



Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo

Tesis doctoral

*El agua subterránea en el ámbito de la llanura  
inferior del río Limay*

Patricia Laurencena  
Director Dr. Eduardo Kruse

2015

*Dedicado a  
Mi familia  
Y al recuerdo de Titi Rojo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi mayor agradecimiento es para **Eduardo Kruse** por su enorme paciencia y generosidad. Y especialmente porque pudo rebatir, con su compromiso y dedicación, todas las excusas que puse para no terminar este trabajo.

A **Lu**, por estar siempre, por poner energía y alegría, por acompañarme, por ayudarme, por escucharme...por todo.

A **Marta**, por acompañarme al campo, por conversar conmigo diferentes temas relacionados con el trabajo aportando sus puntos de vista y experiencias.

A **Agustina y Rodolfo**, porque me ayudaron la primera vez que fui al campo y me auxiliaron con las tareas de traducción y edición.

A **Juan y Julieta** quiero agradecerles por su dedicación, aliento y asistencia.

A **María Marta, Silvina, Eleonora, Leandro y Lucia** porque estuvieron cerca con sugerencias o soluciones cada vez que los necesité.

A **Betina Laurenzano**, por recibirme cariñosamente en Neuquén, facilitarme el trabajo y brindarme información.

## RESUMEN

En este trabajo se reconocen las particularidades que rigen el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de las aguas subterráneas, en un ambiente llano sometido a condiciones climáticas áridas y fuertemente antropizado. Se trata de la llanura aluvial del sector inferior del río Limay, entre las ciudades de Neuquén y Plottier. En este ámbito, existe un desarrollo socioeconómico basado en la producción de cultivos de frutas y hortalizas, que presenta una fuerte dependencia de los recursos hídricos. Un importante sistema de canales de riego alimentado por agua del Río Limay, es soporte y la fuente de abastecimiento para esta producción agrícola y además para el desarrollo de actividades industriales y urbanas.

A partir de las técnicas tradicionales de la hidrogeología, de metodologías propias del análisis de perforaciones petroleras, del monitoreo periódico del acuífero freático y de procedimientos modernos asociados a la informatización y modelado matemático de los datos obtenidos, se definió un sistema de aguas subterráneas compuesto por una unidad somera y una unidad profunda.

En este último caso el análisis incluye, a partir de información indirecta, a las sedimentitas del Grupo Neuquén (Cretácico). Utilizando análisis de registros geofísicos de pozos se definió una correlación a nivel de conjunto de capas en el intervalo comprendido entre 0 y 500 m de profundidad, identificándose 4 niveles acuíferos en una secuencia con predominio de sedimentos de baja conductividad hidráulica con agua cuya salinidad puede superar los 2000 mg/L. Los niveles piezométricos positivos con respecto al nivel freático y la presencia de sedimentitas de baja permeabilidad en los términos someros del Grupo Neuquén, permiten descartar una conexión hidráulica entre la unidad somera y profunda en el área de estudio.

Un tratamiento particularizado se realiza de la capa freática, en la cual se reconoce que los rasgos geomorfológicos tienen una relación directa con los procesos hidrológicos predominantes. La mayor parte del área corresponde a una planicie aluvial donde se destacan la infiltración y la evapotranspiración. En el sector de mayor pendiente, una franja de pedimento de flanco proximal se caracteriza por el predominio de escurrimiento superficial, mientras que la planicie de inundación actual está sujeta a las fluctuaciones del flujo del río.

El acuífero freático se desarrolla principalmente en los sedimentos aluviales cuaternarios (planicie aluvial), formados por gravas y arenas, que pasan transicionalmente a sedimentos más finos (pedimento de flanco distal) hacia el norte del área de estudio. El flujo subterráneo muestra un escurrimiento noroeste – sudeste

con descarga variable al río dependiendo de los períodos de riego. Las fluctuaciones de los niveles freáticos se caracterizan por un ciclo que presenta su máxima profundidad en julio – agosto y la mínima en octubre – noviembre. Este comportamiento permite definir que la recarga más importante es a partir del riego y está favorecida por una infiltración rápida. La salida se produce a través del uso consuntivo, el drenaje y la descarga al río. En función del contenido salino se reconocieron dos tipos de agua, una de baja salinidad, asociada a un agua de igual característica que la utilizada para riego y apta para diferentes usos. La otra es de alta salinidad y se localiza en una franja relacionada al pedimento de flanco.

Se planteó un modelo conceptual y matemático del flujo subterráneo del acuífero freático que permitió la simulación de un escenario carente de riego y otro con un incremento del 50 % con respecto al riego actual. Para el primer caso se visualiza una fuerte profundización del nivel freático, mientras que en el segundo se observa un ascenso con efectos adversos sobre la producción por anegamientos en superficie.

El conocimiento de las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas y del régimen del agua subterránea con bases científicas para distintas escalas espaciales y temporales, contemplando un tratamiento integrado del ciclo hidrológico (agua subterránea – agua superficial) es una herramienta fundamental para la aplicación de acciones de gestión de los recursos hídricos en el ámbito analizado. Esta gestión, dada la sensibilidad del sistema hidrológico en el valle inferior del Río Limay debe brindar la posibilidad de lograr un equilibrio entre el desarrollo socioeconómico, las necesidades de agua y la protección del ambiente en esta región.

Palabras claves: hidrogeología, agua subterránea, llanura aluvial, río Limay, Neuquén

## ABSTRACT

In this work, it is recognized the special features that govern the hydrodynamic and hydrochemical regime of groundwater, in an flat environment subject to arid climatic conditions and highly anthropized. The study area covers the alluvial plain of lower Limay River, between the cities of Plottier and Neuquén. In this area, there is a socio-economic development based on the production of crops of fruits and vegetables, which presents a strong dependence on water resources. An important system of irrigation canals fed by water from the Rio Limay is support and the source of supply for the agricultural production and also for the development of urban and industrial activities.

Applying traditional hydrogeology techniques, special methodologies to analyse oil wells electrical logs, periodic monitoring of the groundwater and aquifer characterization through modern computerized and mathematical modelling of the data obtained, it was defined a groundwater system composed of a shallow and a deeper unit.

The analysis of the deeper unit was done using indirect information and includes essentially the sedimentary rocks of the Cretaceous Neuquén Group. A stratigraphic correlation at bed-set scale using electrical logs in the shallowest 500 m of the Neuquén Group was done identifying four aquifer beds in a predominantly low hydraulic conductivity sequence with salinity possibly above 2000 mg/L. The positive piezometric levels with respect to the phreatic aquifer and the presence of low permeability units in the Neuquén Group support the idea of a disconnection between the shallow and the deep hydraulic units in the study area.

This study focus especially on the phreatic aquifer where it is recognized a close relationship between the geomorphologic features and the dominant hydrogeologic processes. The most part of the study area lays on an alluvial plaine where infiltration and evapotranspiration are the main processes, the sector of steeper topographic relief covers a fringe of flank pediments where surface runoff prevails and the Limay River fluctuations affects its present flood plain.

The phreatic aquifer develops in the quaternary alluvial sediments (alluvial plaine), formed by gravels and sands grading to finer sediments of the distal flank pediment toward the North of the study area. The groundwater flow takes a Northwest - Southeast direction with variable discharge to the river depending on the periods of irrigation. Fluctuations in water table are characterized by a cycles with a maximum

depth in July - August and a minimum in October - November. This behaviour allows us define that the most important aquifer recharge comes from irrigation that is also favoured by a rapid infiltration. The output is produced by the consumptive use, the drainage, and the discharge to the River Limay.

Based on the salinity content two groundwater types are recognized: a low-salinity water similar to the one used for irrigation and suitable for different uses and a high-salinity water located in a strip related to the flank pediment.

Conceptual and calibrated mathematical models of the phreatic aquifer were done allowing us simulate two scenarios: one without irrigation and the other with 50% increment in the present irrigation. In the first case a visible water table deepening would occur while in the other scenario a sharp rise in water table anticipates undesirable effects on crops because of waterlogging.

The knowledge of the hydrochemical and hydrodynamic conditions and the regime of the groundwater with scientific bases at different spatial and temporal scales, considering an integrated approach to the hydrological cycle (groundwater - surface water) results a fundamental tool for the implementation of water resources management in the area analysed. Such management should lead to reach a balance between the socioeconomic development, water needs and the environment protection of the region.

Keywords: hydrogeology, groundwater, alluvial plain, Limay River, Neuquén

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Marco teórico.....	4
1.2. Área de estudio .....	6
1.3. Objetivos e hipótesis más relevantes.....	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
2.1. Metodología.....	9
2.2. Tareas realizadas .....	9
2.3. Materiales y procedimientos .....	10
2.4. Evaluación de antecedentes.....	10
2.4.1. Caracterización geológico – geomorfológica .....	11
2.4.2. Análisis hidrometeorológicas .....	12
2.4.3. Caracterización de la hidrología superficial.....	15
2.4.4. Interpretación hidrogeológica.....	18
2.5. Evaluación hidrodinámica .....	24
2.6. Caracterización hidroquímica .....	26
2.7. Modelación matemática.....	30
3. CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	31
3.1. Contexto regional .....	31
3.2. Contexto socio-económico local .....	42
4. GEOLOGIA.....	47
5. GEOMORFOLOGÍA .....	54
6. CONDICIONES HIDROMETEOROLÓGICAS .....	62
6.1. Precipitación y temperatura .....	62
6.2. Evapotranspiración y balance hídrico .....	64
7. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL .....	69
7.1. Características regionales del río Limay .....	69



7.2.	Régimen hidrológico .....	73
7.3.	Variabilidad de las alturas del río .....	76
7.3.1.	Condiciones generales .....	76
7.3.2.	Variaciones diarias de los niveles del río .....	77
7.3.3.	Condiciones particulares (2003 – 2005).....	79
7.4.	Variaciones temporales en el nivel del río y su aplicación a la relación aguas superficiales – aguas subterráneas .....	81
7.5.	Canales de riego .....	84
8.	HIDROGEOLOGIA .....	87
8.1.	Unidad somera (acuífero freático).....	88
8.2.	Unidad profunda .....	90
9.	HIDRODINÁMICA.....	98
9.1.	Profundidad de los niveles freáticos .....	98
9.2.	Variación de los niveles freáticos.....	102
9.2.1.	Pedimento de flanco distal.....	102
9.2.2.	Planicie aluvial inactiva.....	103
9.2.3.	Planicie aluvial activa.....	105
9.3.	Características generales del flujo subterráneo .....	105
9.4.	Funcionamiento del sistema .....	109
9.5.	Recarga y descarga.....	125
10.	HIDROQUÍMICA .....	130
10.1.	Descripción general del agua freática .....	130
10.1.1.	Tipos de agua .....	130
10.1.2.	Distribución espacial .....	133
10.1.3.	Zonación química.....	144
10.2.	Agua superficial.....	150
10.3.	Mecanismos condicionantes .....	151
10.4.	Consideraciones acerca de la calidad del agua.....	154
10.4.1.	Contenidos de manganeso .....	154

---

10.4.2.	Arsénico (fondo natural).....	155
10.4.3.	Flúor (fondo natural).....	157
10.4.4.	Calidad de agua para riego .....	158
11.	MODELO CONCEPTUAL Y MODELO MATEMÁTICO .....	160
11.1.	Modelo conceptual .....	160
11.2.	Modelo matemático .....	163
11.2.1.	Geometría de grilla.....	163
11.2.2.	Condiciones de borde .....	164
11.2.3.	Propiedades.....	165
11.2.4.	Resultados .....	168
11.2.5.	Balance de masas.....	173
12.	SIMULACIÓN DE ESCENARIOS.....	174
12.1.	Escenario sin riego .....	174
12.2.	Escenario con un aumento del 50% en el volumen regado .....	178
13.	EXTRAPOLACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	182
14.	CONCLUSIONES .....	183
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	187

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Marco teórico

El agua es un recurso de importancia primaria para el desarrollo socioeconómico de una región, para preservar sus características ambientales y una de las bases esenciales para la vida.

En las regiones de clima árido, el riego a partir del agua superficial ha posibilitado el desarrollo de distintas zonas de nuestro país, mejorando la productividad de la tierra y favoreciendo la instalación de poblaciones y el desarrollo regional. Tal es el caso de los grandes valles en la provincia del Neuquén, donde desde principios del siglo pasado, a partir de la construcción de canales de riego, se produjo un pujante desarrollo agrícola, con especial énfasis en el cultivo intensivo de frutales.

La actividad del hombre puede generar fuertes modificaciones en el comportamiento hidrológico. Los cambios en el uso de la tierra, uso del agua, expansión agrícola, irrigación son algunas de estas actividades que cambian sustancialmente las condiciones naturales afectando la integridad del ciclo hidrológico. Una llanura aluvial es una región particularmente sensible a estas modificaciones, pudiendo manifestarse en distintos cambios, en las características de la recarga o descarga del sistema subterráneo, del flujo y calidad del agua subterránea, y consecuentemente en las condiciones ambientales.

En este tipo de ambientes, como es típico en las llanuras, predominan los movimientos verticales del agua (evapotranspiración – infiltración) sobre los horizontales (escurrimientos), existiendo una fuerte interrelación entre el agua superficial y el agua subterránea, por lo que estos cambios antrópicos pueden adquirir una alta relevancia (Kruse y Zimmermann, 2002, Kruse y Laurencena, 2005).

En diferentes regiones del mundo se ha documentado cómo las actividades del riego afectan al agua subterránea (Llamas y Martínez Santos, 2005, Foster y Shah, 2010, Garduno y Foster, 2010). Se mencionan numerosos ejemplos asociados al riego en los que ascensos y profundizaciones de los niveles freáticos ó aumentos y disminuciones del flujo de los ríos ocurrieron bajo regímenes climáticos normales apoyando la hipótesis de que dicha acción antrópica es su causa principal.

Los registros existentes en regiones bajo riego a partir de agua superficial indican alteraciones en el régimen de fluctuaciones de los niveles del agua subterránea (Smith et al., 2009, Pereira, 2010, Ortiz Maldonado y Carmona, 2008, Campos et al., 2008, 2009). Existen distintos antecedentes que reconocen los efectos del riego sobre el agua

subterránea que se asocian con diferentes cambios ambientales. Resultan más frecuentes las citas de estudios realizados en casos en que el ascenso de los niveles freáticos han causado significativos problemas sociales y económicos como consecuencia de anegamientos y salinización de suelos, entre otros en India, Pakistán o en el Valle de San Joaquín en California (Wilderer, 2010).

Las zonas llanas próximas a los cursos de aguas en regiones de climas áridos dependen para su crecimiento socioeconómico de las posibilidades de acceso al agua. La llanura aluvial desarrollada en el sector inferior del río Limay, es una importante área urbana y agrícola de nuestro país que ha crecido social y económicamente a partir de la implementación del riego producida por la derivación del agua del río Limay. En este caso es necesario conocer la sensibilidad del sistema hidrológico a las modificaciones introducidas y el alcance de los cambios en la recarga, regímenes y calidad del agua subterránea.

Un conocimiento adecuado del comportamiento de las aguas superficiales y aguas subterráneas, tanto en sus términos someros como profundos, resulta cada día más importante, no sólo para una correcta planificación del uso del agua sino también para prevenir cualquier alteración cuali – cuantitativa del recurso hídrico.

A su vez debe considerarse que el impacto global con especial referencia a las características generales de la recarga y en la calidad del agua del sistema subterráneo, han recibido escasa atención en la literatura (Todd, 2005). En el sector inferior de río Limay se trata de un proceso de recarga artificial no planificado y acerca de ello debe tenerse en cuenta que en nuestro país existen deficiencias en el conocimiento del régimen hidrodinámico e hidroquímico, lo cual es característico en un territorio que se debe considerar como un “país nuevo” (Sala, 1983).

En las últimas décadas, los avances tecnológicos, las características de las inversiones y la participación de los beneficiarios en los proyectos de uso y manejo del agua (Llamas, 2002) han permitido reconocer la importancia de cuantificar los cambios que se producen en el sistema hidrológico subterráneo, en los cuales la capa freática juega un papel de importancia.

Contar con una caracterización del sistema hídrico subterráneo acorde con la escala propuesta para el análisis y además realizar una evaluación y diagnóstico de las actividades socio económicas permitirá definir líneas de actuación que considerando la situación presente -planificación-, orienten el gerenciamiento en horizontes futuros -gestión- y realizando un uso sostenible de las reservas hídricas preservando su condición de recurso -protección (Tujchneider et al., 2002).

## 1.2. Área de estudio

Se ha seleccionado como área de estudio la llanura aluvial del valle inferior del río Limay, en el sector próximo a la confluencia con el río Neuquén, entre Plottier y Neuquén (Figura 1.1).

