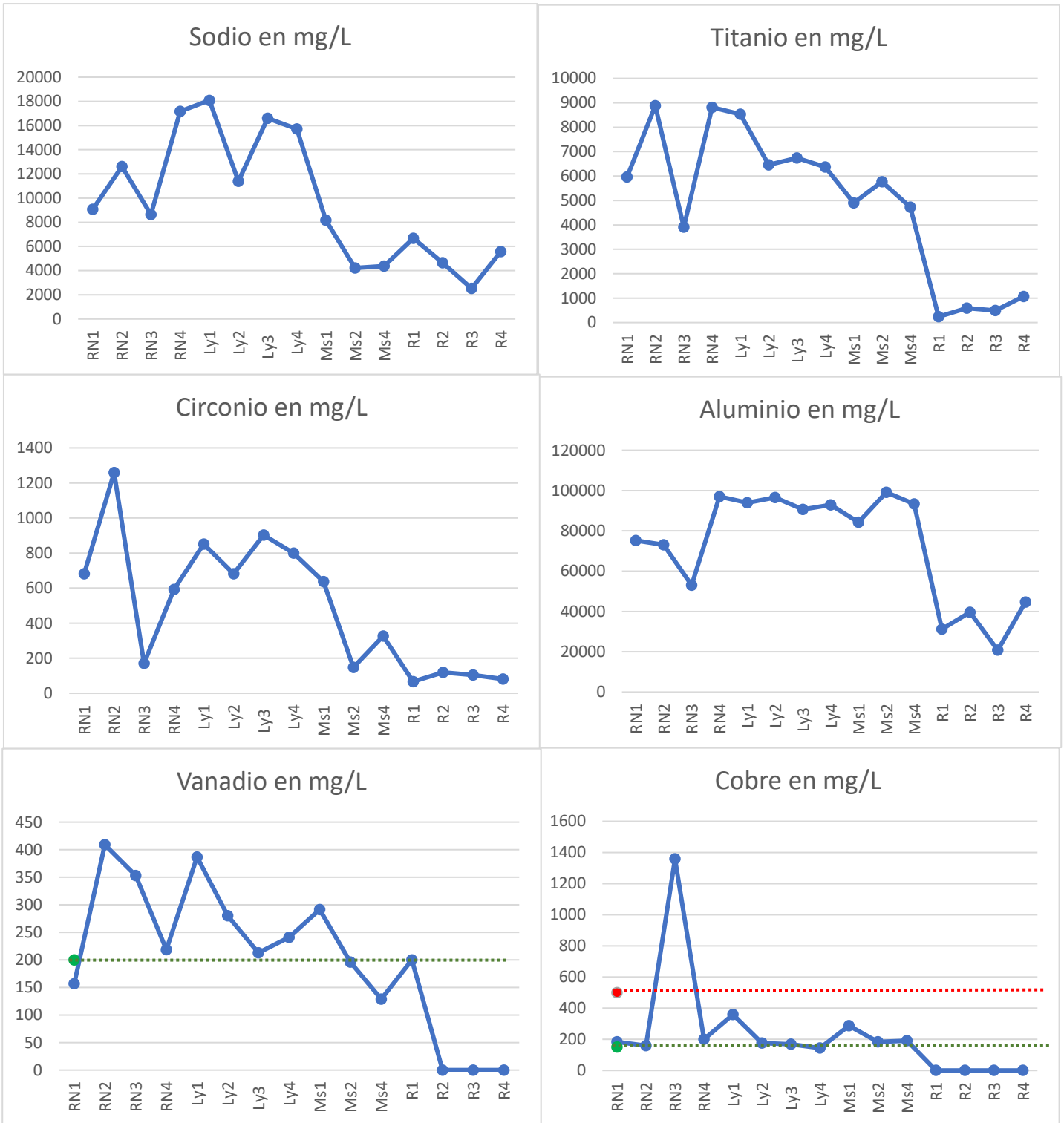
Cotejando los valores obtenidos de cada muestra de sedimentos de corriente con las muestras de roca que fueron recolectadas en áreas cercanas a los cuerpos activos de agua (R1, R2) o a las zonas drenaje superficial (R3, R4), se observa que estas no presentan incidencia en la alteración de la concentración de los elementos analizados (V, Cu, Pb, Zn, Cr). Esto se corroboró al someter a las muestras de roca al análisis de Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X.

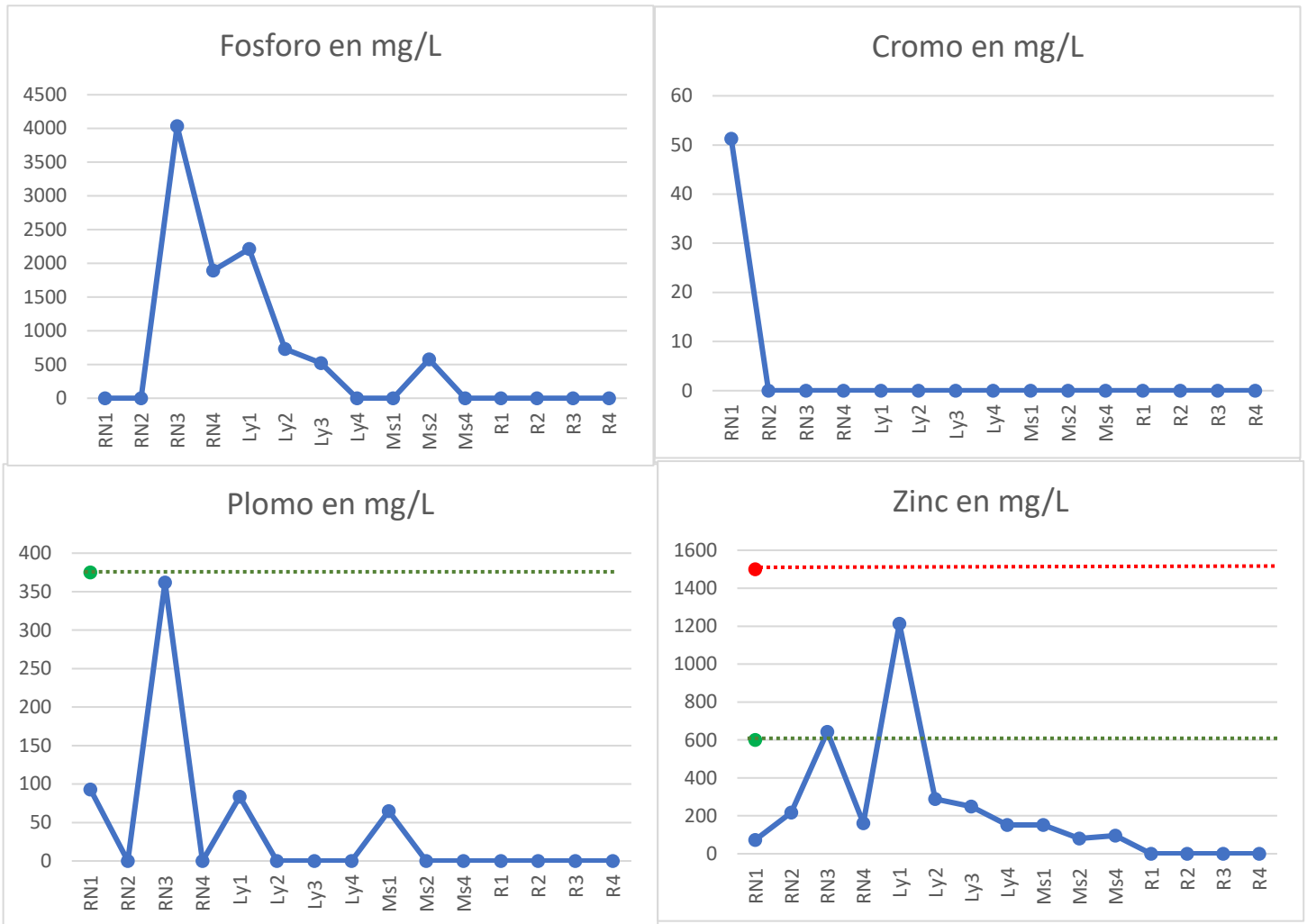
Por último, en los siguientes gráficos se puede observar el comportamiento de los elementos en cada uno de los puntos de muestreo, en los que se resaltan las variaciones relativas de la concentración de los mismos. En cada gráfico se plotean las concentraciones de cada uno de los elementos detectados por el estudio de FRX, con la posición de las muestras sobre el Río Neuquén, Río Limay, las muestras de suelos obtenidas en el parque industrial y las muestras de rocas sobre los flancos norte y sur de las bardas neuquinas.











**Gráficos 1.** Comportamiento de cada uno de los elementos analizados en los ensayos de FRX en cada familia de muestras. Límites de detección para suelos agrícolas (línea verde) y para suelos industriales (línea roja)

## DISCUSIÓN

Si bien la metodología analítica empleada para el procesamiento de las muestras presenta ciertas limitaciones, para la determinación química de sus componentes se considera satisfactoria para el propósito de la presente contribución. Los resultados obtenidos, se calcularon en relación al pasante malla 80 siguiendo las técnicas aplicadas para la elaboración de las Cartas Geoquímicas del Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR.

La preparación de las muestras de sedimento de corriente y suelos destinadas al análisis se tamizó con malla < 80 (177 micrones). De la fracción pasante se separó una porción de 5 a 15 gramos para los análisis, que se envasa en bolsas plásticas adecuadamente rotuladas, (los excedentes también fueron archivados en los laboratorios del CIMAR).