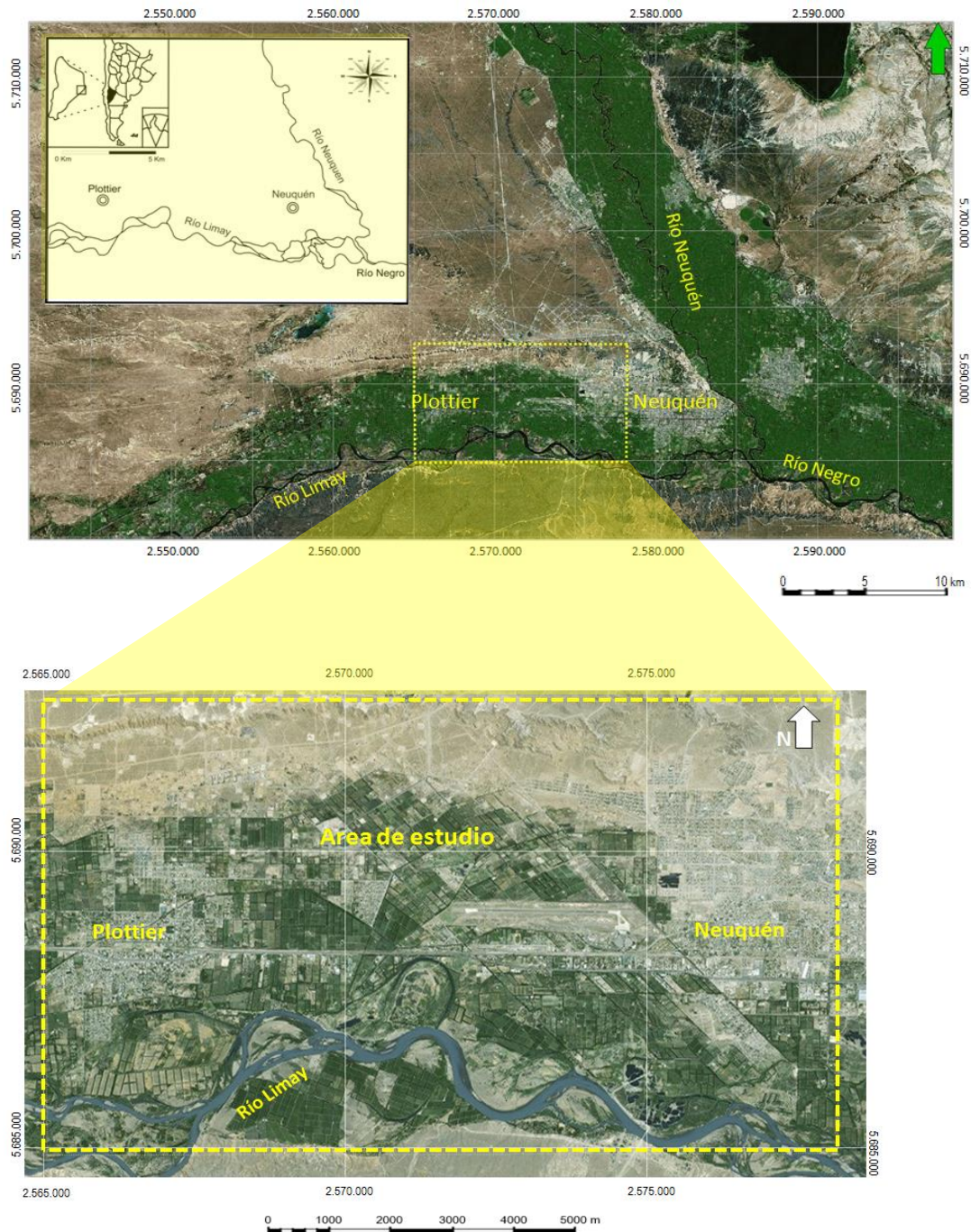


Figura 1.1 Ubicación del área de estudio

El sector presenta un fuerte desarrollo agrícola, donde los principales cultivos son frutales de pepita, asociado a una elevada concentración de actividades urbanas con

una importante densidad poblacional, es un sector de expansión de la urbanización de la ciudad de Neuquén, en el cual además se sitúa el Aeropuerto de esta ciudad.

El rasgo geomorfológico dominante en la zona es la llanura aluvial, que incluye a la acción actual y pasada del río Limay. Limita al norte con un relieve más elevado, conformado por los afloramientos del Grupo Neuquén y al sur por el río Limay.

El clima es árido y el balance hídrico en términos anuales resulta deficitario en cuanto a sus posibilidades de excesos que posibiliten la recarga natural del agua subterránea.

Desde principios del siglo XX existe en la zona una red extensa de canales de riego, con agua derivada del río Limay, que excepto en los meses de invierno se encuentran en permanente funcionamiento. Su finalidad es la provisión de agua necesaria para la explotación frutihortícola que se desarrolla en el área.

Las características del medio físico y las actividades antrópicas asociadas han permitido elegir esta zona de estudio como adecuada para efectuar las experiencias acerca del funcionamiento del agua subterránea somera y profunda.

### **1.3. Objetivos e hipótesis más relevantes**

El objetivo general de la investigación fue determinar las leyes y particularidades que rigen el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de las aguas subterráneas en un ambiente llano restringido arealmente y sometido a condiciones climáticas áridas. El ámbito de estudio es la llanura aluvial del sector inferior del río Limay, donde las condiciones naturales se encuentran modificadas por la actividad antrópica, entre las que se destaca la relacionada con el riego con fines agrícolas. Para cumplir con el objetivo general se presentaron los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar las características hidrodinámicas e hidroquímicas del agua subterránea.
- Reconocer el régimen del agua subterránea y su relación con las condiciones naturales y antrópicas, enfatizando en las condiciones de la capa freática.
- Definir un modelo conceptual y uno matemático que respondan a situaciones hidrológicas, reconociéndose aquellos correspondientes a los estados influenciados por el riego.
- Plantear las probables respuestas del régimen y calidad de las aguas subterráneas y superficiales frente a modificaciones en el uso de los recursos hídricos.

Se postula como hipótesis de trabajo que la capa freática, desarrollada en un medio de alta permeabilidad, constituye el elemento activo del sistema de aguas subterráneas, mostrando una vinculación directa con los procesos del ciclo hidrológico actual.

Además la recarga, el régimen y las características químicas de la capa freática están influenciadas por los aportes pluviales de escasa magnitud y principalmente por los excesos de agua derivados del riego.

En las condiciones actuales existe un flujo subterráneo hacia la planicie de inundación del río Limay, que se caracteriza por presentar un régimen particular, ya que sus caudales son regulados mediante el manejo de los distintos embalses construidos en su tramo medio.

Las características geológicas permiten plantear que los cambios antrópicos actuales no afectarían el agua subterránea profunda.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Metodología**

La base metodológica aplicada fue la observación, medición y análisis de los procesos hidrológicos naturales o influenciados por los efectos antrópicos. A partir de ese conocimiento se planificó el análisis de datos hidrológicos, se valoraron los cambios relacionadas con las actividades del hombre y se planteó el modelado conceptual de los procesos más relevantes.

Se buscó comprender adecuadamente el comportamiento del ciclo del agua en distintas escalas espaciales y temporales, contemplando en primera instancia un análisis global en un marco regional, y luego en sucesivas aproximaciones los de mayor detalle.

A través de procedimientos inductivos, deductivos y analógicos se trató de verificar las hipótesis planteadas y se infirió su validez en el comportamiento del agua subterránea en la región.

Las tareas desarrolladas tendieron a satisfacer los objetivos planteados, a partir del tratamiento de los procesos hidrológicos regionales, de la cuantificación de dichos procesos a nivel del área de estudio, y de la modelación conceptual y matemática. Los procedimientos empleados incluyeron tareas de campo y gabinete. A partir de las primeras se obtuvo la información básica y se efectuaron experiencias y verificaciones de las metodologías planteadas. Las técnicas de gabinete incluyeron el análisis de datos, desarrollo de modelos de aplicación de la información, procesamiento e interpretación de datos obtenidos.

### **2.2. Tareas realizadas**

Se plantearon distintas escalas de trabajo. La primera de ellas fue la caracterización regional de los procesos hidrológicos. En este caso se reconocieron los rasgos más significativos desde un punto de vista del recurso hídrico subterráneo, así como también su implicancia hidrológica de acuerdo a la base cartográfica disponible, imágenes de diferentes tipos de sensores remotos y reconocimientos de campo.

Esta etapa incluyó, la recopilación, valoración e interpretación de información antecedente, análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales, elaboración de cartografía geológica (superficie y subsuelo) y geomorfológica, evaluación de datos de precipitaciones, de caudales y alturas hidrométricas, evaluación regional del comportamiento de aguas subterráneas y aguas superficiales sobre la base de la información antecedente y relevamientos generales de campo.



Posteriormente se procedió a establecer una red de medición y muestreo periódico del acuífero freático en el área de estudio. Se efectuó el análisis de información hidrometeorológica disponible (precipitación, temperatura) y se elaboraron balances hidrológicos. Luego se definieron los parámetros que rigen el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de las aguas subterráneas y los distintos grados de afectación por la actividad del hombre, en especial relacionado con el riego.

Se identificó la información secundaria disponible de todos los factores que pueden afectar directa o indirectamente al comportamiento de aguas subterráneas. Las tareas abarcaron relevamientos de campo, la interpretación de imágenes satelitales y la correspondiente elaboración cartográfica. Ello permitió caracterizar los usos de la tierra, usos del agua, riego y extracción de agua subterránea y magnitud de las redes de canales. Todos estos datos se integraron en plataforma Petrel Versión 2015.2 (Schlumberger, 2015)

Se confeccionó un modelo conceptual del comportamiento hidrodinámico e hidroquímico de la capa freática, donde se incorporaron aquellos datos de observación directa obtenidos en la zona de estudio. A partir de ello se pudo verificar la influencia de las distintas relaciones existentes con el flujo y la calidad química del agua subterránea.

Luego se realizó la aplicación de modelos para la simulación del flujo de agua subterránea. Se planteó un sistema de seguimiento y escenarios de situaciones hidrológicas, de acuerdo al empleo de las diferentes técnicas utilizadas para la ejecución de los balances hidrológicos, aportes del riego y de las precipitaciones y datos de la medición periódica de niveles freáticos. Se incluyó la simulación de probables respuestas del régimen subterráneo frente a variaciones en el uso del agua. Además se estableció la posibilidad de extrapolación de resultados a regiones carentes de información que presenten similares características en la conformación del medio físico.

### **2.3. Materiales y procedimientos**

Se presentan los principales procedimientos y las técnicas utilizadas en forma general para alcanzar los objetivos del trabajo. Debe señalarse que en aquellos ítems en los que el desarrollo metodológico es parte del trabajo de investigación, la descripción detallada de la técnica se efectúa en el capítulo correspondiente.

### **2.4. Evaluación de antecedentes**

La recopilación, valoración y evaluación de la información antecedentes abarcó numerosos trabajos, informes y datos de distintas temáticas relacionadas con el objeto

de la investigación y de variable procedencia. Incluyó documentación publicada ó inédita proveniente de organismos nacionales, provinciales y privados.

En este caso se destacan aquellos que resultaron de mayor significación para el análisis que se efectúa. Por ejemplo, la descripción socio económico se realizó a partir del Informe Sintético por Provincias, elaborado por la Dirección Nacional de Relaciones Económicas con las Provincias (DINREP, 2015) donde se presenta la estadística de Neuquén, en relación a sus características socio –productivas. También deben señalarse los datos aportados por el Inventario de Recursos Naturales, (Programa de Asistencia Técnica para el desarrollo minero Argentino) (IRN, 2015) dependiente de la Secretaría de Minería de La Nación. Esta información fue la base para la caracterización regional elaborada.

Los estudios geológicos de la Provincia del Neuquén son numerosos y presentan una gran variedad. Una síntesis de dicha información fue publicada en los congresos geológicos y los relatorios correspondientes, realizados en la provincia en 1978 y 2011

Se analizaron especialmente los textos de Garrido (2010) acerca de: Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico y Garrido (2011) sobre El Grupo Neuquén (Cretácico Tardío) en la cuenca neuquina. Sedimentología y Paleoambientes del Subgrupo Río Colorado (Cretácico Superior), Grupo Neuquén, en las bardas de la ciudad de Neuquén y alrededores. (Sánchez et al., 2006).

Por otra parte, como antecedente geomorfológico básico se deben hacer referencia a González Díaz y Ferrer (1986) en su trabajo: Relevamiento y Priorización de Áreas con Posibilidad de Riego. Estudio Regional de Suelos. Geomorfología de la Provincia del Neuquén.

#### 2.4.1. Caracterización geológico – geomorfológica

La interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas permitió el mapeo de unidades geológicas y geomorfológicas de la región, que fueron reconocidas y caracterizadas en los trabajos de campo.

Se utilizó la cartografía de base aportada por el Instituto Geográfico Nacional a escalas 1:250000 (Hoja 3969-II), 1:100000, Hoja 3969-17. (Figura 2.1). Se analizaron fotografías aéreas de distintos sectores a escala 1:50000 del año 1972.

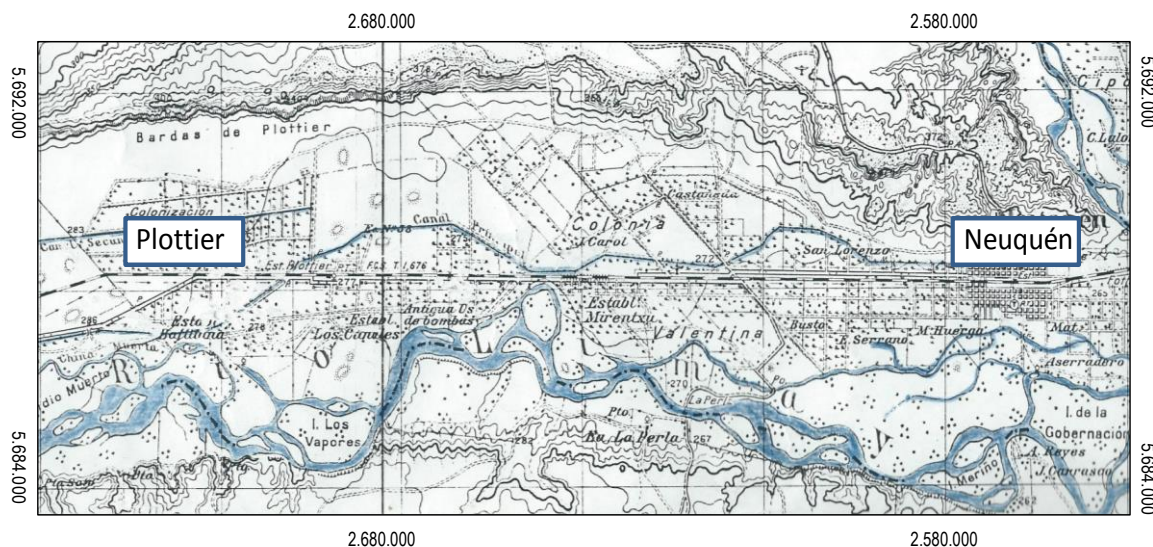


Figura 2.1 Carta Topográfica, escala 1:100000 IGN

En la caracterización geológica general se utilizó, la Hoja Geológica 3969-II Neuquén Provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. (Rodríguez et al., 2007)

Para la evaluación de detalle se empleó una imagen IKONOS (2009) procesada mediante realce radiométrico y espacial. Dicho satélite posee imágenes de alta resolución espacial, 1m en el modo pancromático y 4 m en modo multiespectral. También se utilizaron imágenes satelitales obtenidas a través de Bingmaps.com. (2013 a 2015)

Se realizaron tareas de relevamiento geológico – geomorfológico que incluyeron la verificación y reconocimiento tanto de la extensión y las características sedimentológicas de los depósitos modernos de la planicie aluvial del río Limay como de los afloramientos del Grupo Neuquén.

#### 2.4.2. Análisis hidrometeorológico

Se analizó e interpretó la información aportada por la estación climatológica Neuquén Aero (Lat. 38°58' S; Long. 68° 08' W) ubicada a una altura de 271 m sobre el nivel del mar (msnm), operada por el Servicio Meteorológico Nacional y situada específicamente en el área de estudio (Figura 2.2). Se utilizaron datos mensuales de precipitación y temperatura desde 1900 a 2015 y datos de precipitación diaria desde 1959 hasta 2015.

Para la clasificación climática del área se utilizó la formulación de Thornthwaite (1948), que también permitió una estimación preliminar de la evapotranspiración potencial. Se estimó la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y la evapotranspiración del cultivo por el método de Blaney – Criddle modificada por FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977). A partir de ello se plantearon balances hídricos, prestandose especial atención en las

posibilidades de excesos de agua con capacidad de producir infiltración y la recarga del acuífero freático

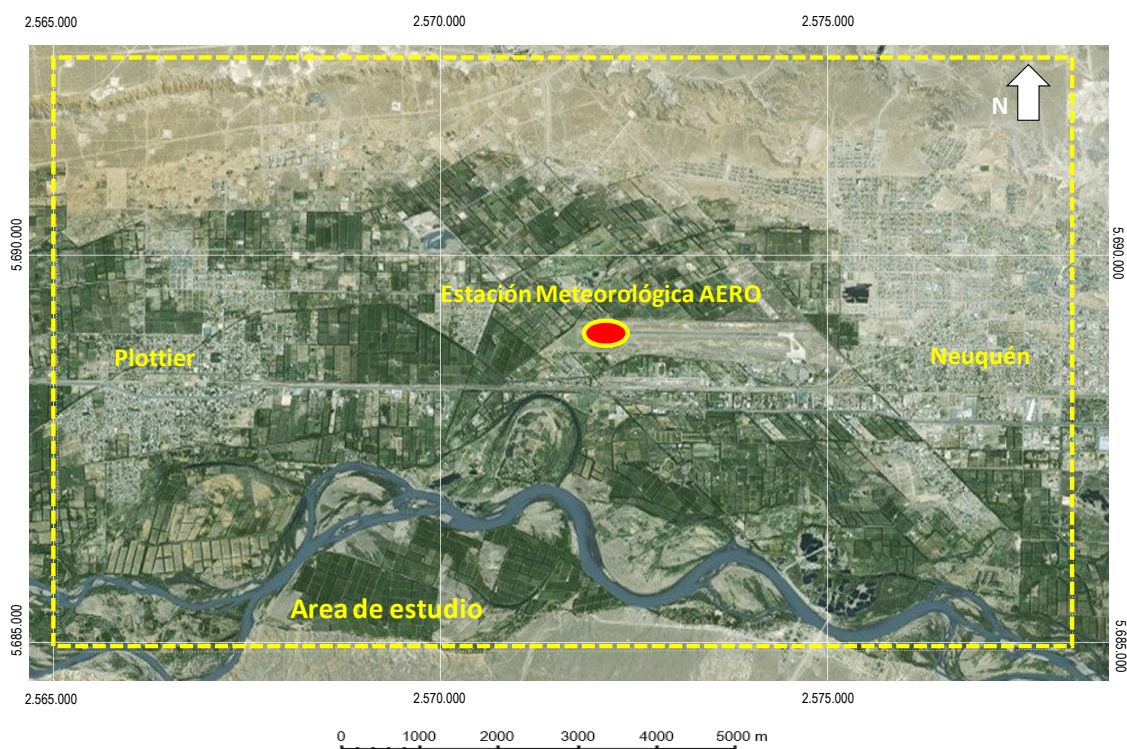


Figura 2. 2 Ubicación de la Estación climatológica Neuquén Aero

### Estimación de evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ )

La evapotranspiración del cultivo de referencia  $ET_0$  es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de  $70 \text{ s m}^{-1}$ , y un albedo de 0,23. Esta superficie es muy similar a una superficie de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. (Allen et al., 2006).

Los únicos factores que afectan la  $ET_0$  son los factores climáticos.

El método original de Blaney-Criddle (Blaney y Criddle, 1950) se basó en estudios de correlación entre la temperatura y el uso del agua en el oeste de EE.UU, con el fin de definir mejor los efectos del clima sobre la evapotranspiración.

La modificación de FAO del método de Blaney-Criddle es la siguiente:

$$ET_0 = a_b + b_b \times f$$

Donde

$ET_0$  = evapotranspiración de referencia en mm/día

f es el factor de uso consuntivo

$$f = P (0,46 t + 8,13)$$

t = temperatura media mensual °C    P= período considerado en días

Los valores de a y b, son incluidos en la publicación FAO-24 (Doorenbos y Pruitt, 1977) para distintas condiciones de humedad relativa, fracción de insolación y velocidad del viento.

Se utilizaron valores de temperatura de la estación Neuquén Aero y datos de insolación o resplandor total obtenidos por tablas para la latitud de dicha estación.

#### *Estimación de evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>)*

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>) se refiere a la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con buena fertilización, que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas de humedad en el suelo y el cual alcanza su producción total bajo ciertas condiciones climáticas (Allen et al., 2006)

La evapotranspiración del cultivo ET<sub>c</sub> se estimó como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET<sub>0</sub> y el coeficiente del cultivo K<sub>c</sub>.

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

Donde:

ET<sub>c</sub> es la evapotranspiración del cultivo [mm/día]

K<sub>c</sub> es el coeficiente del cultivo [adimensional]

ET<sub>0</sub> es la evapotranspiración de referencia [mm/día]

El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo, (Doorenbos y Pruitt, 1977) Se utilizaron los coeficientes de cultivo (K<sub>c</sub>) para frutales de pepita, por ser el cultivo predominante en el área.

#### *Planteo de balances hídricos*

El balance hídrico (1900-2010) se estimó a partir de las precipitaciones medias mensuales, desestimando precipitaciones menores a 8 mm, considerando la ET<sub>0</sub>

calculada y el  $K_c$  correspondiente a frutales de pepita para un período de riego de setiembre a abril. Se obtuvieron los valores de  $ET_c$  y déficit para los meses en los que se produce riego.

Se realizaron gráficos de la relación precipitación, exceso, déficit a nivel mensual. Al observar estos resultados parecería que la recarga en climas áridos a partir de la precipitación sería prácticamente imposible, sin embargo, existen antecedentes (Carrica, 2009, Hernández, et al., 2002; 2010, Álvarez, 2010) que muestran que al analizar el balance hídrico a nivel diario, se generan excesos de agua que formarían parte de la recarga de los acuíferos. En función de estos antecedentes se aplicó el software Balshort (Carrica, 1993) para el período 2000 -2010, para distintas capacidades de campo (50, 25 y 20 mm con el objeto de estimar los excesos para diferentes tipos litológicos) utilizando una reserva inicial igual a cero, textura arenosa y evapotranspiración potencial obtenida bajo el método Thornthwaite – Mather, (1955). Por las características litológicas de los sedimentos superficiales se escogió como más representativo el resultado obtenido a partir del valor de capacidad de campo de 20 mm.

#### 2.4.3. Caracterización de la hidrología superficial

##### *Particularidades de la Cuenca del río Limay*

Para la caracterización de la cuenca del río Limay se utilizaron los datos de la Base de Datos Hidrológica Integrada de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación dependiente del Ministerio de Obras Públicas (BDH I, 2015).

Adicionalmente se analizó distinta información aportada por la Dirección Provincial de Recursos Hídricos de la Provincia del Neuquén, entre ella se debe destacar el estudio de Prefactibilidad del Proyecto de dinamización productiva del valle inferior del río Limay (Lui, 2001) y Plan Maestro de Saneamiento Pluvioaluvional. (Halcrow, 2002).

Se han considerados numerosos trabajos, artículos, informes técnicos, que tratan temas específicos relacionados con el trabajo, especialmente referido a acuíferos libres en climas áridos, recarga por riego, relación aguas superficiales – aguas subterráneas, que son referenciados en el manuscrito y citados en las referencias bibliográficas.

Para el estudio del río Limay en el sector seleccionado, fue necesario conocer el funcionamiento de la cuenca en toda su extensión. Se analizaron los datos hidrométricos diarios del nivel del río, en la estación Balsa Las Perlas (Lat  $38^{\circ}58'57''S$  y Long  $68^{\circ}08'07''W$ ), situada en el área de estudio (Figura 2.3) desde 1959 hasta la actualidad. Se observaron las cuatro lecturas diarias disponibles (8:00, 12:00, 16:00 y 20:00 hs.) y se consideró para el análisis la correspondiente a las 8:00hs.



Figura 2.3 Ubicación de la estación hidrométrica Balsa Las Perlas

En función de datos de altura del río Limay y sus caudales correspondientes obtenidos del Plan Maestro de Saneamiento Pluvioaluvional (Halcrow, 2002), se calcularon las variaciones del nivel hidrométrico del río para el período analizado. La metodología específica se describe en el capítulo correspondiente a hidrología superficial.

#### Análisis del riego

Se reconoció mediante el análisis de las imágenes satelitales el sector dentro del área de estudio cubierto por las unidades productivas, a partir del riego, denominadas chacras. (Figura 2.4) Se determinó un área de 32 Km<sup>2</sup> sobre la cual se aplicó un riego de 1 L/ha/seg, obtenida del Informe Prefactibilidad del Proyecto de Dinamización Productiva del Valle inferior del río Limay (Lui, 2001) en un período de 15 días, durante los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril.

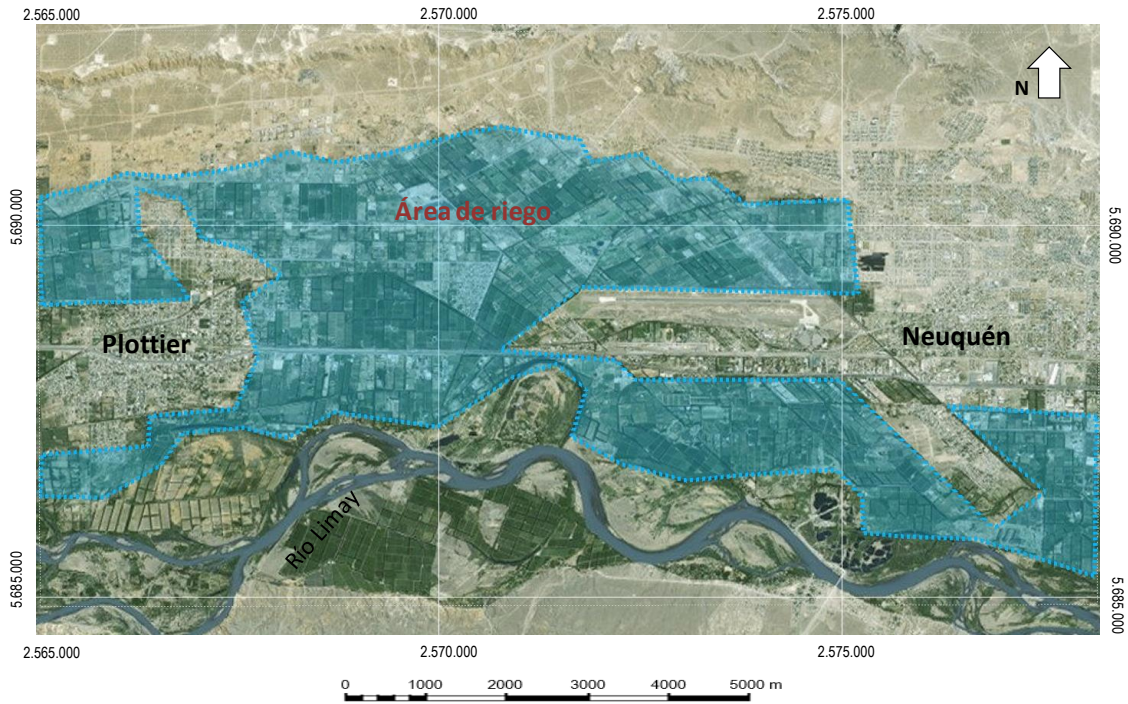


Figura 2.4 Área de riego.

El riego se produce a través de un sistema de canales de distinta jerarquía que recorren el área según el esquema que se muestra en la Figura 2.5. Finalmente el agua de riego llega a los cuadros de cultivo a través de las acequias que rodean las chacras.

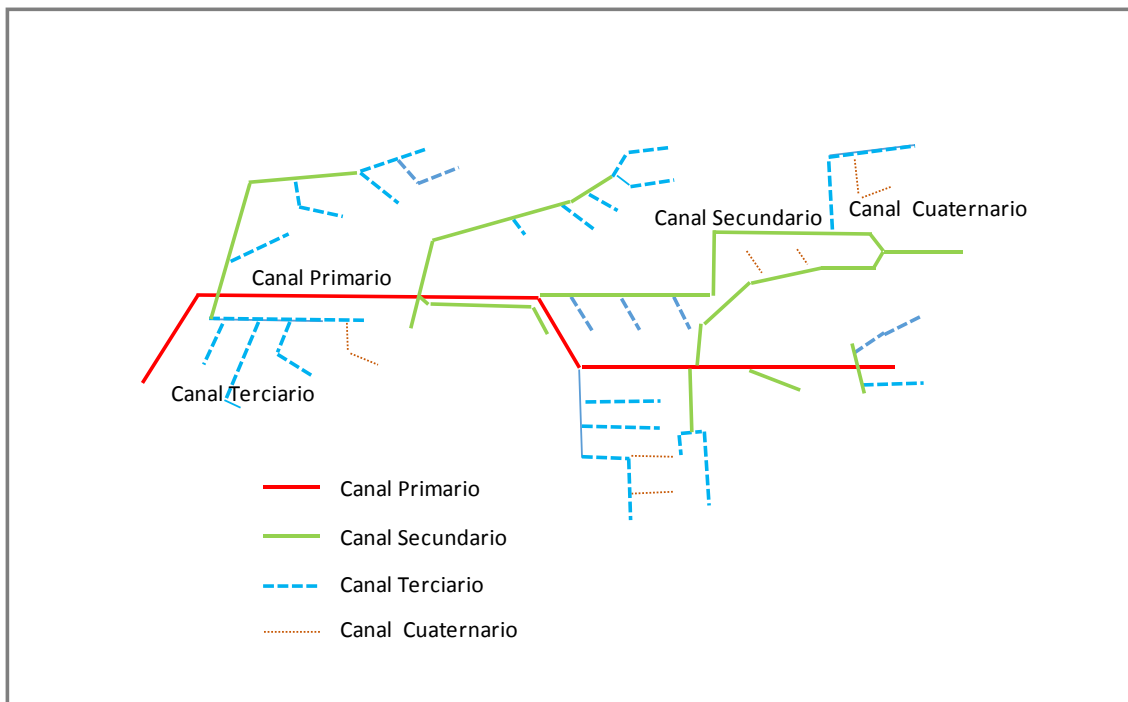


Figura 2.5 Esquema sin escala del sistema de canales del Valle inferior del río Limay (Tomado y modificado de Lui E., 2001)



#### 2.4.4. Interpretación hidrogeológica

Los datos de las características litológicas obtenidas al ejecutarse perforaciones de monitoreo (gravas con participación menor de arena gruesa como matriz y limos y arcillas en los depósitos de canales y meandros inactivos) permitieron contar con una descripción de las particularidades hidrogeológicas correspondientes al acuífero freático. En base a estas características y ensayos preliminares de campo se definieron los rangos esperables de los parámetros hidráulicos de esta unidad. A su vez estos parámetros se verificaron mediante la información disponible de estudios existentes en regiones geológicamente similares como Rodríguez et al., (2006), Marizza et al., (2009) y el modelo planteado para una zona con características clima árido (Álvarez et al., 2012)

Para una evaluación hidrogeológica de las sedimentitas del Grupo Neuquén (acuíferos profundos) se efectuó un análisis indirecto a partir de perfilajes y datos registrados en 25 perforaciones realizadas con fines petroleros. Para ello se extrajo información de los perfiles de potencial espontáneo (SP), de resistividad y de un perfil sísmico (DT) registrados en las unidades geológicas hasta alrededor de 500 metros de profundidad. Se definieron transectas de correlación estratigráfica-estructural, teniendo en cuenta la densidad de datos y la geometría del área. Para el procesamiento de los perfiles eléctricos y las estimaciones de salinidad a partir de estos, se utilizó el programa Interactive Petrophysics V.4.1 (LR Senergy, 2013).

A partir de los registros de SP y resistividad se calculó la curva de volumen de arcilla (VCL). En el pozo con registro sísmico se calculó la curva de porosidad efectiva y se determinó la Porosidad máxima (PhiMax) de las arenas más limpias es decir con VCL mínimo. Con el valor de PhiMax y VCL se estimó una porosidad efectiva en el resto de los pozos (Phi\_syn). El valor de resistividad de agua de formación se calculó mediante el método de resistividad de agua aparente,  $R_{wa}$ , (Schlumberger, 1986) y a partir de este se derivó la salinidad del agua expresada en ppm de NaCl equivalente.

La respuesta del SP y la Resistividad fue interpretada integrando la información de descripción litológica disponible de las perforaciones, y se complementó con la información geológica regional (Stinco, 2001). Donde no hay contrastes importantes de permeabilidad, los registros de SP carecen de relieve.

##### *Potencial espontáneo*

El rango de valores de SP varía entre 0 y pocos cientos de milivoltios (mV). Por convención se leen en términos de deflexiones positivas y negativas a partir de una línea

de base arbitraria, asociada a una formación de baja permeabilidad de considerable espesor (Todd y Mays, 2005). El desplazamiento respecto de esta línea base depende tanto de la permeabilidad de la roca, como del contraste de salinidades entre el agua de formación y el lodo de perforación. En intervalos estratigráficos conocidos, donde la permeabilidad y la porosidad de las arenas limpias son similares, se asume que la deflexión de la SP responde al contraste de salinidades.

### *Resistividad*

La resistividad aporta información acerca de la litología y de los fluidos de formación presentes en las rocas y sedimentos permeables. Las resistividades en las formaciones subterráneas son medibles y se deben al agua dentro de sus poros o al agua adsorbida en las arcillas. Dependen de la resistividad del agua de formación, la cantidad y salinidad de agua presente y la geometría estructural de los poros. Aunque no se pueden establecer valores específicos de resistividades para definir distintos acuíferos, en forma relativa, las lutitas, arcillas y arenas con aguas saladas dan valores bajos, las arenas con agua dulce dan valores moderados a altos y las arenas cementadas y calizas no porosas muestran valores muy altos. (Todd y Mays, 2005).

### *Perfil sónico*

El perfil sónico también llamado acústico registra el tiempo que requiere una onda sonora para atravesar un pie (0.304 m) de formación, lo que representa la lentitud o sea el inverso de la velocidad de la onda sonora. El tiempo de tránsito (DT) de una formación se expresa en microseg/m y depende de su litología y su porosidad la cual se deriva mediante relaciones empíricas (Katchikian, 2011).

### *Análisis de la resistividad y el potencial espontáneo*

Se analizó la relación entre la resistividad y la SP y se corroboró una correspondencia entre valores bajos de resistividad con valores de SP, más o menos continuos, sin deflexiones, correspondientes a los intervalos de baja permeabilidad.

### *Cálculo del volumen de arcilla*

Para el cálculo del volumen de arcilla (VCL) se utilizaron como indicador litológico combinado las curvas SP y Resistividad. (Figura 2.7)

La curva SP presenta escasa deflexión en todos los casos debido al escaso contraste entre las salinidades del filtrado de lodo (lodos agua-bentonita de baja salinidad) y el agua de formación. Este contraste hace que el trabajo de edición y normalización de la

curva SP se debe realizar sin producir alteraciones entre las relaciones de potencial arena-arcilla originales. Por el contrario, la curva de resistividad, por encontrarse menos afectada por los efectos de pozo no requirió mayor trabajo de edición.

En cada una de estas curvas se definió la línea base de lutitas y el valor de las arenas limpias, y a partir de estos se calculó para cada pozo un VCL según la curva SP (VCLSP) y otro de la curva de resistividad (VCLR). Como VCL resultante se tomó el mínimo de ambos valores.

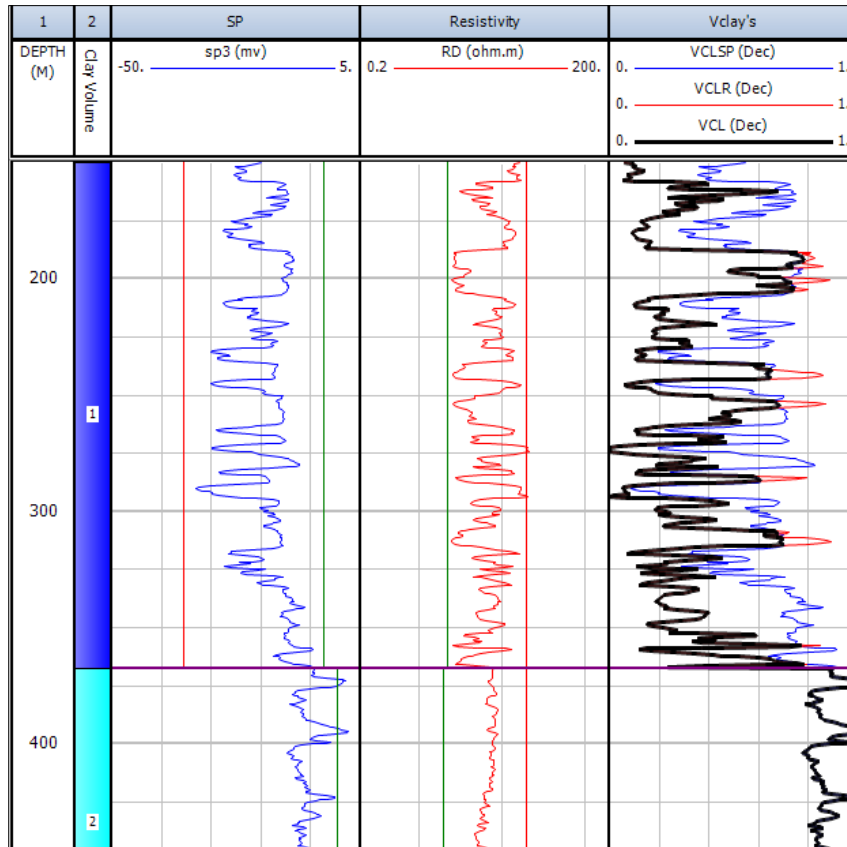


Figura 2.7 Ejemplo del cálculo de VCL en un pozo tipo.

### Cálculo de la porosidad

En el pozo con registro sísmico disponible, utilizado como pozo de calibración, la determinación de la porosidad se efectuó utilizando la relación no-lineal de Raymer-Hunt (Raymer et al., 1980) aplicable para arenas de baja consolidación con corrección por arcillosidad.