Complementariamente se realizó la corrección de las concentraciones de los elementos contenidos en las muestras (fracción arcilla), refiriéndolas a la fracción pasante de malla 80; el cálculo del coeficiente de concentración correspondiente a la fracción indicada (pasante malla 80) se realizó a partir del cociente entre el peso de la muestra procesada para los análisis (15 gr fracción arcilla) con relación a los 500 gr de la muestra, con lo cual se determinó la concentración en peso de los elementos que se encontrarían en la fracción pasante de la malla 80.

Muestras	Elementos (ppm o mg/L) - Malla < 80 (177 micrones)					
	Vanadio (V)	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Cinc (Zn)	Fosforo (P)	Cromo (Cr)
<b>RN1</b>	4,71	5,51	2,78	2,17	0,00	1,54
<b>RN2</b>	12,27	4,79	0,00	6,51	0,00	0,00
<b>RN3</b>	10,59	10,59	10,86	19,28	121,03	0,00
<b>RN4</b>	6,55	6,55	0,00	4,82	56,85	0,00
<b>Ly1</b>	11,60	11,60	2,51	36,39	66,38	0,00
<b>Ly2</b>	8,40	8,40	0,00	8,68	21,88	0,00
<b>Ly3</b>	6,39	6,39	0,00	7,47	15,65	0,00
<b>Ly4</b>	7,23	7,23	0,00	4,58	0,00	0,00
<b>Ms1</b>	8,74	8,74	1,95	4,58	0,00	0,00
<b>Ms2</b>	5,88	5,88	0,00	2,41	17,36	0,00
<b>Ms4</b>	3,87	3,87	0,00	2,89	0,00	0,00

**Tabla 10.** Concentraciones de los elementos contenidos en el pasante de la malla 80 (177 micrones).

El protocolo de muestreo para las cartas geoquímicas del IGRM - SEGEMAR, describe técnicas de mayor precisión empleadas para la detección de elementos pesados y traza. Dichas técnicas, que en esta propuesta se sugiere contemplar para alcanzar un mayor nivel de confianza en la obtención de los resultados. Se mencionan entre ellos la técnica analítica de *Activación Neutrónica Instrumental*, que consiste en la irradiación de las muestras con neutrones en un reactor nuclear. Aquí, una vez transcurrido el tiempo necesario para el decaimiento de la actividad de las muestras, se procede a la medición y cuantificación de la radiación gamma emitida por los isótopos radioactivos, que es

medida por medio de detectores de germanio de alta resolución. Los resultados obtenidos son corregidos a partir de sistemas computarizados para la obtención de resultados analíticos altamente confiables.

El segundo método empleado es la *Espectroscopía de Emisión de Plasma Inductivamente Acoplado*. Los elementos determinados por medio de esta metodología son puestos en solución mediante el ataque multiácido de 0,1 a 0,2 gr de muestra. Estos luego se vaporizan en un plasma excitado por radiofrecuencias, donde cada elemento produce un espectro característico, en el que la intensidad de las líneas espectrales es proporcional a su concentración en la solución.

Por otra parte, es recomendable complementar la información obtenida con análisis de agua, lo que va a permitir conocer la concentración no solo de las sustancias o elementos mayoritarios disueltos y transportados por los cursos de agua, sino también, se podrá conocer el contenido de los elementos pesados y traza (provenientes de la actividad hidrocarburífera, agronómica y urbana).

Desde el punto de vista del contralor ambiental es imprescindible tener en cuenta la procedencia de los elementos, como también los efectos que generan estos a la salud de los seres vivos.

- El vanadio, a nivel industrial es un elemento que se usa en la producción de herramientas y resortes de acero de alta velocidad resistentes a la corrosión. Éste tiene la propiedad de actuar como un importante estabilizador en la producción de acero. Además, el pentóxido de vanadio también es usado en cerámicas, como catalizador y también en la producción de imanes superconductores. Según la ATSDR ( Agencia de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades) que es una agencia de salud pública federal que forma parte del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU, expresa que la exposición a niveles altos de vanadio en el aire puede dañar los pulmones. Personas que han ingerido vanadio han sufrido diarrea leve y calambres estomacales. En animales que ingirieron vanadio se han descrito un sinnúmero de efectos tales como disminución del número de glóbulos rojos, aumento de la presión sanguínea y leves efectos neurológicos. Las cantidades de vanadio que en los animales en estos estudios que produjeron estos efectos son mucho más altas que las que puedan ocurrir en el ambiente.
- El cobre es el tercer metal más consumido en el mundo actual, luego del hierro y el aluminio, ya que sus aplicaciones en la industria eléctrica, electrónica y siderúrgica son muy numerosas. También sirve de insumo en la obtención de otros metales más específicos, como el latón (Cu + Zn), el bronce (Cu + Sn), la alpaca (Cu + Ni + Zn), o en la producción del alambroón, de pilas eléctricas, etc.

Es fundamental que las personas ingieran pequeñas cantidades de cobre todos los días en el agua y los alimentos. Ingerir demasiado cobre o no ingerir lo suficiente puede causar enfermedades. Ingerir una gran cantidad de cobre, generalmente en el agua potable, puede causar vómitos, náuseas, dolor abdominal o diarrea. Ingerir cantidades de cobre mayores de las recomendadas todos los días con el paso del tiempo, como en el agua o en los suplementos de

cobre, puede causar una enfermedad grave, como daño en los riñones o el hígado.

Inhalar polvos, aerosoles o cristales de cobre puede irritar la nariz y la garganta, y causar mareos y dolores de cabeza. Las personas que han ingerido estas sustancias se han enfermado gravemente o han muerto.

- El cinc es muy utilizado, especialmente en el tratamiento de otros metales, bajo la forma de aleaciones. Algunas de las aplicaciones de este elemento son: galvanizado del hierro, para protegerlo de la corrosión.

Los efectos que puede causar el cinc en la salud son diversos. Los efectos nocivos generalmente se empiezan a manifestar a niveles de 10 a 15 veces más altos que la cantidad necesaria para mantener buena salud. La ingestión de grandes cantidades en tiempos cortos puede causar calambres estomacales, náusea y vómitos. Si se ingieren grandes cantidades durante un período más prolongado pueden ocurrir anemia y disminución de los niveles del tipo de colesterol que es beneficioso. Inhalar grandes cantidades de polvos o vapores de cinc puede producir una enfermedad de corta duración llamada fiebre de vapores de metal.

- Respecto al plomo, el principal uso de este elemento es en la producción de baterías para la industria automovilística. Por otra parte, los compuestos de plomo se usan como pigmentos en pinturas, en barnices para cerámicas y en materiales de relleno.

Los efectos del plomo son los mismos, sea por inhalación o de la ingestión. El plomo puede afectar casi todos los órganos y sistemas del cuerpo. El sistema nervioso es el más afectado por la intoxicación por plomo en los niños y los adultos. La exposición a largo plazo puede resultar en una disminución de la capacidad de aprendizaje, memoria y atención, y debilidad en los dedos de las manos, las muñecas o los tobillos. La exposición al plomo puede causar anemia (bajo nivel de hierro en la sangre) y daños a los riñones. También puede causar aumento de la presión arterial, especialmente en personas de mediana edad y mayores. La exposición a niveles altos de plomo puede provocar graves daños en el cerebro y los riñones, y puede causar la muerte. En las mujeres embarazadas, la exposición a niveles altos de plomo puede causar un aborto espontáneo. En los hombres, puede provocar daños a los órganos reproductores.

- El cromo es otro metal pesado nocivo tanto para el ambiente como para las distintas formas de vida. Este elemento a nivel industrial se utiliza principalmente en metalurgia para aportar resistencia a la corrosión y un acabado brillante.

Los problemas de salud que puede generar el cromo varían, respirar niveles altos de cromo (VI) puede producir irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada.

El efecto principal que se observa en animales que ingieren compuestos de cromo (VI) son irritación y úlceras en el estómago y el intestino delgado y anemia. Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y no parecen causar estos problemas. El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede producir úlceras en la piel. Algunas personas son muy sensibles al cromo (VI) y cromo (III). En algunas personas se han descrito reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel.

Por otra parte, la inhalación de cromo (VI) ha producido cáncer del pulmón. Este también produce cáncer del pulmón en animales. En seres humanos y animales expuestos a cromo (VI) en el agua potable se ha observado un aumento de tumores estomacales.

## CONCLUSIONES

A partir de la interpretación e integración de los resultados obtenidos en los análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX), sobre muestras aleatorias de suelos, rocas y sedimentos de corriente, obtenidos en zonas aledañas a los sectores de urbanización del conglomerado urbano del Gran Neuquén, se destacan las siguientes conclusiones:

1. Corresponde aclarar que las concentraciones utilizadas en este TFL para la realización de los gráficos y definición preliminar de líneas de base geoquímicas, se han aplicado sin adaptarlas al pasante de malla 80, conforme lo establecido por las técnicas empleadas por el Instituto de Geología y de Recursos Minerales del SEGEMAR para la prospección minera.
2. Las concentraciones de los elementos corregidos siguiendo las técnicas empleadas por el SEGEMAR, se encontrarían dentro de los valores de fondo o background descriptos por el Decreto Provincial N° 3699/97, para suelos agrícolas como así también para los industriales.
3. Para los valores obtenidos en sedimentos de corriente recolectados sobre los márgenes activos de los Ríos Limay y Neuquén, se consideraron como valores anómalos o bien que superan el umbral permitido para suelos agrícolas principalmente. Se estima que estas concentraciones podrían relacionarse con la intervención de la actividad antropogénica (Urbano - industrial - hidrocarbúrfica - minera - agrícola). Aquí se destacan los valores de cinc para la muestra Ly1 (1.213 mg/L), alcanzando niveles cercanos a los límites para los suelos industriales, el cual disminuye abruptamente en dirección de la corriente de agua marcando una clara dispersión del elemento.
4. El cobre es otro elemento que llamo la atención por su concentración detectada en la muestra RN3 (1.358 mg/L), superando los niveles permitidos para suelos industriales, alcanzando valores superiores al doble de lo permitido.
5. Respecto de las muestras de suelo obtenidas en el área del parque industrial y de las bardas de Plottier y Neuquén, no presentarían valores relevantes; en su mayoría los elementos químicos detectados se encuentran dentro de los valores de fondo o background, siendo poco los casos (V, Cu) en que las concentraciones de los elementos podrían superar los límites permitidos para suelos agrícolas.
6. Cabe destacar las elevadas concentraciones detectadas de los elementos de fósforo, azufre, plomo y cobre pertenecientes a la muestra RN3. Se estima que debe existir algún punto de descarga (residuos líquidos, sólidos o gaseosos) cercano al punto de muestreo, lo que habría producido el incremento registrado.