La distribución de valores de porosidad de las arenas en el pozo de calibración muestra un mínimo (P10) de 24% y un máximo (P90) de 35%. (Figura 2.8)

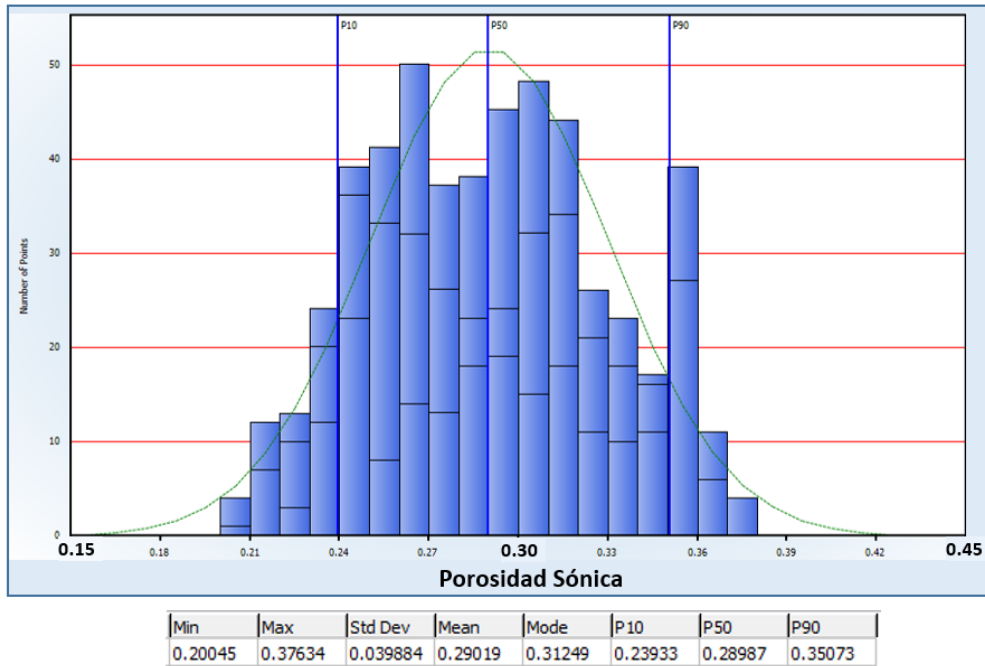


Figura 2.8 Histograma de porosidad sónica de las arenas en pozo de calibración

Si se tiene en cuenta que en el modelo de porosidad adoptado, la porosidad efectiva estará en relación inversa al contenido de arcilla (VCL) y considerando que los tipos de roca se mantienen homogéneos, en los 24 pozos restantes (sin registros sínicos u otro de porosidad) se calculó la porosidad efectiva utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Phi}_{\text{syn}} = (1 - \text{Vcl}) * \text{PHiMax}$$

Donde Phi\_syn es la porosidad efectiva sintética a partir de la porosidad máxima de arenas limpias o sea PhiMax = 35% en este caso y Vcl que es la arcillosidad calculada en cada pozo. (Figura 2.9)

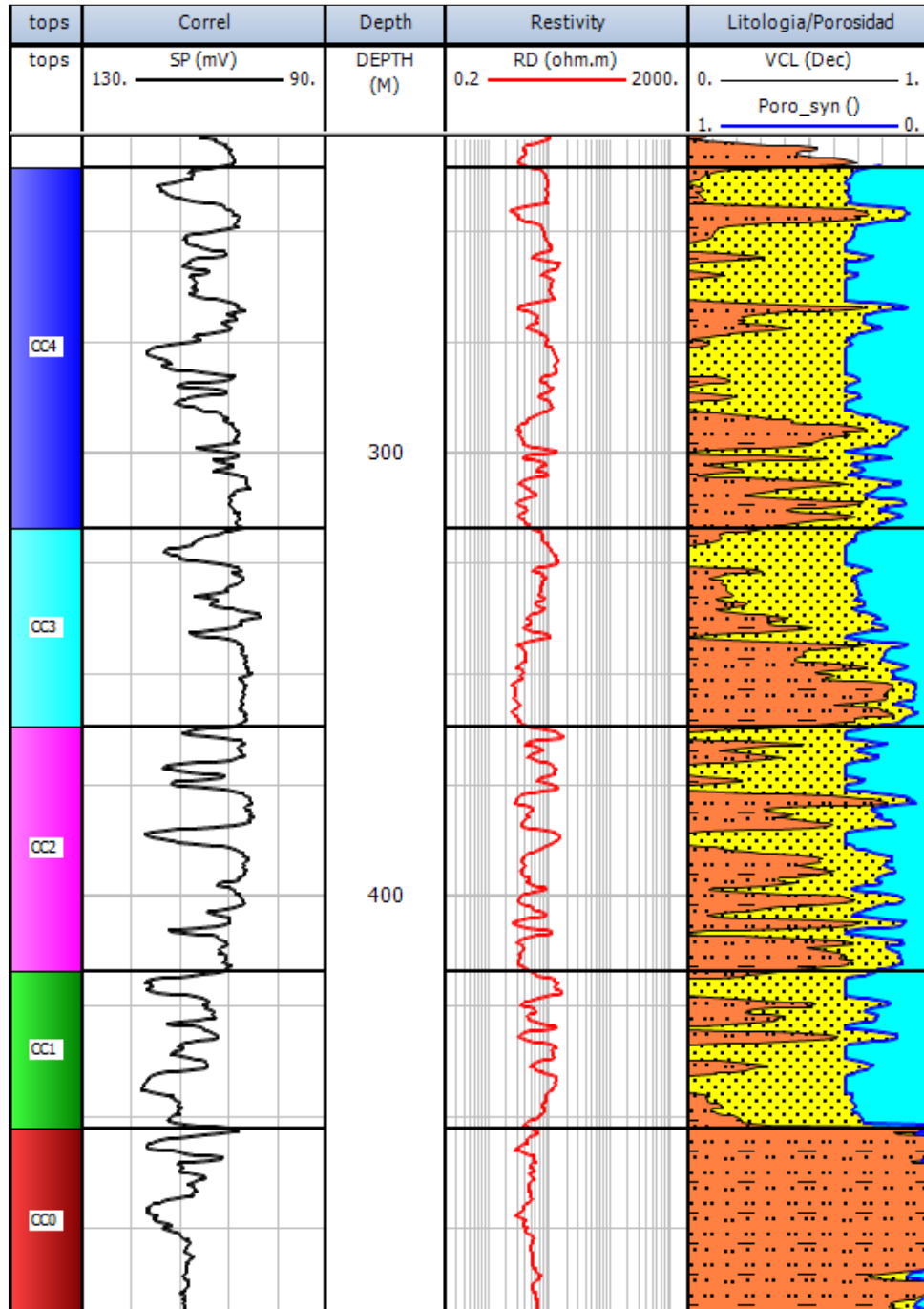


Figura 2. 9 Curvas de litología y porosidad en un pozo tipo. (Pista 5 del grafico)

*Estimación de la salinidad del agua de formación*

Para estimar la salinidad de agua de formación se utilizó el método llamado Rwa el que está basado en la ecuación de Archie (1942) de amplio uso en la industria petrolera.

$$\frac{1}{Rt} = \frac{\phi^m \times Sw^n}{a \times Rw}$$

Donde:

Rt: resistividad leída por los registros eléctricos, Ø: porosidad efectiva. Sw: saturación de agua

Rw: resistividad del agua de formación,  $m = 2$  exponente de cementación,  $n = 2$  exponente de saturación,  $a = 0.8$  (en arenas)

Si se considera que en el caso de las capas acuíferas la saturación de agua es 100% (Sw=1) el valor de Rw será el valor aparente de resistividad del agua de formación (Rwa).

Para estimar la salinidad del agua de los acuíferos, la curva de Rwa fue convertida a concentración de NaCl equivalente (curva SALNaCl) en las arenas más limpias utilizando la relación que surge de la tabla Gen-9 de Log Interpretation Charts de Schlumberger (1989). (Figura 2.10)

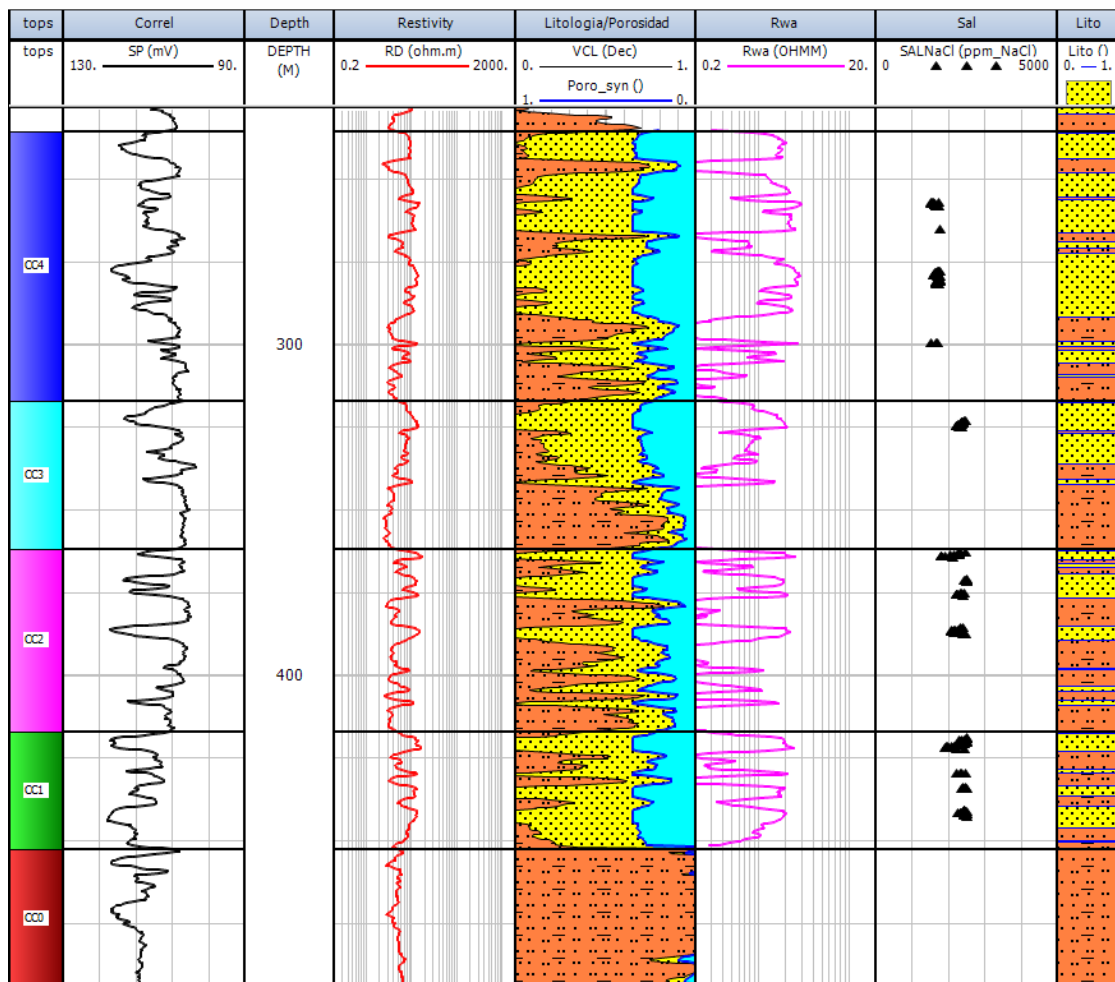


Figura 2.10 Curvas de Rwa (Pista 6) y Salinidad (Pista 7) en un pozo tipo

## 2.5. Evaluación hidrodinámica

La base fundamental para la evaluación hidrodinámica fueron los datos derivados de una red de monitoreo. Esta red se definió a partir de 2003 con una periodicidad mensual de medición de niveles del agua subterránea.

La red está constituida por un conjunto de freaímetros ubicados en distintos sectores del área de estudio (Figura 2.11). La red constaba inicialmente de 40 perforaciones cuya profundidad estándar fue de aproximadamente 10 metros bajo nivel del suelo. Para su construcción se utilizó una combinación de perforaciones por sistema a rotación y a percusión. Cada pozo se inició con el equipo rotativo utilizando una mecha helicoidal (gusano) y balde de rotación de 30cm, sin utilización de inyección de ninguna naturaleza. Mediante este mecanismo perforó hasta 5,5 m para instalar una cañería de maniobras de acero de 30cm. Luego se instaló un equipo a percusión. Mediante este procedimiento y en base a tareas de cuchareo y percusión con martinete, se perforó e instaló la cañería de maniobras de acero de 25,4 cm hasta la profundidad final del pozo. Posteriormente extrajo la cañería de 30 cm y, en ocasiones instaló otra de 20 cm. Luego retiró la cañería de 25,4 cm y bajaron los filtros.

La primera etapa de construcción del pozo concluyó con la instalación del paquete de grava hasta boca de pozo, el retiro de la cañería de maniobras y el retiro de la máquina de perforación. Algunos pozos, por razones operativas se engravaron con cañería de 25,4 cm de diámetro.

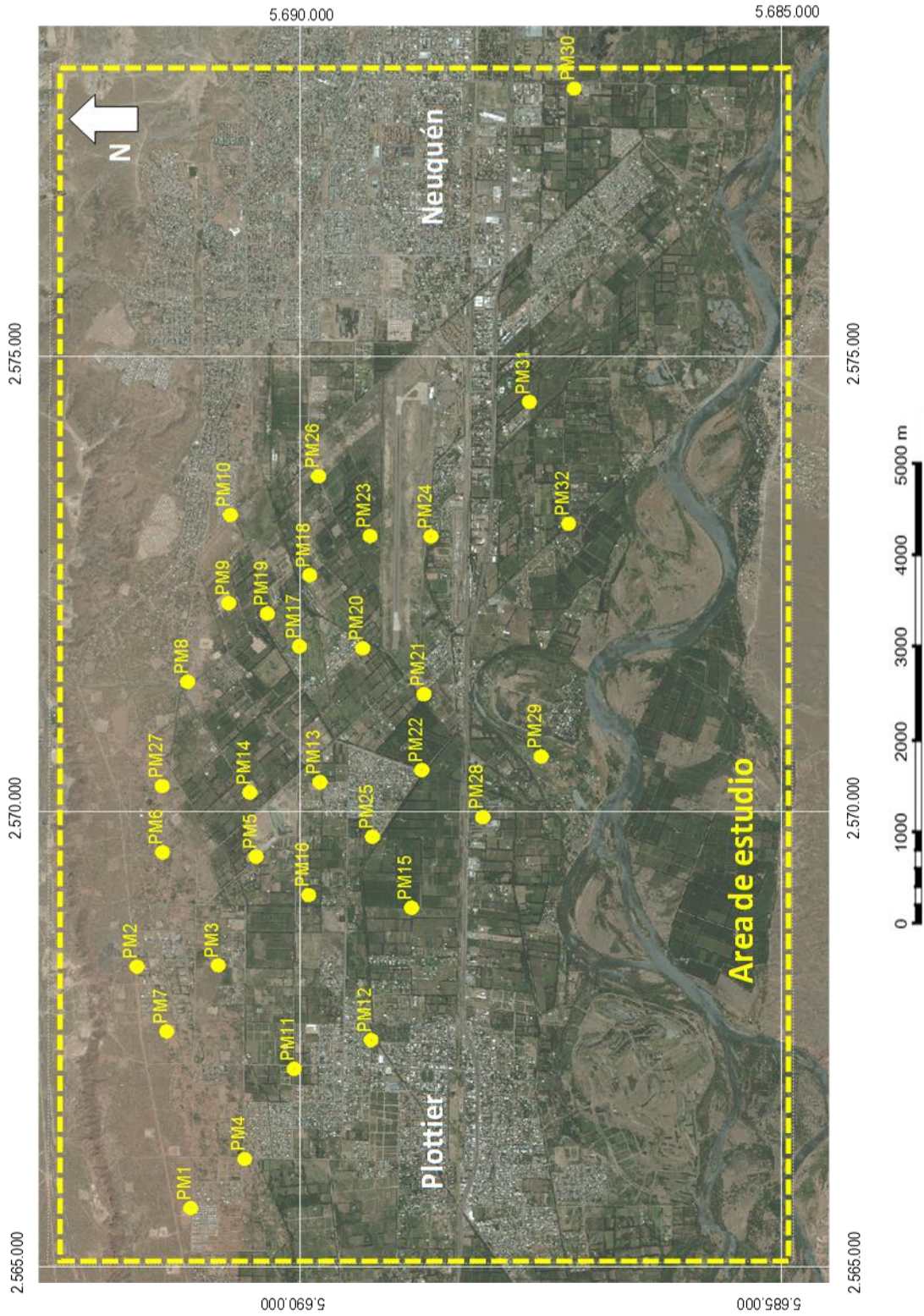


Figura 2.11 Ubicación de freáticos. Red de monitoreo

Se relevó la información de datos mensuales correspondiente al período abril - 2003 a diciembre - 2005. Se interpretaron las variaciones de los niveles freáticos en cada pozo,



lo que permitió reconocer diferencias de comportamiento, identificándose las distintas respuestas en función de las variables hidrológicas.

Se confeccionaron mapas equipotenciales para todos los meses del período analizado. Se reconoció que el año hidrológico se desarrolla a partir de agosto en que se registran los mínimos potenciales hidráulicos, que alcanzan su máximo valor en octubre. Se realizaron mapas de isopropundidad para cada mes. Se definieron las características de la recarga del sistema subterráneo, estableciendo las diferencias en el ingreso de agua derivado del riego y de la precipitación.

Los volúmenes de recarga y descarga se estimaron a partir del método de fluctuación de los niveles freáticos. (Healy y Cook, 2002). El ascenso de nivel del agua subterránea en acuíferos libres es debido al agua de recarga que llega al nivel freático, y se calcula como:

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Donde  $S_y$  es el almacenamiento específico,  $h$  es el nivel freático y  $t$  el tiempo.

Para que esta ecuación sea considerada válida se asume que el agua que llega al nivel freático pasa a integrar el flujo subterráneo, que no existe conexión hidráulica con los sedimentos del Grupo Neuquén que lo subyacen, que la evapotranspiración real desde el nivel freático no es significativa y que otras salidas o entradas al sistema subterráneo son constantes.

## 2.6. Caracterización hidroquímica

Se realizó una estimación de salinidad en los acuíferos profundos (Grupo Neuquén) a través de la metodología indirecta descrita en el ítem interpretación hidrogeológica.

La caracterización hidroquímica de mayor detalle corresponde al acuífero freático. Para ello se realizaron muestreos a partir de abril de 2003. Los puntos de muestreo corresponden a los freatómetros, a los canales de riego, de drenaje y al río Limay.

Se efectuaron muestreos trimestrales en abril, julio, octubre de 2003. Posteriormente se realizaron análisis químicos en abril y julio de 2004 y enero y julio de 2005. Además se realizaron determinaciones de flúor y arsénico en 2006 y 2007

Debido a la alta permeabilidad que caracteriza al medio, el procedimiento de la extracción de muestras de agua subterránea incluyó una purga del pozo con bailer y luego se colectó la muestra con el mismo bailer para su posterior análisis.

En las tareas de campo se determinó la temperatura del agua, el pH y la conductividad eléctrica. En laboratorio se analizaron las propiedades físico-químicas: conductividad, alcalinidad, dureza, TDS, pH, elementos mayoritarios (cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sodio, calcio, magnesio), elementos minoritarios y traza (flúor, manganeso, sílice, potasio, nitrato, nitrito, arsénico)

En la Tabla 1 se detallan los elementos analizados y los métodos analíticos utilizados.

*Tabla 1 Elementos químicos analizados y métodos analíticos utilizados*

Párametro	Unidad	Método
pH	UpH.	SM 4500-H B
Conductividad a 25°C	µS/cm.	SM 2510 B
Sólidos Totales	mg/l.	SM 2540-B
Sólidos Disueltos Totales	mg/l.	SM 2540-C
Dureza	mg/l.	SM 2340-B
Bicarbonato	mg/l.	SM 2320 B
Carbonatos	mg/l.	SM 2320 B
Fluoruros	mg/l.	SM 4500-F C
Cloruros	mg/l.	SM 4500-Cl B
Sulfato	mg/l.	SM 4500-SO4 E
Nitrato	mg/l.	SM 4500-NO3 B/D
Nitrito	mg/l.	SM 4500-NO2 B
Sodio	mg/l.	EPA 3005/7770
Potasio	mg/l.	EPA 3005/7610
Calcio	mg/l.	EPA 3005/ 7140
Magnesio	mg/l.	EPA 3005/7450
Arsénico	mg/l.	EPA 3020/7060
Manganeso Total	mg/l.	EPA 3005/7460

La elaboración e interpretación de los resultados de las determinaciones químicas consistieron en un análisis estadístico y la construcción de gráficas, con la utilización del programa Aquachen 2014,2 (Waterloo Hydrogeologic, 2015). La finalidad fue definir la calidad química del agua superficial y subterránea. Se elaboraron gráficos de Piper Hill (1944), que se basan en la representación en diagramas ternarios de los cationes y aniones de varios análisis químicos, expresados en meq/l, trasladando cada punto a un rombo síntesis central, donde pueden advertirse agrupamientos familiares y comportamientos asociables a la evolución química. Se seleccionó este tipo de gráfico por admitir la representación de varias muestras por diagrama y por permitir contrastar las diferencias o similitudes entre varios tipos de aguas.

Además se confeccionaron diagramas de columnas verticales Shoeller – Berkaloff que consisten en gráficas donde se disponen varias semirrectas verticales paralelas igualmente espaciadas. A cada semirrecta se le asocia un anión o un catión y se representan, a partir de un origen, segmentos proporcionales a la concentración en meq/L sobre un eje logarítmico. Los diferentes puntos obtenidos se unen dando una línea quebrada, que permite conocer la relación entre los iones. La ordenación normal de las columnas de iones de izquierda a derecha es Ca, Mg, Na, Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>H.

Como criterio de clasificación del agua en función de su dureza, se aplicó la clasificación en aguas blanda y con distinto grado de dureza, según propone Custodio y Llamas (1983), detallado a continuación (Tabla 2):

*Tabla 2 Clasificación de aguas según su dureza (Custodio y Llamas, 1983)*

<b>Rango Dureza (mg/LCaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Menor a 50</b>	Blanda
<b>50 a 100</b>	Ligeramente dura
<b>101 a 200</b>	Moderadamente dura
<b>Mayor a 200</b>	Muy dura

Las relaciones iónicas y las determinaciones de índices de saturación y factores de evaporación se efectuaron con el programa NETPATH (Plummer et al 1991).

Para analizar la distribución areal de los principales elementos que intervienen en la composición química de las aguas subterráneas se confeccionaron mapas de conductividad e isocontenidos iónicos para cada uno de los períodos analizados.

Al contar con mayor información, se analizaron estadísticamente en especial el flúor y el arsénico con el objeto de definir una línea de base natural respecto de sus contenidos. Se asume que esta línea de base (o fondo natural) de la calidad del agua subterránea está definida por aquellas condiciones físico-químicas propias que derivan de procesos puramente naturales (Manzano et al., 2003). Cualquier efecto sobre la calidad del agua podrá evaluarse por comparación con esa línea de base. Se debe tener en cuenta que la línea de base a definir está en función de los datos disponibles. La metodología para la estimación del fondo natural depende de las concentraciones características (medias o medianas) de los distintos componentes y su distribución en torno a esos valores. Para la determinación de la línea de base ambiental, se adoptó el criterio de definirla, como la concentración correspondiente a la mediana (percentil 50%) como fondo natural de referencia y la concentración correspondiente a los percentiles 2,3% y 97,7% como

límite o umbrales inferior y superior, con lo que se asegura que el 95.4 % de la población se considera en este rango. (Manzano et al., 2003)

Con el objeto de clasificar las aguas subterráneas según su aptitud para riego se utilizó el método de Clasificación de la U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) Índice SAR (Sodium adsorption ratio).

La clasificación se basa en las siguientes características:

1.- La concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica (CE) en micromhos/cm a 25 °C.

2.- La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada índice SAR, que se calcula de la siguiente manera:  $r = mq/L$

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}}$$

Se establece la clase de agua en función del riesgo de salinización (mediante la C.E.) y alcalinización (mediante el S.A.R.) Se establecen 16 categorías de clases de aguas según las letras C y S. (Figura 2.12).

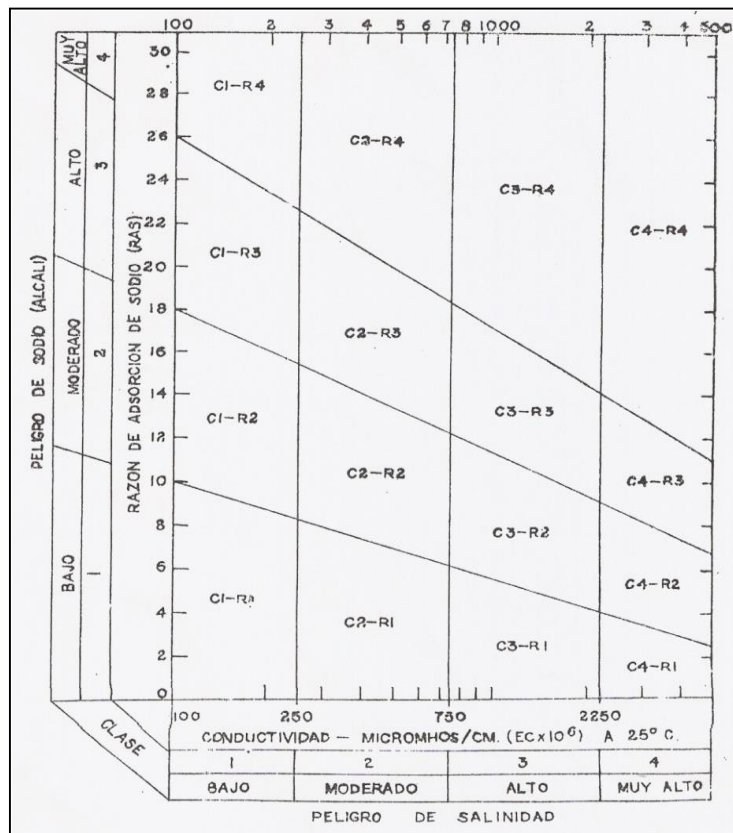


Figura 2.12 Diagrama para la clasificación de agua para riego según el procedimiento de U.S. Salinity Laboratory Staff

## 2.7. Modelación matemática

El modelo conceptual de flujo del agua subterránea, ha sido representado en un modelo matemático empleando el código de simulación USGS Modflow 2005 (Harbaugh, 2005) utilizando la plataforma de Visual Modflow Flex V.2015.1 (Waterloo Hydrogeologic, 2015) en diferencias finitas, bloque centrado, densidad de flujo constante y propiedades dentro de cada celda consideradas como homogéneas.

Se planteó el modelo matemático en función del modelo conceptual del funcionamiento hidrológico definido de acuerdo a la caracterización hidrogeológica de la región. Debe señalarse que las particularidades del modelo matemático se describen en el capítulo correspondiente.

Se propusieron dos situaciones como escenarios posibles, respetando la geometría de la grilla, las propiedades hidráulicas y las condiciones de borde del modelo matemático original.

Una situación sin riego, recarga del acuífero solo por excesos de la precipitación y otro escenario en la que el riego aumentara en un 50 % el volumen actual. El detalle del comportamiento del sistema subterráneo (acuífero freático) en los distintos escenarios se describe en los capítulos 12 y 13.

### 3. CARÁCTERÍSTICAS GENERALES

#### 3.1. Contexto regional

Se presenta una caracterización general de la Provincia del Neuquén con el objeto de dar un marco de referencia regional a la interpretación del comportamiento del agua subterránea en el área de estudio.

Esta provincia se ubica en el centro oeste del país, específicamente en el noroeste de la Patagonia Argentina en la confluencia de los ríos Neuquén y Limay. Limita al norte con la provincia de Mendoza, al este con La Pampa y Río Negro, al sur con Río Negro y al oeste con la cordillera de los Andes. (Figura 3.1) Se distinguen dos paisajes bien diferenciados: el oeste montañoso con abundantes lluvias y lagos y la porción oriental o meseta patagónica, muy árida.

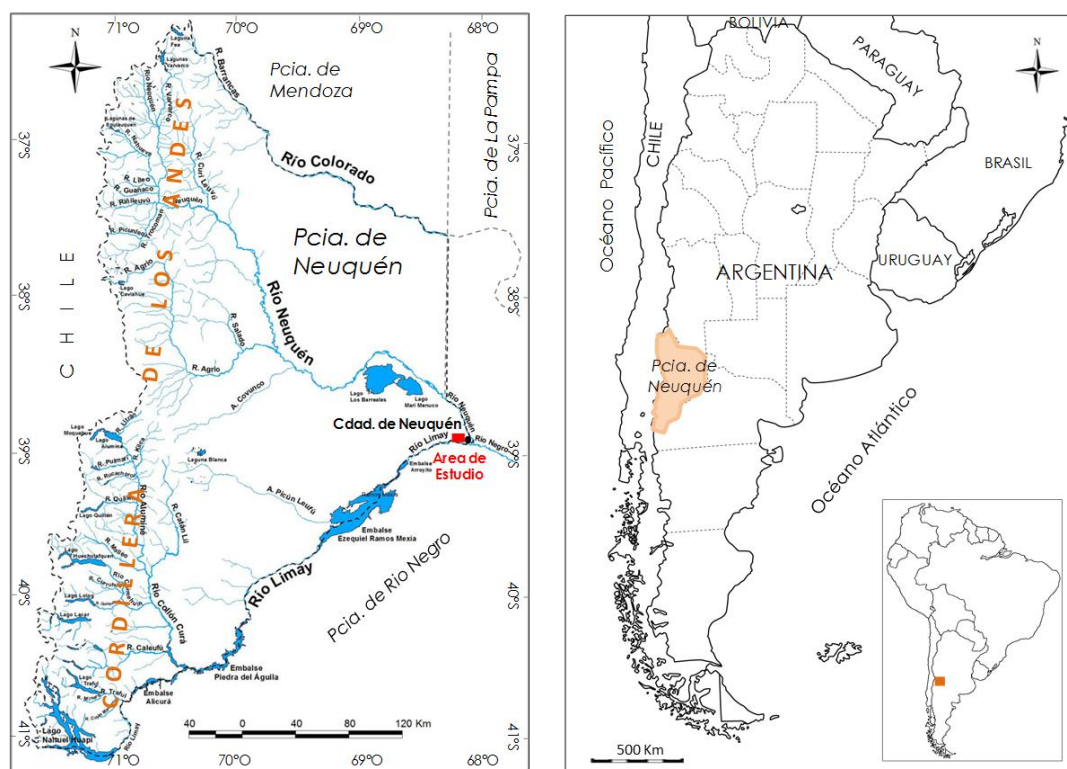


Figura 3.1 Ubicación de la Provincia del Neuquén

De acuerdo al último censo de población de 2010 (INDEC, 2010), habitaban en Neuquén 551 mil personas, apenas el 1,4% del total del país; no obstante, se destaca que entre 2001 y 2010 el crecimiento poblacional fue del 16%.

La extracción de hidrocarburos es una de las actividades productivas más importantes en la provincia, y además posee capacidad para refinar parte del petróleo crudo que extrae, obteniendo gasoil, productos pesados (aceites, parafinas y betunes) y nafta para

consumo de la industria petroquímica y exportación. En Neuquén existen seis centrales hidroeléctricas, que generaron en 2012 el 13% de la energía eléctrica nacional. Dentro del sector agropecuario se destaca el complejo frutícola de manzanas y peras, que son exportadas y, en menor medida, la producción vitivinícola. El sector del turismo también tiene relevancia en la economía provincial.

#### *a. Condiciones climáticas*

El clima de la provincia del Neuquén es continental, frío y seco, con estación templada, a excepción del sudoeste, que es frío y húmedo.

En la zona de la cordillera, la temperatura media anual varía entre 8° y 10° C, siendo los veranos frescos e inviernos fríos con nevadas intensas y abundantes precipitaciones, en menos de 100 km se pasa de 200 mm a más de 1000 mm. En algunas áreas del sur de la provincia, los valores pueden superar los 4000 mm anuales.

En la zona este (meseta patagónica), donde se desarrolla específicamente el área de estudio, las temperaturas medias anuales varían entre 13° y 15°C. En el verano las máximas pueden alcanzar 40°C durante el día, mientras que las noches son relativamente frescas. El promedio de precipitaciones del orden de los 200 mm. Los vientos son moderados a fuertes aumentando en intensidad hacia el sur, lo que constituye un factor adicional de aridez ya que favorece la evaporación en un contexto de escasas precipitaciones. Las direcciones prevaletientes son del oeste y sudoeste. Las frecuencias predominantes (entre 50 y 70%) en la distribución anual de las direcciones de viento son del oeste (Cogliati, 2005).

#### *b. Principales rasgos geomorfológicos*

Las alturas del territorio neuquino varían desde el sector oriental (aproximadamente 500 msnm) hasta el occidental (más de 2500 msnm). En la región central se presentan serranías bajas, con cotas de hasta 1.000 msnm. Hacia el oeste del meridiano que pasa la ciudad de Zapala, se incluye parte de la Cordillera de los Andes, integrada por varios cordones que incrementan su altura hacia Chile. (Figura 3.2)

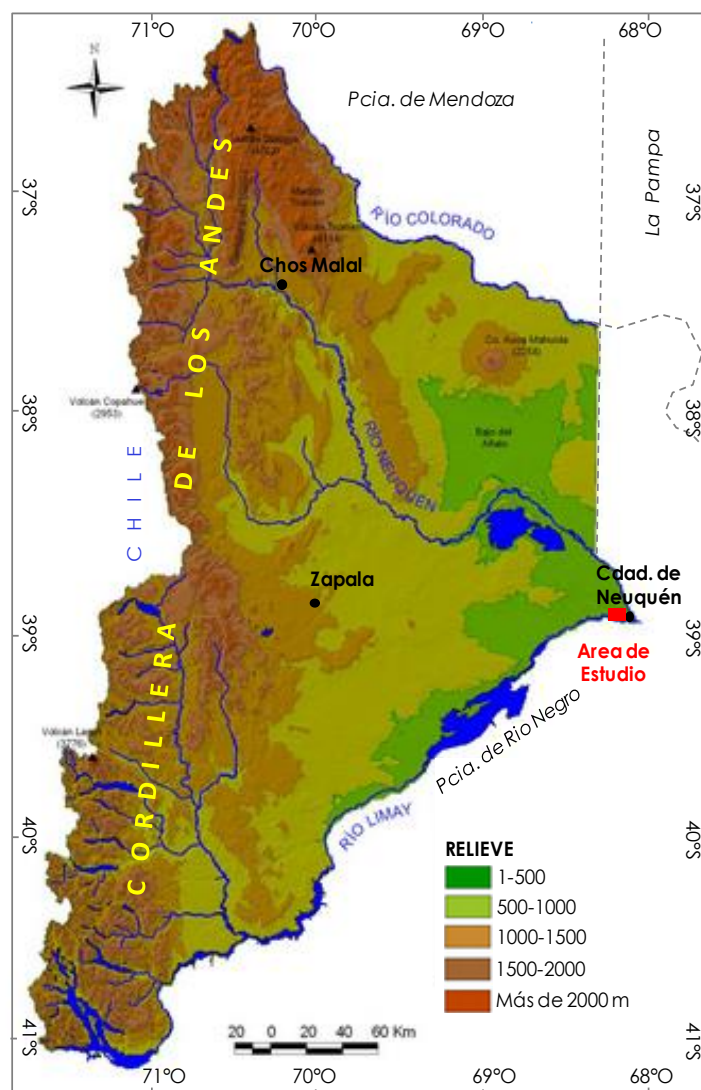


Figura 3.2 Relieve de la Provincia del Neuquén. Modificado de Winderbaum (2012)

El relieve neuquino es variado y complejo, la génesis, composición litológica y las características estructurales junto a los sucesivos cambios climáticos ocurridos durante el Cuaternario son condicionantes del paisaje de tipo compuesto que caracteriza a la provincia.

La actividad morfogénica producida durante el neógeno fue modificada por procesos exógenos (glaciación, eólico) ocurridos en el Cuaternario, que si bien presentan una escasa actividad en la actualidad definieron formas características en amplios ámbitos de la provincia.

Tanto el relieve, en cuanto a su altitud, como a la complejidad de las geoformas disminuyen de oeste a este.



Los procesos dominantes en la modelación del relieve han sido la acción fluvial, la gravedad, la intensidad y tipo de precipitaciones, el volcanismo y la sismicidad.