7. Esta contribución procura al mismo tiempo dar lugar a la actualización e incremento de su contenido informativo, conforme se vaya incrementando la densidad de datos en el área de estudio. Así mismo, se propone continuar con trabajos orientados a cartas ambientales o geoquímicas.

Por último, dejar sentado la necesidad de evaluar en futuros trabajos relacionados con la elaboración de la Carta Geoquímica del área, la alternativa de realizar las correcciones adecuadas en los valores a utilizar para cada caso (sedimentos de corriente, suelos, rocas y/o emisiones gaseosas) siguiendo las normativas del SEGEMAR.

## BIBLIOGRAFÍA

- ATSDR ( Agencia de sustancias tóxicas y el registro de enfermedades)  
<https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>
- Ballantyne, S.B., 1991. Stream geochemistry in the Canadian Cordillera: Conventional and future applications for explorations. En: Exploration Geochemistry Workshop. Geological Survey of Canada Open File 2390.
- Cazau, L.B. & M.A. Uliana. 1973. El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina. V° Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 131-163.
- Danderfer J.C., Vera P., 1992. Geología. En: Geología y recursos naturales del Departamento Confluencia, provincia del Neuquén, República Argentina. Dirección Provincial de Minería, Boletín 1 : 23-45. Zapala.
- Darnley, A. G., Björklund, A., Bolviken, B., Gustavsson, N., Koval, P. V., Plant, J. A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xuejing, X., Garrett, R. G. & Hall, G. E. M. (1995). A global geochemical database for environmental and resource management: recommendations for International Geochemical Mapping. Final report of IGCP Project 259, Earth Sciences, 19. Paris: Unesco.
- Decreto 3699/97, Implementación de la sección 2° del título XIII del código de minería (T.O. DECR. N°456/97). "De la protección ambiental para la actividad minera".
- Digregorio, J. H. y M. A. Uliana, 1980. Cuenca Neuquina. 2° Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias 2: 985-1032. Córdoba.
- Fantini, M. A., Andiarana, L. A., Rodriguez, J. C., 2021. Saneamiento de pasivos ambientales en el yacimiento hidrocarburofero 25 de mayo - medianito SE, la pampa, argentina. El Boletín Brackebuschiano Geociencias y Sociedad es una publicación de divulgación y difusión de la Asociación Geológica Argentina (AGA). Boletín 4: 13 – 19.
- Ferpozzi, L. Turel, A., Vargas, D., Butrón Ascona F., Jara, A., Siehankiewicz, D., y Casa, A., 2002. Datos geoquímicos multielemento y ubicación de muestreo de sedimentos de corriente de los Planes Cordillerano y Perforaciones. Hoja 3969-I Zapala-Provincia de Neuquén. República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas –Geoquímica-58/D-Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. 2002.
- Ferpozzi, L., Turel, A., Vargas, D., Butrón Ascona F., Jara, A., Siehankiewicz, D., y Casa, A., 2002. Datos geoquímicos multielemento y ubicación de muestreo de sedimentos de corriente de los Planes Cordillerano y Perforaciones. Hoja 3969-III Picún Leufú Provincia de Neuquén. República Argentina. Serie Contribuciones Técnicas – Geoquímica - 58/D -Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. 2002.

- Fletcher, W.K., 1997. Stream sediment geochemistry in today's explorations world. En: Gubins, A.C. Ed. Proceedings of the Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, pags. 249-259.
- Franzese, J., L. Spalletti, I. Gómez Pérez & D. Macdonald. 2003. Tectonic and paleoenvironmental evolution of Mesozoic sedimentary basins along the Andean foothills of Argentina (32° - 54°S). *Journal of South American Earth Sciences* 16: 81-90.
- Garrido A., 2005. Importancia científica y turística de los recursos paleontológicos y geológicos del Neuquén. Identificación y relevamiento de los recursos geológicos. Consejo Federal de Inversiones, Provincia del Neuquén, Ministerio de Jefatura de Gabinete, Subsecretaría de Coordinación.
- Garrido A., 2010. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, n.s. 121 12(2): 121-177, 2010 Buenos Aires, ISSN 1514-5158.
- González Díaz, E. F. y Nullo, F. E., 1980. Cordillera Neuquina. *Academia Nacional de Ciencias. Geología Regional Argentina* 2: 1099-1147. Córdoba.
- Hale, M., Plant, J.A., 1994. *Drainage Geochemistry*. Elsevier, 766 pags.
- Heredia, S y Calvo, J. 2002. Estratigrafía de las bardas de la ciudad de Neuquén. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 699-705, El Calafate.
- Heredia, S. y Calvo, J. 1997. Sedimentos eólicos en la Formación Río Colorado (Grupo Neuquén) y su relación con la fauna del Cretácico superior. *Ameghiniana* 34: 120.
- Herrero Ducloux, A. 1939. Estratigrafía tectónica de los Estratos con Dinosaurios del Neuquén. En: *II° Reunión de Geólogos y Geofísicos de YPF. Boletín de Informaciones Petroleras* 16(180): 16-17. Buenos Aires.
- Herrero Ducloux, A., 1946. Contribución al conocimiento geológico del Neuquén extrandino. *Boletín de Informaciones Petroleras*, 23 (226) : 245-281. Buenos Aires.
- Howell, J.A., E. Schwarz, L.A. Spalletti & G.D. Veiga. 2005. The Neuquén Basin: an overview. En: G.D. Veiga, L.A. Spalletti, J.A. Howell & E. Schwarz (Eds.): *The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. Geological Society, London, Special Publications 252: 1-14.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN) – Información Geoespacial , Capas SIG <https://www.ign.gob.ar/>
- Keidel, J., 1917. Über das patagonische Tafelland und ihre zuehungen zu den geologischen ercheinungen in den Argentinischen Anden gebiet und Litoral. *Zeitschrift der Deutsche Akademie Wiessenschaft* 3(5-6): 219-245. Stuttgart.

- Leanza, H. A. y C. A. Hugo, 1997. Hoja Geológica 3969-III Picún Leufú. Provincias del Neuquén y Río Negro. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín N° 218: 135 pp. Buenos Aires.
- Leanza, H. y Hugo, C. 2001. Cretaceous beds from southern Neuquen Basin (Argentina): age, distribution and stratigraphic discontinuities. Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial 7, 7° International Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems, 117-122, Buenos Aires.
- Leanza, H.A. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie 11 (2): 145-184. Buenos Aires.
- Locutura J., Bel-Ian A., Lopera E. 2002. Cartografía geoquímica multielemental en sedimentos de corriente en un contexto de arco isla volcánico. Aplicación al análisis de potencialidad metalogénica en un área de la República Dominicana. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Acta geologica hispanica, v. 37 (2002), n° 2-3, p. 229-272.
- Macdonald, D., I. Gómez-Perez, J. Franzese, L. Spalletti, L. Lawver, L. Gahagan, I. Dalziel, C. Thomas, N. Trewin, M. Hole & D. Paton. 2003. Mesozoic breakup of SW Gondwana: implications for regional hydrocarbon potential of the southern South Atlantic. Marine and Petroleum Geology 20: 287–308.
- Mendez, M. I., Locutura, J., Bel-Ian, A. 2017. Cartografía Geoquímica para la definición de Líneas de base Geoquímicas en el País Vasco. XII Congreso Nacional y XI Ibérico de Geoquímica. Sesión 6. Geoquímica Ambiental, Biogeoquímica y Cartografía Geoquímica. Linares (Jaen) 26-28 Set. 2017.
- Méndez, V., J.C. Zanettini & E.O. Zappetini. 1987. Aspectos geológicos del Orógeno Andino Central de la República Argentina. X° Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 181-184.
- Mpodozis, C. & V.A. Ramos. 1989. The Andes of Chile and Argentina. En: G.E. Ericksen, M.T. Cañas Punochet & J.A. Reinemund (Eds.): Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources. Circum-Pacific for Energy and Mineral Resources Earth Sciencies Series 11: 59-90. Houston.
- Municipalidad de Neuquén - secretaria de gobierno y acción social – Subsecretaria de medio ambiente. <http://hidrocarburos.energianeuquen.gov.ar/casminero>
- Ordenanza N° 8.320. Del 2/10/1998. APRUEBASE Bloque Temático N° 2 “Control Ambiental de las Actividades del Código de Planeamiento y Gestión Urbano Ambiental de la Ciudad de Neuquén.
- Oyarzun R., Higuera P., Cubas P., 2010. Geoquímica Ambiental e Indicadores Geobotánicos. Un Documento GEMM / Proyecto de Innovación 123 – UCM.

- Oyarzún, J., Oyarzún, R., Oyarzún, R., 2022., *Geoquímica Aplicada, Principios Básicos de Geoquímica, Prospección Geoquímicas, Hidrogeoquímicas y Riesgos Ambientales*. Departamento de ingeniería de minas. Universidad de La Serena, La Serena – Chile.
- Ramos, V.A. & A. Folguera. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constrains derived from de magmatic arc and foreland deformation. En: G.D. Veiga, L.A. Spalletti, J.A. Howell & E. Schwarz (Eds.): *The Neuquén Basin, Argentina: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. Geological Society, London, Special Publications 252: 25-35.
- Ramos, V.A. 1981. Descripción Geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte. Provincia del Neuquén. Servicio Geológico Nacional. Boletín 182: 1-103. Buenos Aires.
- Rincón, G. P., González A. E., 2011. Manual de geoquímica muestreo de ultra baja densidad y de baja, media y alta densidad. Instituto colombiano de geología y minería, -Ingeominas.
- Rodríguez, M.F., Leanza H.A., Salvarredy Aranguren, M., 2007. Hoja Geológica 3969 II, Neuquén, provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 370, 165 pp. Buenos Aires.
- Sanchez, M.L., Gómez M.J., Heredia S., 2006. Sedimentología y paleoambientes del Subgrupo Río Colorado (Cretácico Superior), Grupo Neuquén, en las bardas de la ciudad de Neuquén y alrededores. *Revisa de la Asociación Geológica Argentina* 61 (2):236-255.
- SEGEMAR – Instituto de Geológicas y Recursos Minerales, 2001. Normativa Para la Carta Geoquímica de la República Argentina. Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas de la República Argentina.
- Servicios GIS – original. Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos. [http://hidrocarburos.energianeuen.gov.ar/?page\\_id=1626](http://hidrocarburos.energianeuen.gov.ar/?page_id=1626)
- Stipanovic, P.N., F. Rodrigo, O.L. Baulies & C.G. Martínez. 1968. Las Formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23(2): 67-98.
- Tunik, M., A. Folguera, M. Naipauer, M. Pimentel & V. Ramos. 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén Basin: constraints on the Andean uplift from U-PB and Hf isotopic data of detrital zircons. *Tectonophysics* 489(1-4): 258-273.
- Turner, J. C. M. y L. B. Cazau, 1978. Estratigrafía del Pre-Jurásico. En: *Geología y Recursos Naturales del Neuquén*. 7° Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 25-36. Neuquén.



- Turner, J. C. M., 1965. Estratigrafía de Aluminé y adyacencias (provincia del Neuquén).  
Revista de la Asociación Geológica Argentina 20 (2): 153-184.
- Uliana, M.A. & D.A. Dellapé. 1981. Estratigrafía y evolución paleoambiental de la  
sucesión maestrichtiano-eoterciaria del engolfamiento neuquino (Patagonia  
Septentrional). VII° Congreso Geológico Argentino. Actas 3: 673-711.
- Vergani, G.D., A.J. Tankard, H.J. Belotti & H.J. Welsink. 1995. Tectonic evolution and  
paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En: Tankard, A.J., R. Suárez  
& H.J. Welsink (Eds.): Petroleum basins of South America. American  
Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402.

**ANEXO I:** Concentraciones medidas y límites de detección

<b>Constituyentes (total)</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite de detección en suelos agrícolas</b>	<b>Límite de detección en suelos industriales</b>
<b>Antimonio (total)</b>	m g/L	20	40
<b>Arsénico (total)</b>	m g/L	20	50
<b>Bario (total)</b>	m g/L	750	2000
<b>Benceno</b>	m g/L	0,05	5
<b>Berilio (total)</b>	m g/L	4	8
<b>Boro (total)</b>	m g/L	2	
<b>Cadmio (total)</b>	m g/L	3	20
<b>Cianuro (libre)</b>	m g/L	0,5	100
<b>Cianuro (total)</b>	m g/L	5	100
<b>Cinc (total)</b>	m g/L	600	1500
<b>Cobalto</b>	m g/L	40	300
<b>Cobre (total)</b>	m g/L	150	500
<b>Compuestos fenólicos no clorados</b>	m g/L	0,1	10
<b>Cromo (total)</b>	m g/L	750	800
<b>Cromo (+6)</b>	m g/L	8	
<b>Estaño</b>	m g/L	5	300
<b>Fluoruro (total)</b>	m g/L	200	2000
<b>Mercurio (total)</b>	m g/L	0,8	20
<b>Molibdeno</b>	m g/L	5	4
<b>Níquel (total)</b>	m g/L	150	500
<b>Plata (total)</b>	m g/L	20	40
<b>Plomo (total)</b>	m g/L	375	1000
<b>Selenio (total)</b>	m g/L	2	10
<b>Sulfuro (elemental)</b>	m g/L	500	
<b>Talio (total)</b>	m g/L	1	
<b>Vanadio (total)</b>	m g/L	200	

**Tabla 11.** Niveles guía de calidad de suelos, utilizada como referencia al comparar los resultados obtenidos.



Compuesto	P molecular	Elemento	P molecular	RN1	RN2	RN3	RN4	Ly1	Ly2	Ly3	Ly4	Ms1	Ms2	Ms4	R1	R2	R3	R4
SiO <sub>2</sub>	60,08	Si	28,08	20,991	19,218	14,694	25,526	26,113	28,387	28,734	29,203	21,418	24,041	26,863	22,139	19,896	8,347	22,073
CaO	56,08	Ca	40,08	12,435	5,342	6,541	3,266	3,335	3,020	2,594	2,189	8,474	2,981	2,627	20,054	20,148	33,240	17,263
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101,96	Al	53,96	7,523	7,307	5,300	9,698	9,393	9,653	9,062	9,293	8,423	9,912	9,333	3,121	3,961	2,079	4,461
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159,68	Fe	111,68	2,986	5,434	6,634	5,915	6,397	4,422	4,020	4,131	2,615	4,964	3,129	0,162	0,681	0,826	0,817
MgO	40,3	Mg	24,3	1,194	1,037	0,678	1,188	1,070	1,028	0,990	1,029	1,463	1,620	1,523	0,069	0,284	0,183	0,464
K <sub>2</sub> O	94,18	K	78,18	1,435	1,182	1,198	1,635	1,536	1,831	1,933	1,649	1,381	2,001	2,253	1,198	1,350	0,711	1,461
Na <sub>2</sub> O	61,96	Na	45,96	0,907	1,260	0,864	1,716	1,808	1,140	1,660	1,571	0,817	0,421	0,438	0,667	0,465	0,253	0,558
TiO <sub>2</sub>	79,86	Ti	47,86	0,596	0,888	0,391	0,881	0,853	0,645	0,674	0,637	0,490	0,577	0,472	0,024	0,059	0,050	0,107
SO <sub>3</sub>	80,06	S	32,06	0,371	1,303	7,126	0,839	0,082	0,069	0,116	0,067	0,134	0,073	0,081	0,072	0,080	0,026	0,042
MnO	70,93	Mn	54,93	0,111	0,098	0,064	0,108	0,156	0,079	0,081	0,102	0,084	0,101	0,075	0,109	0,075	0,105	0,187
ZrO <sub>2</sub>	123,22	Zr	91,22	0,068	0,126	0,017	0,059	0,085	0,068	0,090	0,080	0,064	0,015	0,033	0,007	0,012	0,010	0,008
SrO	103,62	Sr	87,62	0,033	0,031	0,033	0,038	0,038	0,040	0,036	0,033	0,026	0,013	0,013	0,014	0,030	0,013	0,018
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	181,88	V	101,88	0,016	0,041	0,035	0,022	0,039	0,028	0,021	0,024	0,029	0,020	0,013	-	-	-	-
CuO	79,54	Cu	63,54	0,018	0,016	0,136	0,020	0,036	0,018	0,017	0,014	0,029	0,018	0,019	-	-	-	-
PbO	223,2	Pb	207,2	0,009	-	0,036	-	0,008	-	-	-	0,006	-	-	-	-	-	-
ZnO	81,38	Zn	65,38	0,007	0,022	0,064	0,016	0,121	0,029	0,025	0,015	0,015	0,008	0,010	-	-	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	152	P	61,94	-	-	0,403	0,189	0,221	0,073	0,052	-	-	0,058	-	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	141,94	Cr	104	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 12. Concentración de los elementos de interés analizados en g %.