En el esquema geomorfológico regional, se presentan un conjunto de unidades, clasificadas en función del proceso que les dio origen. De acuerdo a González Díaz y Ferrer (1986), Rodríguez et al., (2007), González Díaz y Tommaso (2011), los paisajes pueden clasificarse según se hayan generado por procesos exógenos, como los fluviales, glaciales, gravitacional (de remoción en masa), eólica y kárstica o por procesos endógenos como el volcanismo y tectonismo.

La acción fluvial es el proceso dominante en la actualidad en el modelado del paisaje. Presenta características de paisaje policíclico, debido a diversas causas como son los cambios climáticos, cambios en el nivel de base y la actividad tectónica.

En el cuadro sinóptico se muestran las principales geoformas derivadas de la acción fluvial, dividiéndose según sean de erosión o de agradación. (Cuadro 3.1)

PAISAJES GENERADOS POR PROCESOS EXÓGENOS		
<p><b>MORFOGENIA FLUVIAL</b></p> <p>Paisaje con nulo o limitado control estructural</p>	<p><i>Geoformas de erosión o degradacionales</i></p>	<p><b>ANTIGUA SUPERFICIE DE EROSIÓN</b></p> <p>Exposiciones reducidas de una peneplanicie de edad preterciaria. Se observa a lo largo de ambos márgenes del Embalse de Piedra del Águila</p>
		<p><b>PEDIMENTOS</b></p> <p>Formas de erosión, generalmente cubiertas por material detrítico. Son comunes en las zonas más áridas, en afloramiento del Grupo Neuquén</p>
		<p><b>DEPRESIONES O BAJOS</b></p> <p>Depresiones de amplia distribución regional. En las áreas de unidades mesozoicas y en las planicies estructurales lávicas.</p>
		<p><b>NIVELES DE PLANICIES ALUVIALES</b></p> <p>Remanentes de planicies de inundación, en los valles más importantes.</p>
		<p><b>VENTANAS DE EROSIÓN</b></p> <p>Se forman típicamente por la erosión de rocas que exponen en forma parcial rocas subyacentes más antiguas.</p>
	<p><i>Geoformas agradacionales</i></p>	<p><b>PLANICIES ALUVIALES O DE INUNDACIÓN</b></p> <p>Alcanzan amplitud y continuidad en los valles principales. Los ríos se caracterizan por presentar canales más anchos que profundos y de márgenes inestables, debido al material de transporte (gravas y arenas). Presentan un hábito anastomosado</p>
		<p><b>PLANICIES AGRADACIONALES PEDEMONTANAS</b></p> <p>Son formas carentes de control estructural que no alcanzan mayor desarrollo.</p>

Cuadro 3. 1 Principales geoformas derivadas de la acción fluvial

La mayor parte del área de estudio se ubica dentro del Paisaje de Planicies Aluviales o de Inundación, conformando el valle inferior del río Limay, entre las localidades de Plottier y Neuquén.

### *c. Características geológicas*

La Provincia del Neuquén presenta un cuadro estratigráfico complejo, que es diferente y distintivo en cada una de las provincias geológicas que la conforman.

Ramos et al., (2011) reconocen en el ámbito provincial, tres provincias geológicas: la Cordillera Principal, la Cordillera Patagónica y el Engolfamiento Neuquino. (Figura 3.3). Estos autores siguen la definición clásica de provincia geológica, “una región caracterizada por una determinada sucesión estratigráfica, un estilo estructural propio y rasgos geomorfológicos peculiares, siendo el conjunto expresión de una particular historia geológica”. (Rolleri, 1976)

**La Cordillera Principal**, está identificada por la presencia de sedimentos jurásicos y cretácicos, extendiéndose desde las lomadas que limitan el engolfamiento Neuquino al este hasta el valle central de Chile en el oeste. El límite norte fue propuesto rodeando al Volcán Tromen hasta la sierra de la Vaca Muerta, terminando en la región de Copahue y el sur ensambla con la Cordillera Patagónica. Dentro de esta provincia geológica se han dividido una serie de unidades estructurales bien diferenciadas

Hacia el sur se desarrolla **la Cordillera Patagónica**, diferenciada de la cordillera principal por la presencia del batolito patagónico y el basamento metamórfico Paleozoico. En su región central se emplazan una serie de volcanes que constituyen las máximas elevaciones de la cordillera. (Lonquimay, 2865 msnm; Llaima, 3215 msnm; Lanín, 3776 msnm)

**El Engolfamiento Neuquino** (Bracaccini, 1970) comprende la región extrandina de Neuquén, sus límites lo constituyen al oeste la Cordillera Principal, en el sector nororiental el basamento del Bloque de San Rafael y hacia el sur las estribaciones del macizo de Somuncurá.

En este engolfamiento existe un rasgo morfológico sobresaliente, la Dorsal de Huincul, que prácticamente lo divide en dos sectores. Tiene orientación general E-O y se extiende desde la zona de la Precordillera Neuquina Sur, al oeste, donde se confunde con el frente orogénico andino, hasta las inmediaciones de General Roca, en la Provincia de Río Negro, al este. Desde el punto de vista estructural, la dorsal corresponde a un extenso sistema de half-grabens de edad Triásica Superior a Jurásica Inferior y de orientación general E-O y NO-SE, cuya evolución tectónica estuvo signada por numerosos episodios de reactivación compresiva.

El área de estudio se halla específicamente dentro del ámbito de la Dorsal de Huincul (Figura 3.3).

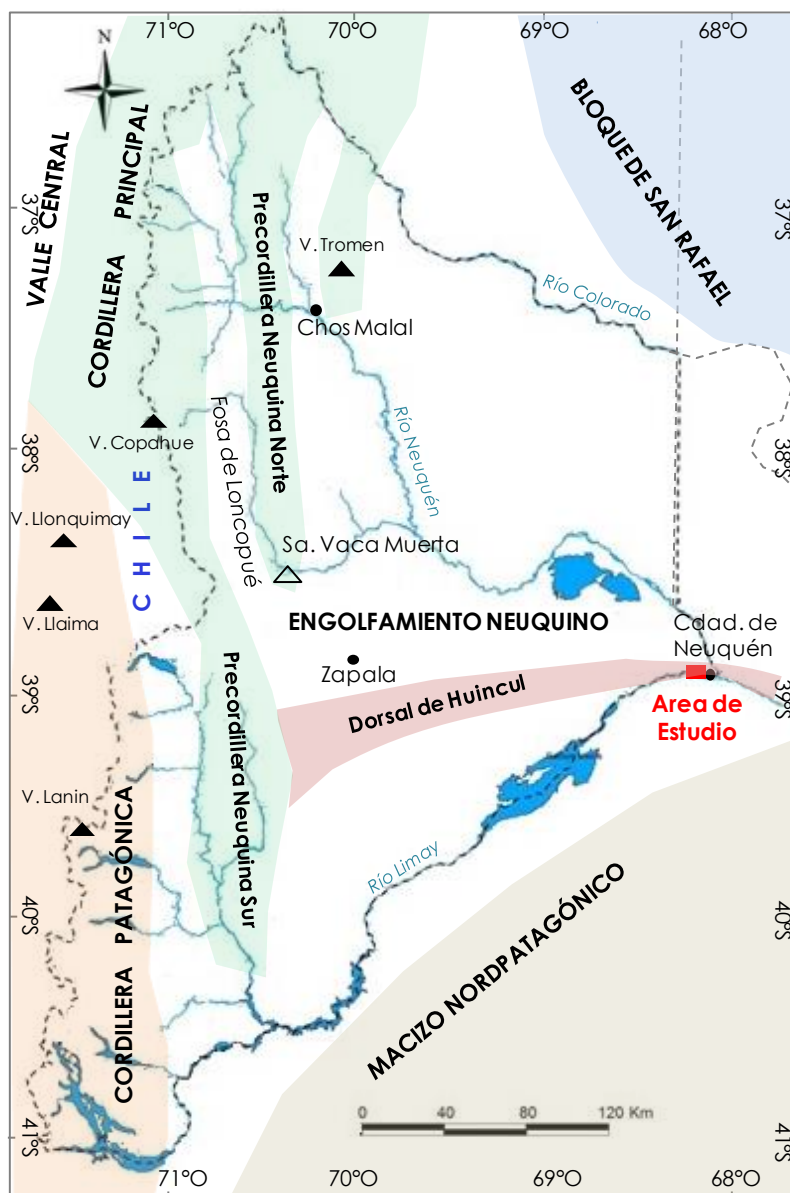


Figura 3.3 Provincias geológicas de Neuquén. Modificado de Ramos et al 2011

#### d. Cuencas hídricas superficiales

El crecimiento y desarrollo provincial está asociado al potencial de las cuencas hídricas superficiales, ya que constituyen la fuente de agua para el riego, la industria, las poblaciones y la generación de energía. Además brindan condiciones favorables para el turismo, la explotación de hidrocarburos y la minería.

Se reconocen cuatro cuencas hidrográficas principales, que corresponden a: río Neuquén, río Limay, río Colorado y río Hua Hum que desagua en la Región de Los Ríos en Chile (Bustinza et al, 2011). Los sistemas fluviales y lagunares mayores se relacionan con los ríos que vierten sus aguas hacia el Océano Atlántico.

Los tres colectores principales de vertiente Atlántica son los ríos Colorado, Neuquén y Limay, (Figura 3.4) los cuales son de régimen permanente y emisarios de una red fluvial integrada de naturaleza exorreica. El primero forma una cuenca independiente, mientras que los dos últimos confluyen en el extremo este de la provincia a la latitud de la ciudad de Neuquén, para formar el río Negro, cuyo nacimiento está a una altura de 260 msnm.

**El río Colorado** es el límite norte de la provincia, se forma en la confluencia del río Barrancas, que continúa el límite interprovincial hacia el oeste y del Grande que proviene de Mendoza aportando el 70 % del caudal del río Colorado. Después de formarse, se comporta prácticamente como un río alóctono, recibiendo sólo algunos afluentes temporarios. Para el sector de desembocadura el módulo es de 140 m<sup>3</sup>/s, con un valor máximo de 818 m<sup>3</sup>/s y uno mínimo de 32 m<sup>3</sup>/s (González Uriarte, 1985).

**El río Neuquén** tiene una longitud de aproximadamente 510 km, siendo su pendiente media de 4,22 m/km. Recibe desde los cordones montañosos por ambas márgenes numerosos arroyos que presentan sus mayores caudales en el verano. El régimen hidráulico del río es torrencial, con dos épocas de crecidas: una de mayo a julio de origen pluvial y otra de octubre a diciembre, debida al derretimiento de nieve. La dirección general del cauce es NO - SE mostrando un importante el control estructural ejercido por lineamientos de ese rumbo.

**El río Limay** (en idioma mapuche "límpido o transparente") tiene la cuenca más compleja, con numerosos lagos naturales y artificiales. Es alimentado por 42 lagos, los ocho más importantes son Nahuel Huapi, Huechulafquen, Traful, Aluminé, Lolog, Guillen, Tromen, Filohuehuen, constituyendo el 91,3% de la superficie total de los lagos de la cuenca del río Limay (IRN, 2015). Los lagos abarcan 8070 km<sup>2</sup>, lo cual representa el 14,36 % del área total de la cuenca. En las nacientes, las abundantes precipitaciones níveas y pluviales y las temperaturas moderadas, han favorecido la formación de bosques exuberantes que atenúan el escurrimiento superficial que a su vez es regulado por los lagos.

El río Limay tiene 430 km de largo y, como el resto de la zona cordillerana de la provincia, su cuenca se alimenta prácticamente en forma pluvial y nívea de la humedad proveniente del Pacífico a través de los vientos húmedos del oeste, originados en el centro de alta presión del Pacífico Sur.

El río comienza en el Lago Nahuel Huapi, a una altitud de 765 msnm, con un cauce de 90 m de ancho. A pocos kilómetros penetra en una zona con presencia de tobas andesíticas del Terciario Inferior, en los cuales la acción de las lluvias y los vientos ha

dado lugar a un paisaje llamado "Valle Encantado", con pináculos, torreones y columnas de las más diversas formas.

Corresponde a una cuenca fluvial de alimentación mixta, pluvio-nival, esto se ve reflejado en el régimen anual de sus caudales que son mayores en julio-agosto cuando se producen las lluvias y en octubre - noviembre cuando ocurre el derretimiento de la nieve.

Las subcuencas de drenaje situadas aguas abajo de los lagos tienen características climáticas semiáridas, presentan caudales de cierta significación solamente durante la estación de crecidas.

Hasta la década del setenta el crecimiento de la ciudad de Neuquén tuvo como condición de borde las periódicas crecidas de los ríos Limay y Neuquén, las cuales generalmente se producían en invierno debido a las precipitaciones en la alta cuenca y en primavera por los deshielos. A partir de la construcción de los aprovechamientos hidroeléctricos en la zona del Comahue, tanto el río Limay como el Neuquén se transformaron en ríos regulados y por lo tanto sus caudales y peligros de inundación se redujeron sustancialmente (Halcrow, 2002).

La dirección general de escurrimiento del sistema fluvial principal del río Limay, en cuyo valle inferior se localiza el área de estudio, responde a la pendiente topográfica regional hacia el Atlántico desde las altas cumbres cordilleranas. El valle de este río se halla controlado regionalmente también por una estructura geológica oblicua de rumbo NE.

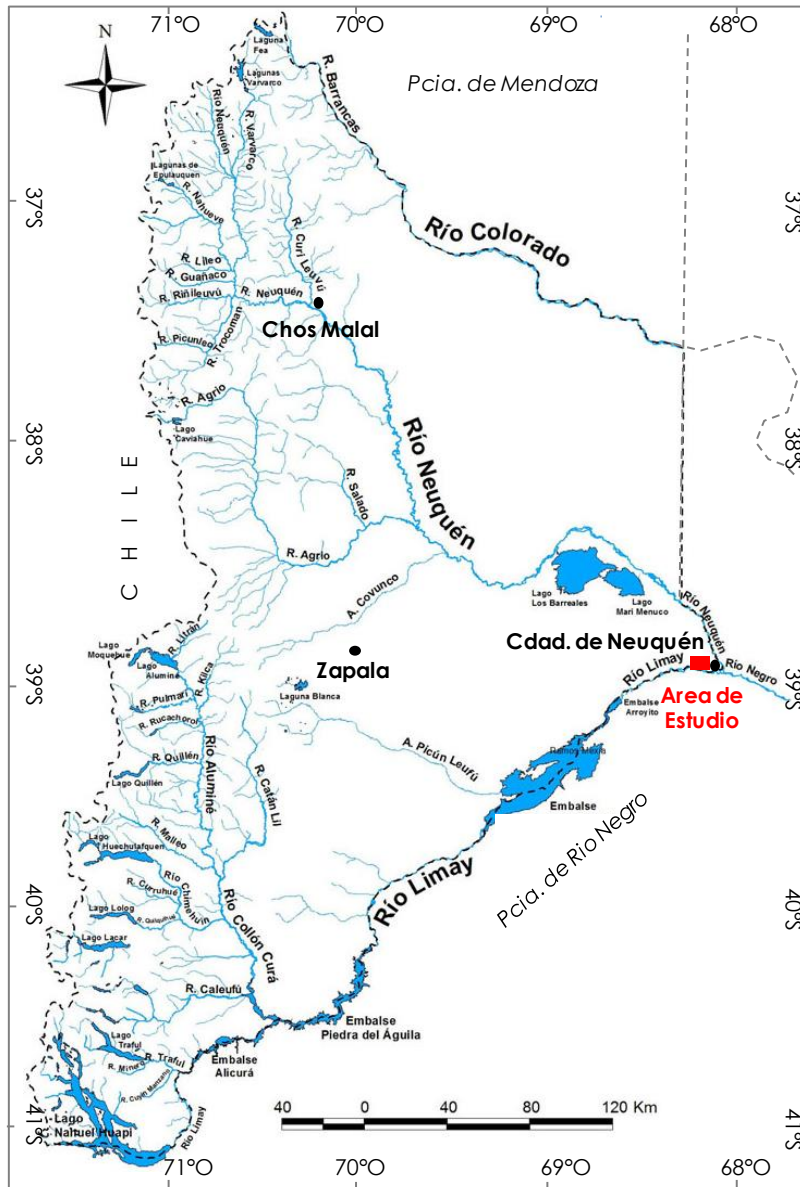


Figura 3.4 Mapa hidrológico de la Provincia del Neuquén

e. Regiones hidrogeológicas

El territorio provincial fue dividido en regiones hidrogeológicas (Figura 3.5) (Colombino y Luengo, 2011), en función de las distintas unidades geológicas, cada una de las cuales presentan características litológicas y estructurales diferentes como reservorios de agua subterránea.

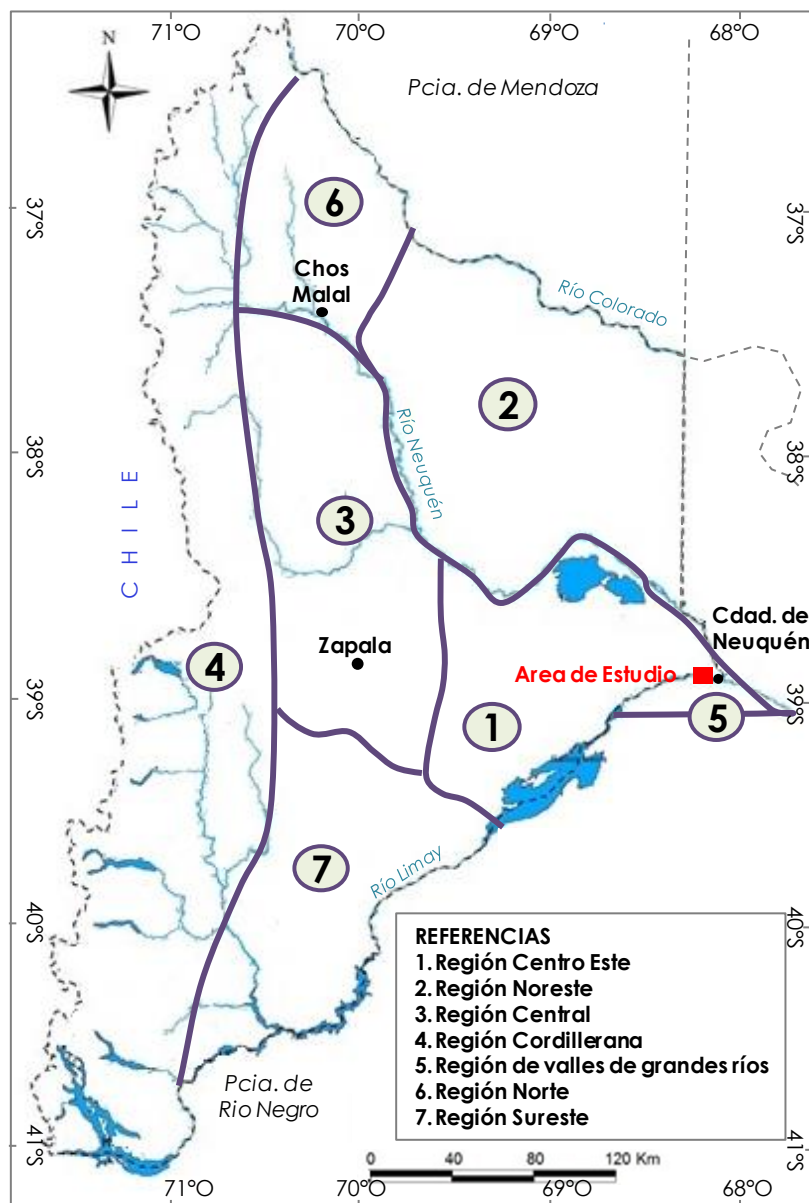


Figura 3.5. Regiones Hidrogeológicas de la Provincia del Neuquén. (Tomado de Colombino y Lueng, 2011)

La región de estudio se ubica dentro de la **Región de Valles de Grandes Ríos**, donde los acuíferos se encuentran relacionados a los subálveos de los cursos más importantes.