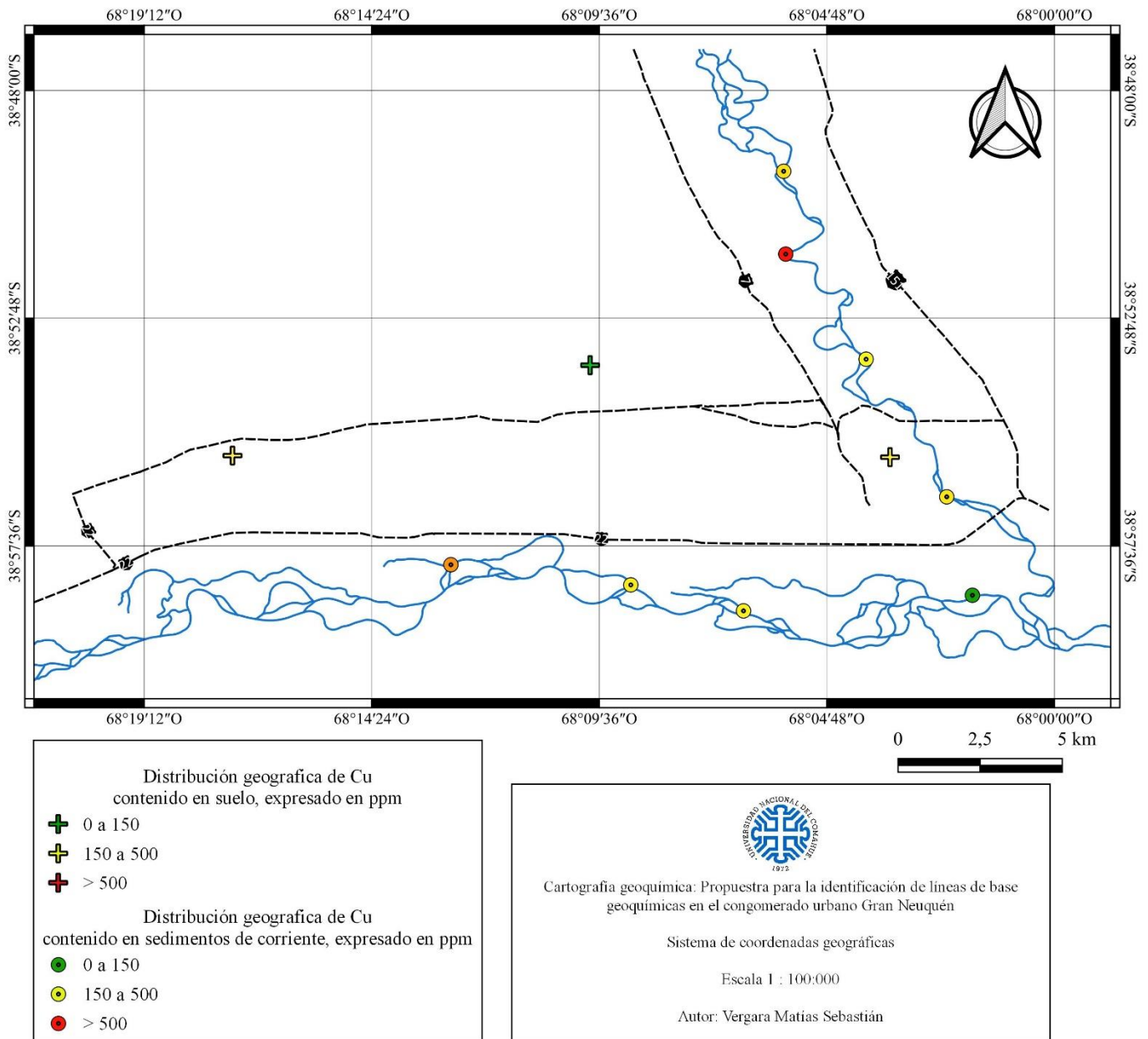


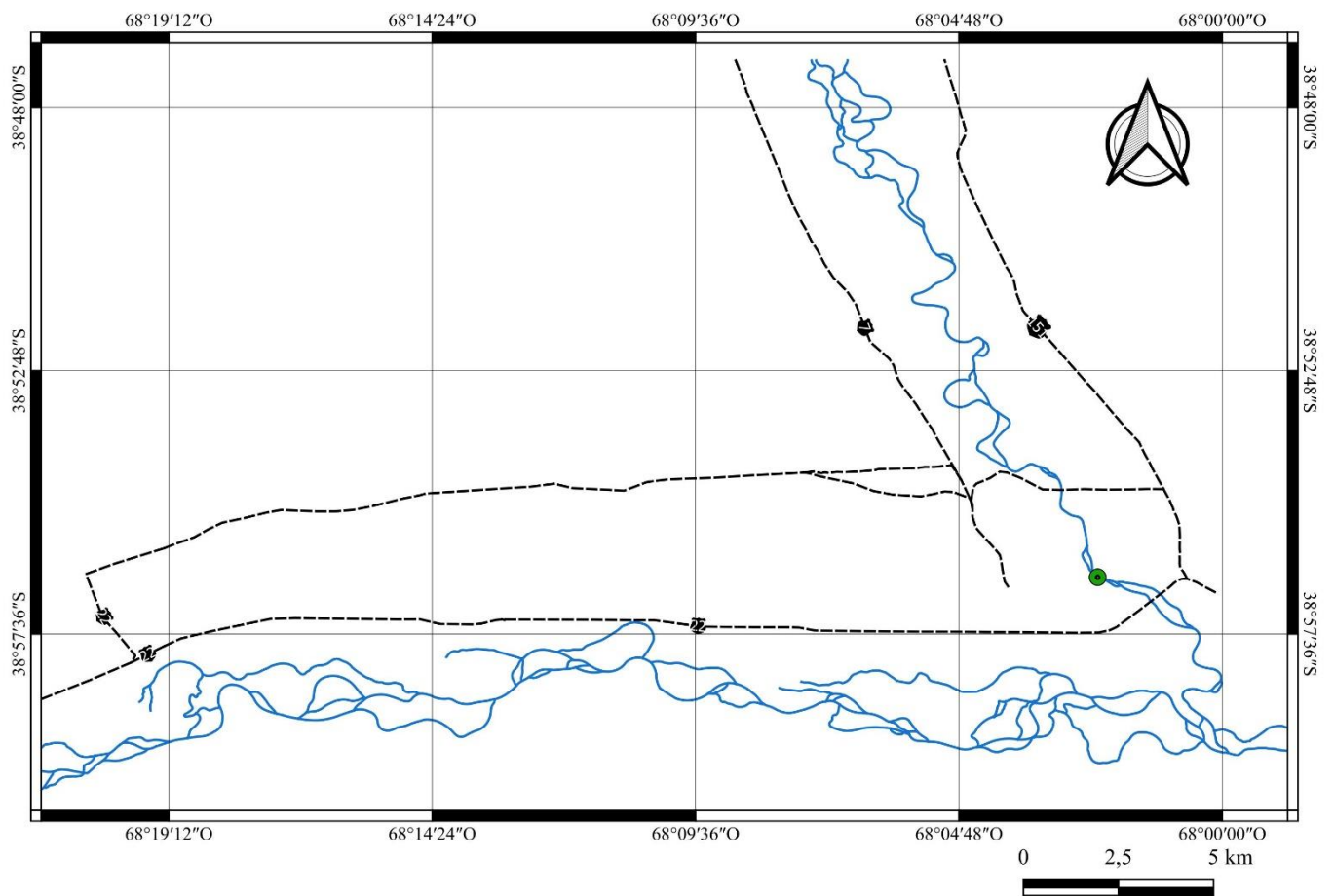


Elemento	ppm - mg/L	RN1	RN2	RN3	RN4	Ly1	Ly2	Ly3	Ly4	Ms1	Ms2	Ms4	R1	R2	R3	R4
Si	10000	209908	192176	146943	255263	261133	283866	287343	292026	214180	240409	268630	221392	198962	83469	220733
Ca	10000	124349	53423	65409	32661	33348	30203	25943	21891	84741	29810	26272	200543	201479	332397	172627
Al	10000	75230	73065	52997	96976	93927	96526	90620	92927	84227	99119	93334	31214	39607	20788	44614
Fe	10000	29857	54343	66345	59148	63967	44216	40201	41313	26151	49643	31291	1623	6812	8260	8169
Mg	10000	11939	10365	6783	11879	10697	10281	9901	10287	14634	16202	15225	693	2840	1827	4643
K	10000	14353	11821	11979	16353	15357	18312	19325	16494	13813	20006	22529	11979	13498	7114	14610
Na	10000	9072	12603	8642	17165	18084	11401	16601	15711	8167	4213	4384	6669	4651	2529	5578
Ti	10000	5963	8882	3913	8810	8528	6454	6742	6371	4902	5771	4722	240	593	497	1073
S	10000	3712	13031	71256	8389	817	693	1161	669	1338	729	809	717	801	260	424
Mn	10000	1107	984	635	1084	1564	790	805	1022	836	1007	751	1092	751	1045	1866
Zr	10000	681	1259	170	592	851	681	903	800	637	148	326	67	118	104	81
Sr	10000	330	313	330	381	381	397	364	330	262	127	127	135	296	127	178
V	10000	157	409	353	218	387	280	213	241	291	196	129	-	-	-	-
Cu	10000	184	160	1358	200	359	176	168	144	288	184	192	-	-	-	-
Pb	10000	93	-	362	-	84	-	-	-	65	-	-	-	-	-	-
Zn	10000	72	217	643	161	1213	289	249	153	153	80	96	-	-	-	-
P	10000	0	-	4034	1895	2213	729	522	-	-	579	-	-	-	-	-
Cr	10000	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla 13.** Concentración de los elementos de interés analizados en ppm o mg/L, con verde se encuentran seleccionados los elementos detectados en el análisis de FRX.


**ANEXO II:** Distribución geográfica de los puntos de muestreo en ppm.





Distribución geográfica de Cr contenido en sedimentos de corriente, expresado en ppm

- 0 a 7500
- 750 a 800
- > 800

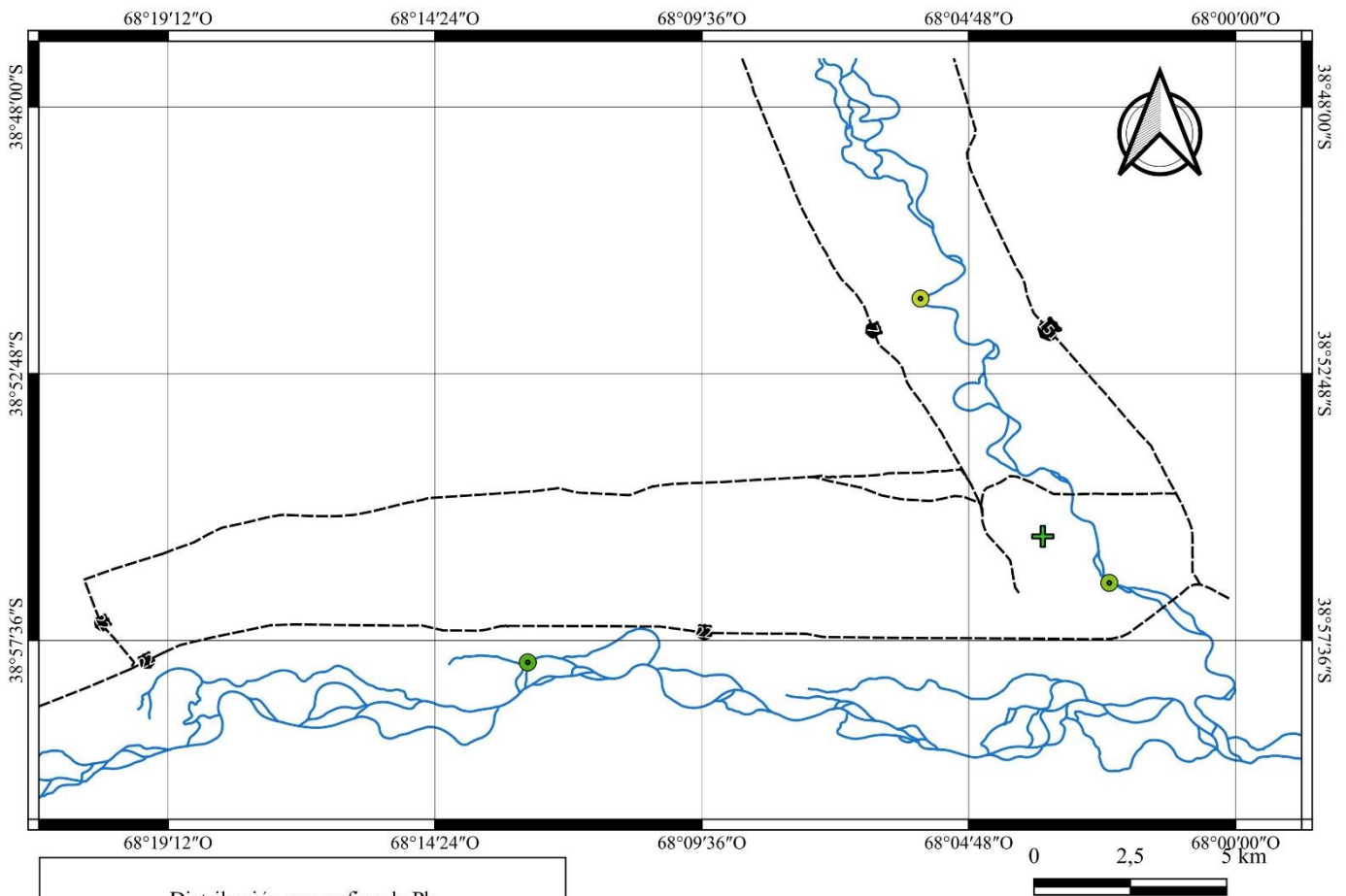


Cartografía geoquímica: Propuesta para la identificación de líneas de base geoquímicas en el conglomerado urbano Gran Neuquén

Sistema de coordenadas geográficas

Escala 1 : 100:000

Autor: Vergara Matias Sebastián




Distribución geográfica de Pb contenido en suelo, expresado en ppm

- + 0 a 375
- + 375 a 1000
- + > 1000

Distribución geográfica de Pb contenido en sedimentos de corriente, expresado en ppm

- 0 a 375
- 375 a 1000
- > 1000

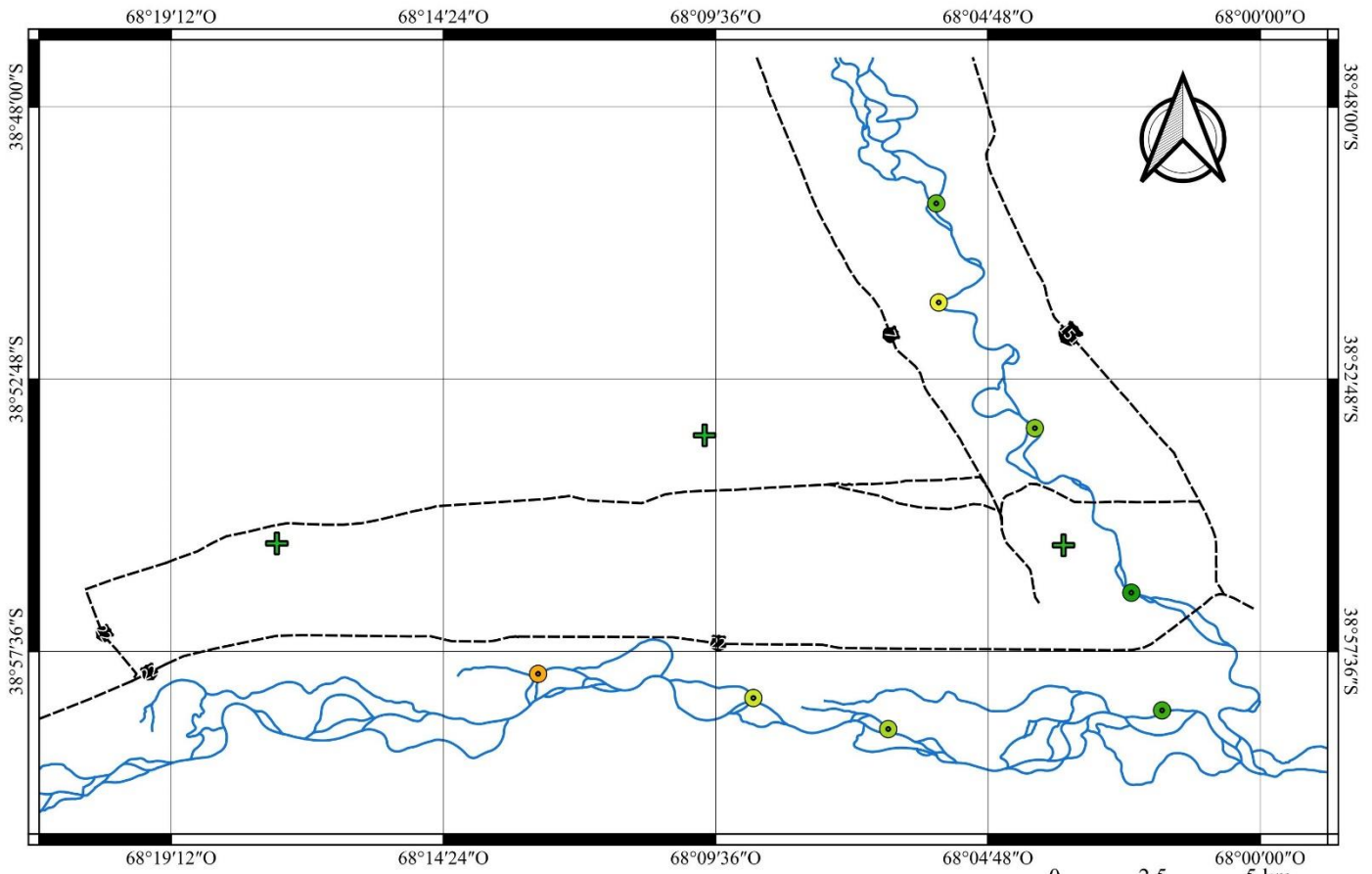


Cartografía geoquímica: Propuesta para la identificación de líneas de base geoquímicas en el conglomero urbano Gran Neuquén

Sistema de coordenadas geográficas

Escala 1 : 100:000

Autor: Vergara Matías Sebastián




Distribución geográfica de Zn contenido en suelo, expresado en ppm

- + 0 a 600
- + 600 a 1500
- + > 1500

Distribución geográfica de Zn contenido en sedimentos de corriente, expresado en ppm