De acuerdo a lo descripto por los autores citados, en el río Limay, los acuíferos desarrollados en los subálveos se presentan fundamentalmente en el curso inferior, están formados por cantos rodados, con buena permeabilidad y espesores variables. En las cercanías de la ciudad de Neuquén, se ha mencionado al acuífero freático y por debajo niveles acuíferos salinos. En el Río Neuquén, el área de importancia se sitúa también en el valle inferior, donde dado el régimen torrencial presenta un gran aporte



de material en suspensión. Por debajo de los depósitos fluviales, se reconocen uno o dos horizontes acuíferos

La **Región centro este**, abarca la zona cubierta por sedimentitas continentales de edad Cretácico Superior. Se han diferenciado tres niveles con condiciones favorables para contener agua. El más somero con agua de buena calidad, el segundo con una mayor salinidad y el tercero, a partir de los 90 m con un importante aumento en la salinidad.

La **Región Noreste**, incluye a la zona ubicada al norte del río Neuquén, presentando como límite oeste a la región central. Es una región poco estudiada, aunque a partir de la exploración y explotación petrolífera se han detectado aguas de baja potabilidad.

En **Región Central**, donde se desarrollan sedimentitas marinas, existen reservorios de agua subterránea salinizada no apta para el consumo humano. Sin embargo se han reconocido en sectores rurales, horizontes portadores de agua potable dentro de las secuencias marinas del Cretácico Medio

La **Región Cordillerana o del oeste**, se extiende de norte a sur presentando grandes variaciones respecto de la geomorfología y el clima. Los niveles acuíferos se encuentran en depósitos tobáceos arenosos, conglomerados polimícticos y areniscas tobáceas de edad miocena. El acuífero abastece a la ciudad de Zapala.

En áreas rurales de la **Región Norte** a través de perforaciones se realiza la extracción de agua con molinos y/o bombas cercanas a arroyos. Existe una densa red de drenaje por lo que el aprovechamiento del agua superficial es intensa y se realiza por extracción a través de bombas y sistemas de filtrado directamente a partir del río Neuquén.

Las zonas bajas de la **Región sureste** constituyen áreas favorables para la captación de aguas subterráneas, con caudales aceptables para satisfacer el desarrollo de la ganadería.

### 3.2. Contexto socio-económico local

El área específica de experimentación se localiza en el Departamento Confluencia, dentro en un ámbito de unos 60 kilómetros en sentido O-E, desde la bocatoma del Canal Principal de riego, en cercanías de la Colonia de Arroyito, aguas abajo del dique compensador del mismo nombre, hasta la confluencia del río Limay con el río Neuquén, junto a la ciudad capital de la provincia. (Figura 3.6)

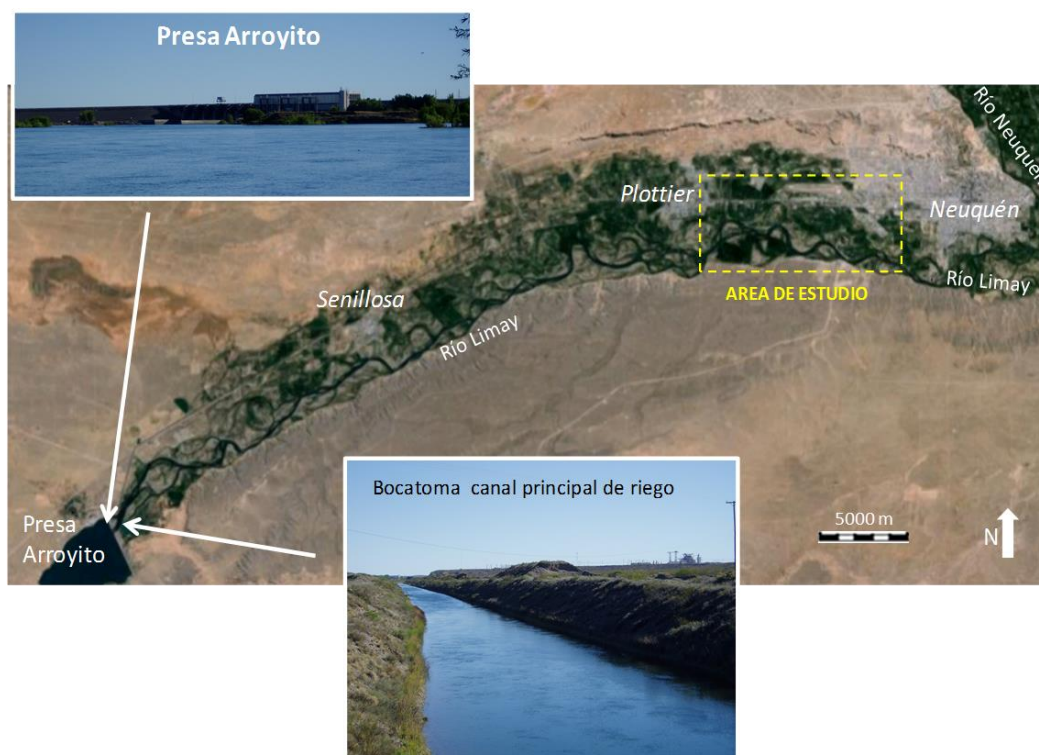


Figura 3.6 Esquema de ubicación del área en el contexto local

En esta zona se ubican tres de los principales distritos municipales de la provincia: Senillosa, Plottier y Neuquén. Según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (INDEC, 2010) la población total del departamento es de 362.673 habitantes. La alta densidad de población que presenta esta zona (la mayor de la provincia) se asocia con la expansión de actividades urbanas hacia las áreas productivas y con un elevado valor de la tierra.

Los incrementos de población registrados en la ciudad y su zona de influencia a partir de la década de 1960, en particular los de origen migratorio (interna y extranjera), respondieron a la construcción de grandes obras hidroeléctricas, la puesta en marcha de un creciente número de áreas de explotación de hidrocarburos, la expansión del complejo agroindustrial, el crecimiento de emprendimientos industriales y de servicios y a la expansión del accionar estatal. Según consta en la información censal nacional, la población del aglomerado Neuquén-Plottier, sumando a Cipolletti desde 1980, creció a tasas anuales del 9,45% entre 1960 y 1970, del 11,6% entre 1970 y 1980, decreciendo la tasa al 5,36% entre 1980 y 1991 y al 1,69% entre 1991 y 2001, al tiempo que se asiste a una creciente desruralización en el entorno. (Landriscini, et al., 2015).

Este hecho, sumado a que los últimos años fueron hidrológicamente “secos”, ha producido un avance de la urbanización de la ciudad hacia el sur, ocupando tierras que en realidad forman parte del cauce del río. Este fenómeno, además originó la anulación

de antiguos brazos del río Limay, los cuales actualmente han quedado en gran parte dentro de la trama urbana, como cursos de drenaje de aguas de riego o lluvia (Arroyos Durán y Villa María) (Halcrow, 2002).

Las unidades productivas, denominadas "chacras", se extienden al sudoeste de la capital provincial hacia las áreas urbanas y periurbanas de Plottier y Senillosa.

De un total de 188.064 ha con antecedentes edafológicos y posibilidades de ser irrigadas en la provincia del Neuquén, el 43,7%, es decir 82.161 ha, se hallan en la cuenca hidrográfica del río Limay y su totalidad en el valle inferior. Estas tierras poseen capacidad de uso para horticultura, fruticultura, forrajicultura y silvicultura en diferentes proporciones a pesar del clima árido como consecuencia de las posibilidades de riego que presenta.

En relación a la historia del riego, debe señalarse que en 1904 el pueblo de la Confluencia pasa a denominarse Neuquén, constituyéndose en la ciudad capital del territorio, en un área con tierras aptas para la explotación agropecuaria pero presentaba el inconveniente de la falta de agua. Para esta época la totalidad del agua consumida por la población como la utilizada para riego para algunas pequeñas quintas, era aportada por barriles aguateros que recorrían regularmente la zona.

Para solucionar este tema, el gobernador del Territorio del Neuquén, en 1908 comienza la construcción de un canal de riego que levantaría el agua desde el nivel del río por medios mecánicos. En 1911 se terminó la construcción del canal principal y en los meses subsiguientes se continuó con los canales secundarios y terciarios para la distribución del agua en las 3000 hectáreas de tierra que se beneficiarían por el riego artificial, (Mases, 2014).

En 1920 se construye un nuevo canal de servicio, alimentado con equipos accionados con motores a explosión trasladando el bombeo a las cercanías de Plottier para aumentar los volúmenes de distribución de agua por la creciente demanda de tierras para el cultivo. Más tarde se realiza una nueva extensión construyendo una primera bocatoma libre sobre el río, ubicada en el paraje "El Cisne" en Senillosa, lo que posibilita la incorporación de nuevas áreas de cultivos.

En la década de 1960 comienza la construcción en Arroyito de una toma libre de agua para riego gravitacional, disponiéndose desde 1966 de la actual obra de toma, con una capacidad máxima de captación de 12 m<sup>3</sup>/s y posibilidades de riego para una superficie de 12.000 ha. Esto permitió que se realizaran una serie de canales secundarios y terciarios. Paralelamente se ha ido construyendo una red de canales de desagües

colectores que dan salida a los excedentes de riego, al agua de drenaje y a las aguas pluviales y las derivadas del escurrimiento superficial que a ellos descargan.

En los sectores efectivamente productivos, el 90% de las chacras se dedica a frutales de pepita y, en menor proporción, a plantaciones de carozo. En las pequeñas unidades se producen hortalizas como papa, cebolla, tomate, pimiento y verduras de hoja, que se comercializan en el mercado regional. En los últimos años se ha promovido la diversificación productiva orientada a frutas finas, vid, apicultura, granja y agroindustrias. El gobierno provincial ejecuta diversas obras para el mejoramiento de las zonas productivas, como la reciente rehabilitación de la infraestructura y el drenaje del área de riego de Senillosa.

La actividad turística tiene un importante desarrollo en el sector, existen una serie de balnearios públicos y privados, con distintos tipos de servicios y comodidades, a lo largo del río Limay. Al sur de la ciudad de Neuquén se encuentra el Balneario Municipal, sobre el brazo más importante del Limay, el Balneario Río Grande y también el Gatica que posee facilidades de camping y desde donde se puede cruzar a la Isla Verde. (Figura 3.7).



*Figura 3.7 Paisajes turísticos de la ciudad de Neuquén*

La ciudad de Plottier cuenta con 20 kilómetros de costas libres integradas por lugares turísticos como La Herradura, el camping Nepen Hue, el Paseo Costero y la zona ribereña de China Muerta (Figura 3.8).



*Figura 3.8 Vista del río Limay desde el Balneario de Plottier*

Actualmente algunos de los establecimientos productores se han incorporado a la actividad turística. En la localidad de Centenario, existen una serie de chacras habilitadas para la práctica del agroturismo.

#### 4. GEOLOGIA

Tal como fuera indicado, 4.1- Geología Regional, el área de estudio se ubica dentro de la Dorsal Huincul en el dominio de la provincia geológica Engolfamiento Neuquino (Figura 3.3). Esta dorsal define una subcuenca principal al norte y la subcuenca de Picún Leufú hacia el sur. Este rasgo estructural ha sido interpretado como una sumatoria de eventos de deformación con esfuerzos cambiantes a lo largo del tiempo, siendo primero extensionales, luego compresivos con una orientación que rotaba desde nor-noroeste a este oeste y sudoeste, (Ramos et al., 2011).

El paquete sedimentario desarrollado en la **Dorsal Huincul**, cubre desde el Triásico Superior al Reciente (Cuadro 4.1) y está constituido de acuerdo a una visión petrolera por el basamento, el relleno sedimentario y la cubierta cenozoica.

Edad	Unidades	Ambiente sedimentario	
Terciario Reciente	Depositos aluviales	fluvial	Cubierta Cenozoica
Cretácico	Grupo Neuquen	Alternancia de sedimentación marina y continental	Relleno Sedimentario
	Grupo Mendoza		
Jurásico	Grupo Lotena		
	Grupo Cuyo		
Triásico	Grupo Precuyo	volcánico piroclástico	
Pérmico	Grupo Choyoy	Ignimbritas granodioritas	Basamento cristalino

Cuadro 4.1 Secuencia sedimentaria de la Dorsal Huincul

La columna litoestratigráfica (Figura 4.1) muestra las características del sector.

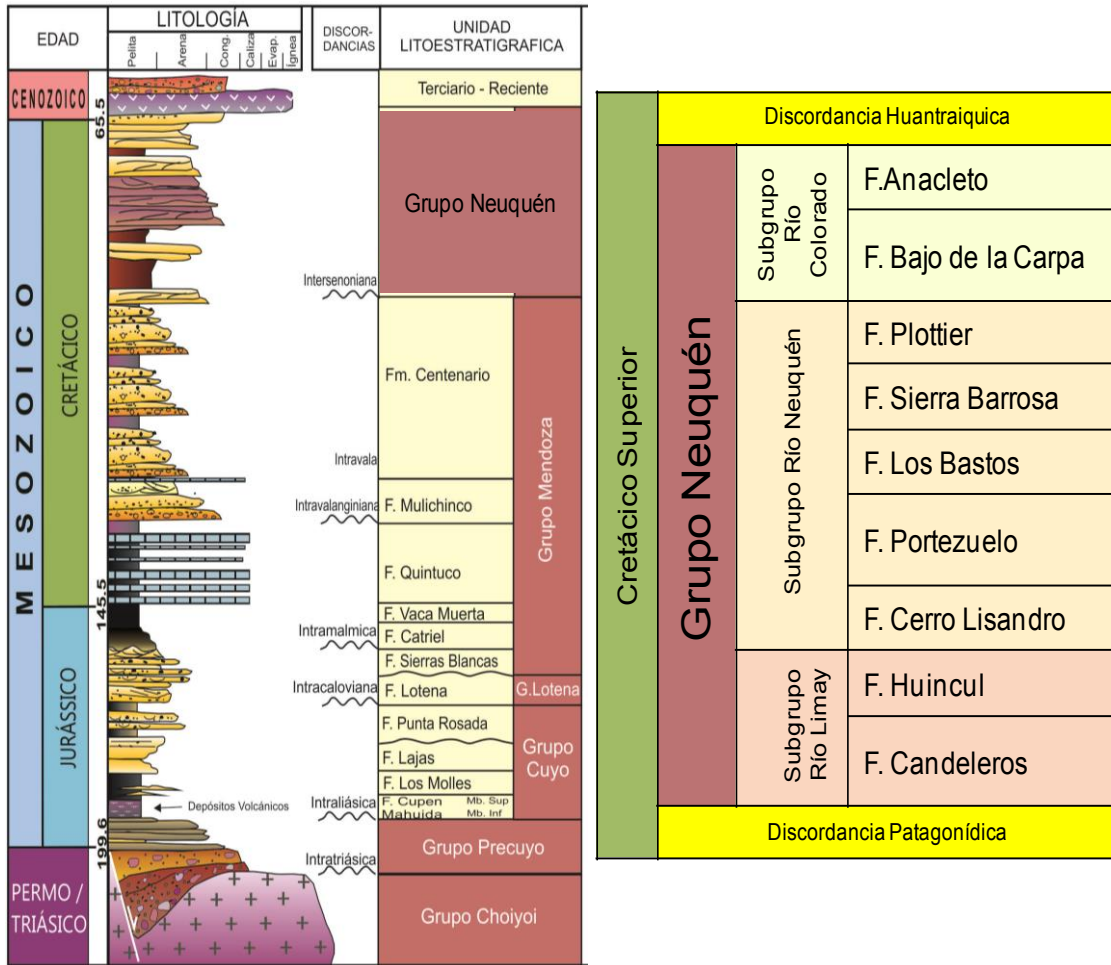


Figura 4.1 Columna estratigráfica del sector Dorsal Huincul. (Tomada y modificada de Berdini et al., 2005).

Se denomina **Basamento** al sistema que incluye al Grupo Choiyoi, que tiene amplia distribución en los afloramientos ubicados en el O y S de la cuenca sedimentaria y en el subsuelo del área del engolfamiento. En Neuquén, la provincia magmática Choiyoi fue parcialmente exhumada durante la fase compresiva cretácica tardía que modeló la faja plegada y corrida de Agrio (Llambias y Sato, 2011). Se presenta una variada gama de rocas volcánicas, brechas y aglomerados volcánicos, lavas, ignimbritas, tobas y tufitas y en menor proporción términos epiclásticos. La composición prevaleciente es andesítico – dacítica. Específicamente en el área de estudio se estima su profundidad a aproximadamente 5200 m.

El **Relleno Sedimentario** está integrado por rocas clásticas, carbonáticas, evaporíticas, piroclásticas y por depósitos volcánicos en menor proporción. Abarcan unidades desde lo más alto del Triásico (Rhaetiano) hasta el Terciario Inferior.

Geológicamente incluye:

**Grupo Precuyo** (Carbone et al 2011) abarca desde el Triásico Tardío – Jurásico Temprano y agrupa a un conjunto de depósitos piroclásticos, volcánicos y epiclásticos que conforman parte del relleno inicial del engolfamiento neuquino. En el área de estudio para esta unidad se estima una profundidad aproximada de 4600 m.