- 0 a 600
- 600 a 1500
- > 1500

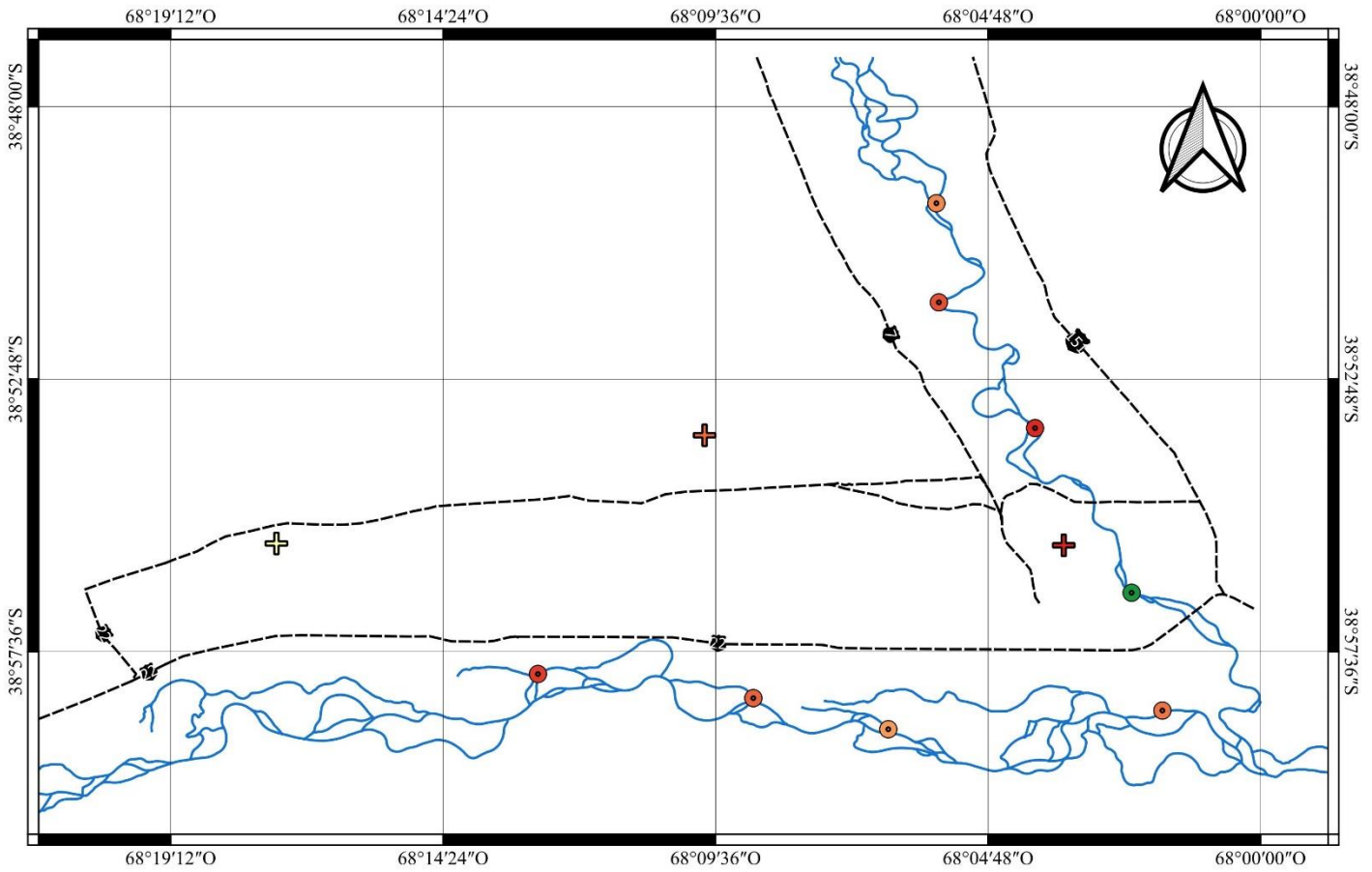


Cartografía geoquímica: Propuesta para la identificación de líneas de base geoquímicas en el conglomero urbano Gran Neuquén

Sistema de coordenadas geográficas

Escala 1 : 100.000

Autor: Vergara Matias Sebastián




Distribución geográfica de V contenido en suelo, expresado en ppm

- + 0 a 100
- + 100 a 200
- + > 200

Distribución geográfica de V contenido en sedimentos de corriente, expresado en ppm

- 0 a 100
- 100 a 200
- > 200



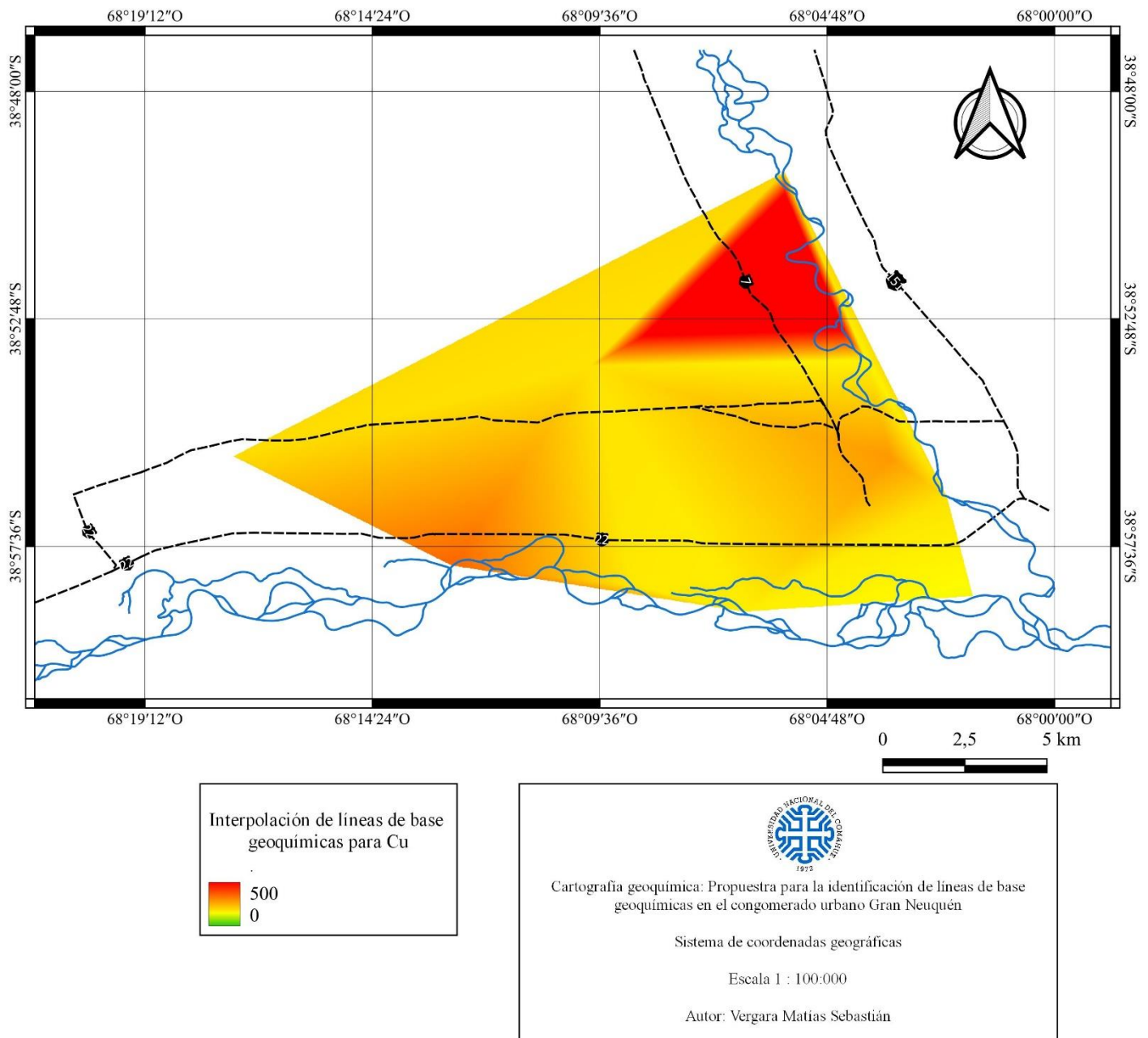
Cartografía geoquímica: Propuesta para la identificación de líneas de base geoquímicas en el conglomerado urbano Gran Neuquén


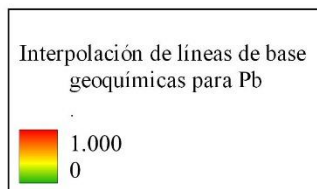
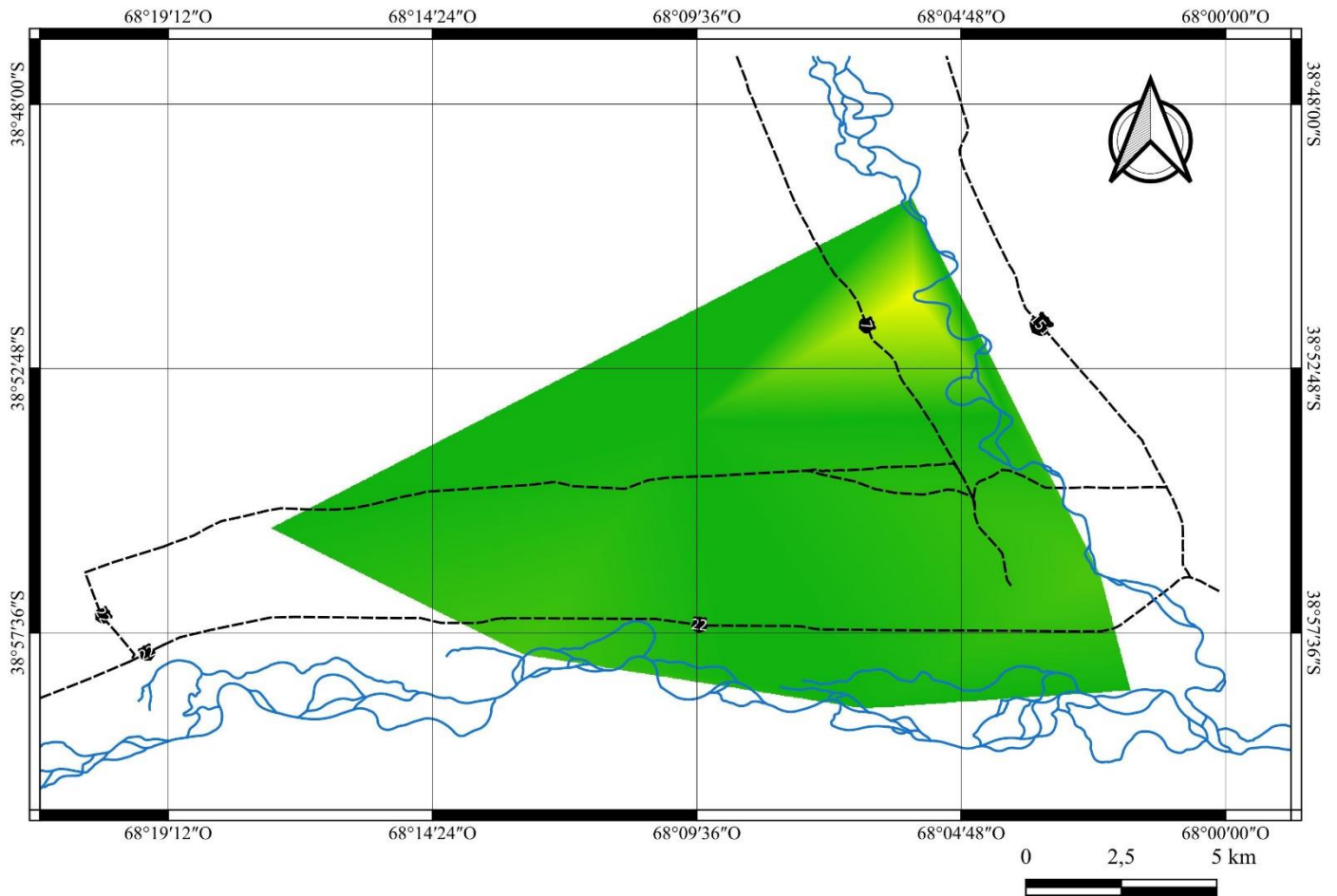
Sistema de coordenadas geográficas

Escala 1 : 100:000

Autor: Vergara Matías Sebastián

ANEXO III: Interpolación de líneas de base geoquímicas.





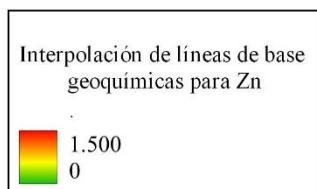
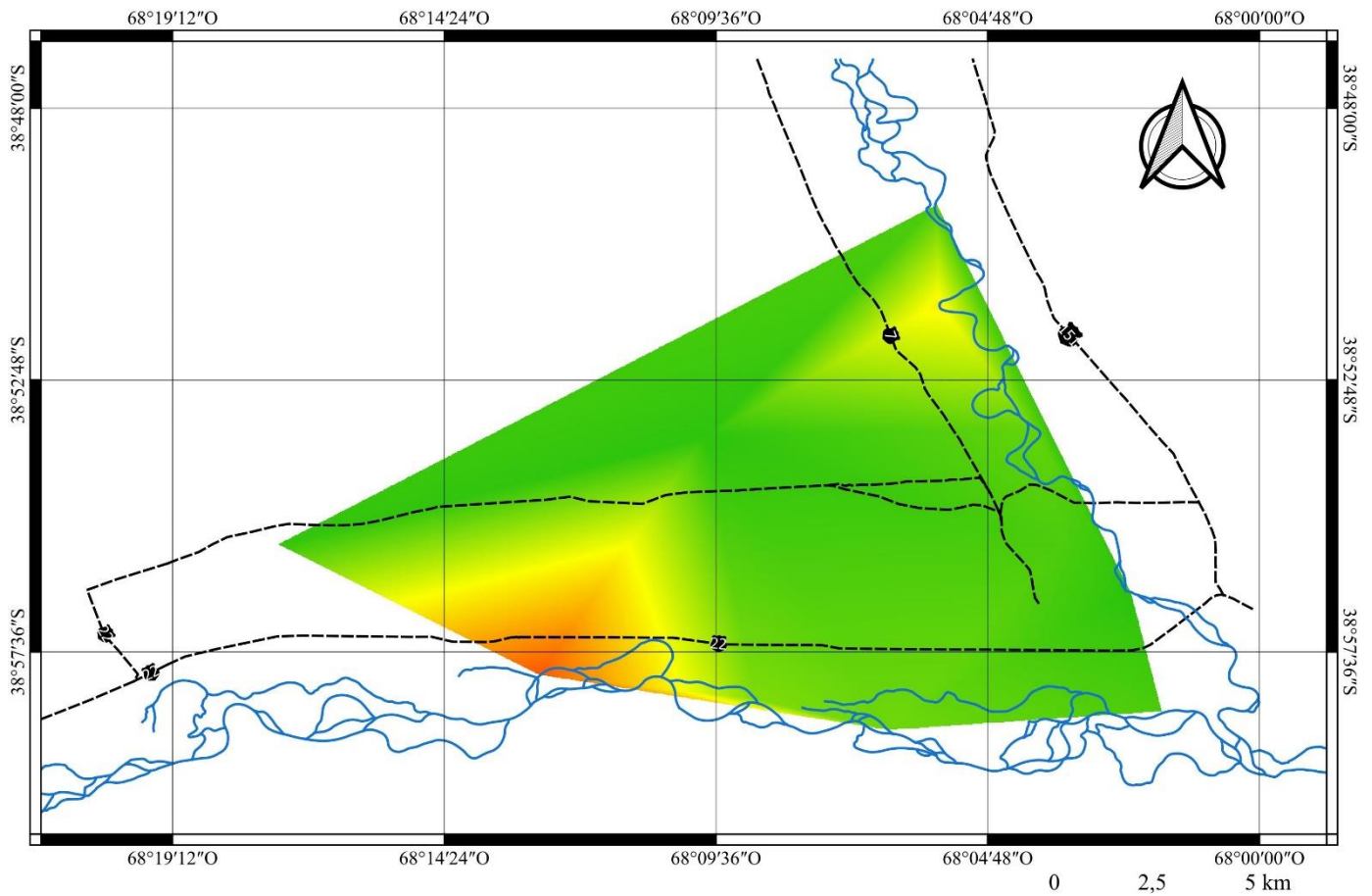
Cartografía geoquímica: Propuesta para la identificación de líneas de base geoquímicas en el conglomerado urbano Gran Neuquén

Sistema de coordenadas geográficas

Escala 1 : 100:000

Autor: Vergara Matias Sebastián



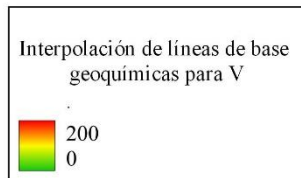
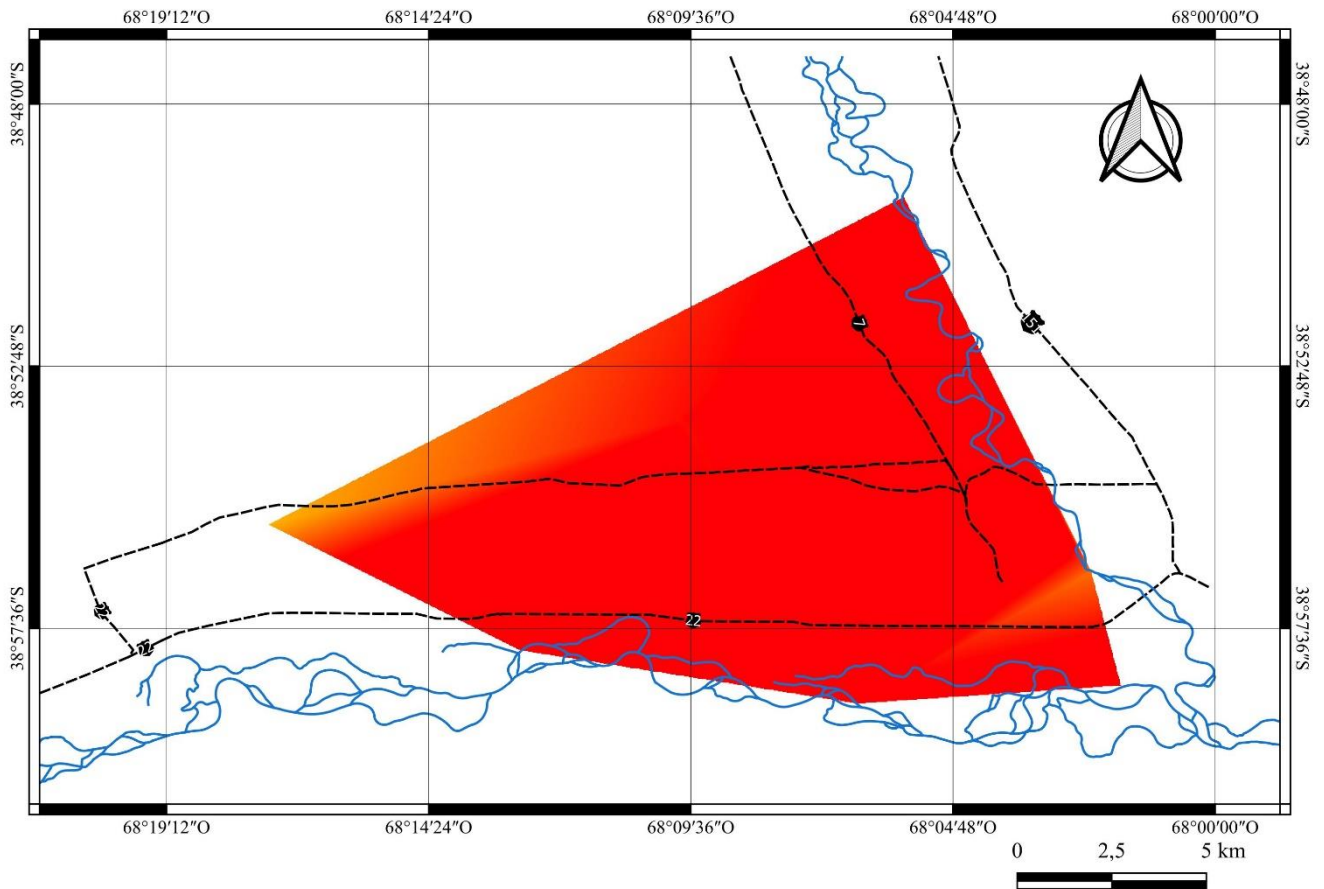


Cartografía geoquímica: Propuesta para la identificación de líneas de base geoquímicas en el conglomerado urbano Gran Neuquén

Sistema de coordenadas geográficas

Escala 1 : 100:000

Autor: Vergara Matias Sebastián



Cartografía geoquímica: Propuesta para la identificación de líneas de base geoquímicas en el conglomerado urbano Gran Neuquén

Sistema de coordenadas geográficas

Escala 1 : 100:000

Autor: Vergara Matías Sebastián