**Grupo Cuyo** (Arregui et al 2011) se desarrolló desde el Jurásico Temprano al Medio y comprende el primer ciclo sedimentario marino que se depositó en esta cuenca sedimentaria y está integrado por un conjunto de rocas clástica, litorales, y evaporitas. Se sitúa a una profundidad de alrededor de 2900 m.

**Grupo Lotena**, incluye unidades del Jurásico Medio Tardío, estando conformado por sedimentos silicoclásticos, carbonatos y evaporitas. El grupo constituye una secuencia de transgresión y regresión posterior al ciclo de sedimentación cuyana. (Arregui et al., 2011). Se estima que el grupo se encuentra a una profundidad aproximada de 2800 m.

**Grupo Mendoza**, en esta unidad se intercalan depósitos continentales y/o marinos marginales (Formación Tordillo, Mulichinco y el Miembro Avilé de la Formación Agrío) depositadas en el sector interno de la cuenca en estadios de nivel del mar bajo, que son seguidos por niveles arcillosos de interior de cuenca correspondientes a episodios de un mar alto arealmente más expandidos (Formación Vaca Muerta-Quintuco Inferior y Formación Centenario). Cada una de estas formaciones finaliza con entidades bien desarrolladas en la parte central de la cuenca y pobremente representadas en las áreas de plataforma. En el área de estudio se ubica a una profundidad aproximada de 1900 m.

**Grupo Neuquén**, desarrollado en el cretácico tardío (Cenoniano Inferior -Campaniano Medio) adquiere una mayor relevancia ya que el Subgrupo Río Colorado, con las Formaciones Bajo de la Carpa y Anacleto, afloran como una faja continúa dispuesta en posición horizontal y subhorizontal, en la zona específica de estudio. Esta unidad en el área analizada se sitúa desde aflorante a una profundidad máxima de alrededor de 0 a 1000 m.

El término litoestratigráfico de “Grupo Neuquén” fue introducido en la literatura geológica por Stipanovic et al., (1968) y se define como una sucesión de depósitos continentales del Cretácico Superior, limitados en su base por la discordancia Patagonídica (Leanza,



2009) y en su techo por la discordancia Huantráiquica (Méndez et al., 1987). Litológicamente el Grupo Neuquén está integrado por una sucesión de capas rojas (red beds) compuestas principalmente de areniscas, fangolitas y grauvacas; con una reducida participación de horizontes conglomerádicos. Los depósitos tobáceos, tufíticos y evaporíticos (yeso) presentan una muy baja participación, conformando menos del 1% del total de la secuencia. Genéticamente estos depósitos son vinculados a un origen predominantemente fluvial, con intercalaciones de episodios eólicos y lacustres someros (Cazau y Uliana, 1973).

Actualmente en el Grupo Neuquén se reconoce una subdivisión en tres subgrupos y nueve formaciones. (Garrido, 2010, 2011) cada subgrupo representa una secuencia granodecreciente continua:

*Subgrupo río Limay*, conformado por las Formaciones Candeleros y Huincul, presenta en general depósitos mayormente de areniscas cuarzolíticas de granulometría variada, con alternancia de fangolitas y escasos horizontes conglomerádicos. Los depósitos aflorantes, en la región adyacente a la Dorsal Huincul se atribuyen a canales de baja sinuosidad desarrollados bajo un control tectónico y climático subordinado.

*El subgrupo Río Neuquén*, está conformado por las Formaciones Cerro Lisandro, Portezuelo, Los Bastos, Sierra Barrosa y Plottier, se caracteriza litológicamente por una sucesión alternante y porcentualmente variable de depósitos fangolíticos y arenosos, cuyo predominio de la fracción pelítica o psamítica para un intervalo determinado dentro de la secuencia, define a cada unidad formacional. El pasaje entre cada una de las formaciones es transicional, de origen fluvial desarrollados principalmente bajo control climático.

El **subgrupo Río Colorado**, (de edad Santoniana-Campaniana Inferior) como se mencionara anteriormente, aflora en el área de estudio (Figura 4.2) y está constituido por las Formaciones Bajo de La Carpa y Anacleto y presenta un espesor de 200 m. (Sanchez et al., 2006). En líneas generales, los depósitos de las unidades formacionales de este subgrupo se conforman por alternancias en porcentajes variables de fangolitas, areniscas cuarzolíticas y conglomerados polimícticos, de origen fluvial formados bajo un control estructural dominante.

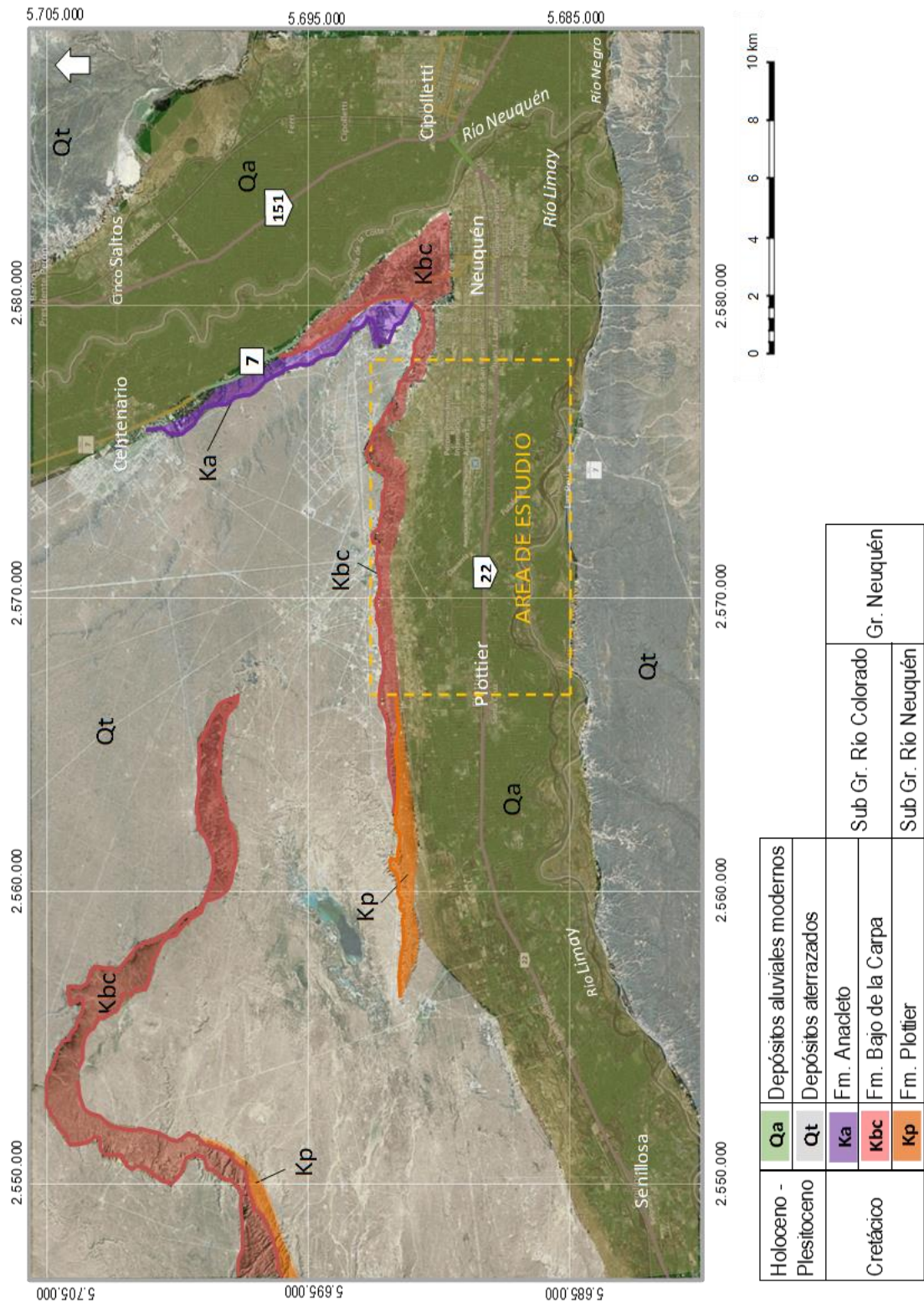


Figura 4.2 Mapa geológico del área de estudio y alrededores

*Formación Bajo de la Carpa:* la localidad tipo se encuentra a 40 Km al oeste – noroeste de la ciudad de Neuquén y contiene restos fósiles que han permitido otorgarle edad santoniana. Se conforma por una sucesión de depósitos continentales predominantemente psamíticos, con interestratificación en porcentaje variable de horizontes pelíticos. Los términos psamíticos se componen principalmente de areniscas cuarzolíticas, con escasa a nula matriz y escaso cemento carbonático. La presencia de pigmento férrico imprime a estos depósitos su típica coloración amarillenta a rojiza. Los términos pelíticos se encuentran integrados por fangolitas rojizas poco consolidadas, seguidas por depósitos limo-arenosos gris-verdosos y verde-amarillentos, finamente laminados, en ocasiones acompañados por delgadas láminas de evaporitas (yeso) (Garrido, 2011). Presenta una gran variación lateral de facies, desde depósitos fluviales a niveles de planicie de inundación distal con fuerte participación de sedimentitas de origen eólico. Está representada en su tramo medio por un sistema fluvial efímero en sectores proximales con abundantes registros de desbordes y planicie de inundación, y en el superior por depósitos de interacción fluvio-eólica. (Sanchez et al., 2006).

*Formación Anacleto:* Su localidad tipo se encuentra ubicada en el flanco sudoccidental de cerro Senillosa. Se compone por una sucesión de depósitos continentales predominantemente pelíticos a psamítico finos. Los términos pelíticos se encuentran integrados por una alternancia de fangolitas y limolitas arenosas poco consolidadas, con alternancias de colores rojizos y gris-verdosos. Los términos psamíticos se componen principalmente de areniscas cuarzolíticas y cuarzomicáceas, con porcentaje variable de matriz fangosa y débil cemento carbonático. Su color predominantemente rojizo está dado por la presencia de pigmento férrico, con la presencia de algunos horizontes de areniscas amarillentas.

La **Cobertura Cenozoica** del Pleistoceno está representado en los niveles de meseta al norte de la zona de estudio por los Depósitos Fluviales antiguos de los ríos Neuquén y Negro. El Nivel III (Rodríguez et al., 2007) que fue interpretado por González Díaz y Malagnino (1984) como planicies estructurales por arrasamiento. Litológicamente son conglomerados polimicticos de vulcanitas mesosilicicas y básicas de colores gris, castaño oscuro y negro.

El Holoceno, está integrado por los depósitos de la planicie aluvial actual del río Limay y está conformado por gravas con participación menor de arena gruesa como matriz y limos y arcillas en los depósitos de canales y meandros inactivos.

En el área de estudio (Figura 4.2) se identifican los depósitos continentales del Subgrupo Río Colorado que se desarrollan como una faja continua con una disposición horizontal a subhorizontal.

La Formación Anacleto se interdigita con la Formación Bajo de la Carpa, los afloramientos de fangolitas y areniscas finas de color rojo ladrillo se encuentran al norte de la ciudad de Neuquén, bordeando la Ruta 7.

La Formación Plottier, tiene su localidad tipo frente a la ciudad de Plottier, a 15 km de la ciudad de Neuquén.

En la secuencia descrita para la Dorsal Huincul se encuentran diferentes tipos de litologías desarrolladas en diversos ambientes sedimentarios, que condicionarán el funcionamiento hidrogeológico del perfil

Desde el punto de vista hidrogeológico, se presenta el basamento con comportamiento acuífugo, un relleno sedimentario, con alternancia de depósitos marinos y continentales que favorecerían la presencia de acuíferos, acuitardos o acuícludos y una cubierta cenozoica favorable al desarrollo de acuíferos.

## 5. GEOMORFOLOGÍA

Se destaca el predominio del proceso fluvial en el modelado del paisaje neuquino y el rasgo geomórfico más importante lo constituyen los grandes valles, con ríos que suelen mostrar en general una marcada desproporción con respecto a sus valles (misfit rivers). Ello se vincula principalmente con las modificaciones climáticas ocurridas a lo largo del Cuaternario. Otra característica en esos valles principales es el control que ejercen ciertas líneas regionales estructurales sobre ellos.

El río Limay puede ser interpretado como influenciado regionalmente por el lineamiento principal río Limay-Embalse Ramos Mejía, de disposición general noreste-suroeste, (en detalle NE-SO, E-O y NO-SE) (González Díaz y Ferrer, 1986).

A nivel regional estos mismos autores reconocen para el área de confluencia de los ríos Neuquén y Limay las unidades geomorfológicas, planicie estructural por arrasamiento, superficies pedimentadas, planicies aluviales y planicie aluvial actual.

Las planicies estructurales por arrasamiento, se originan por erosión de los términos más friables de una sucesión sedimentaria hasta la exposición superficial de una capa dura, en general de gran desarrollo areal.

Las superficies pedimentadas definidas como planicies de erosión local, asimilable a pedimentos, aparecen controlados en su desarrollo por niveles de base no menos locales. Estos últimos están representados en estos casos, por el curso de un río o la parte baja de una cuenca endorreica ("barreales", "bajos"). Para su distinción, los autores tomaron la definición de pedimento de flanco como geformas que se desarrollarían en respuesta a un nivel de base constituido por un colector fluvial local.

Bajo la denominación de planicies aluviales se diferenciaron, a nivel regional, diversos niveles correspondientes a antiguas planicies aluviales, cuya máxima expresión se halla estrechamente relacionada con la posición del valle del río Neuquén y aquel sector adyacente a su confluencia con el río Limay. En el área específica de este estudio, dada la escasa diferencia de altura entre los niveles antiguos y actuales de las planicies de inundación, que localmente no supera los 0,50 m, se optó por denominar a este sector "planicie de inundación inactiva" en lugar del término planicie aluvial utilizado para la caracterización regional por González Díaz y Ferrer (1986).

La planicie aluvial activa o planicie de inundación actual tiene un doble rol en dicho sistema: por un lado es un producto de su accionar y por otro, es una parte funcional del mismo.

Estas unidades adquieren importancia en el comportamiento hidrológico de la región. El mapeo realizado en el área de estudio (Figura 5.3), permitió adaptar las unidades descriptas bajo las denominaciones de planicie estructural, pedimento de flanco proximal, pedimento de flanco distal, planicie aluvial inactiva y planicie aluvial activa.

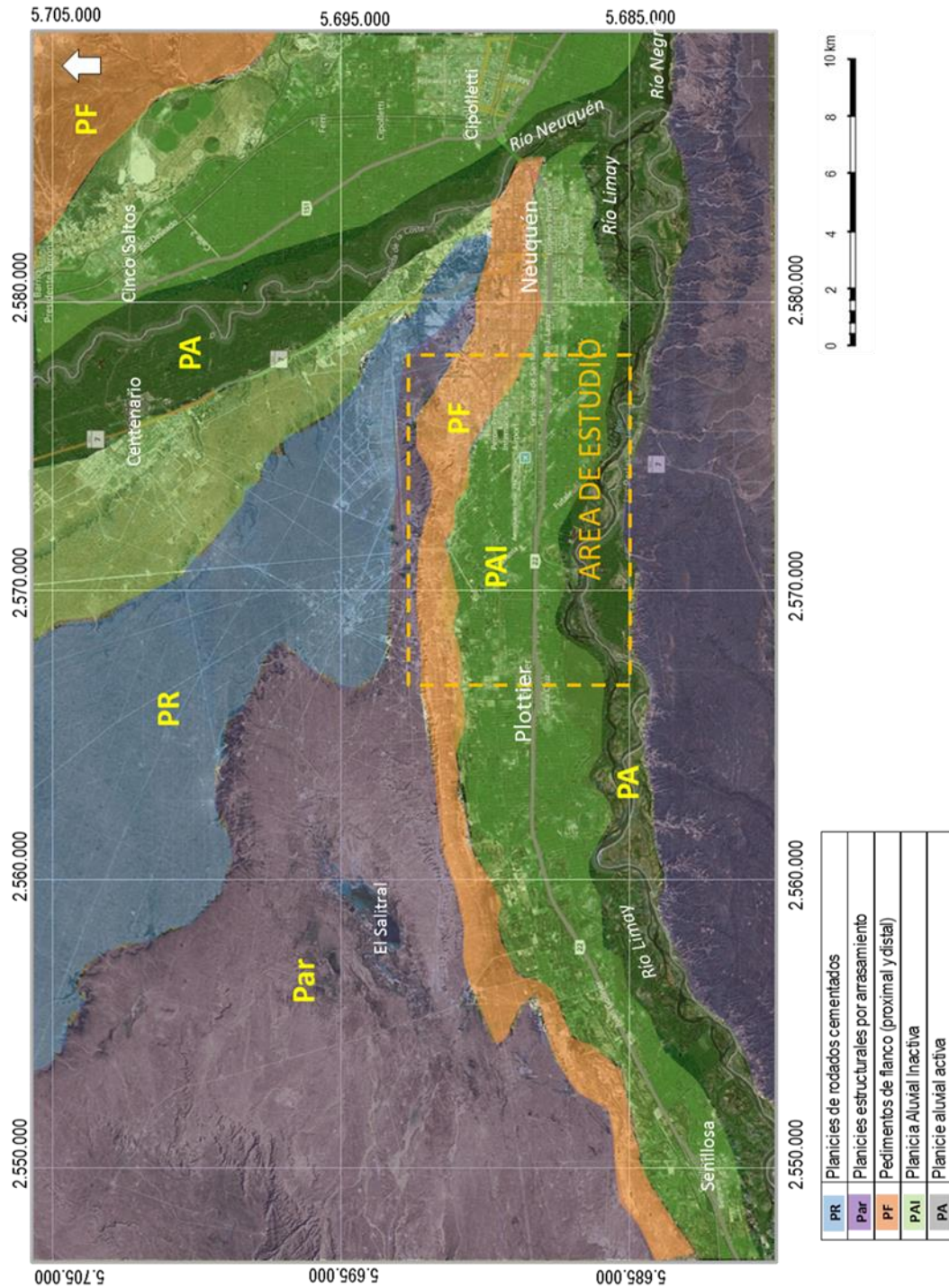


Figura 5.3 Mapa geomorfológico regional. (Según González Díaz y Ferrer (1986))

En el área específica de estudio y en un perfil esquemático N-S se pueden observar las diferencias en las pendientes topográficas y la heterogeneidad del medio, con ambientes de menor selección en los sectores próximos al pedimento de flanco pasando al desarrollo de las planicies aluviales conformadas por depósitos de arenas y gravas. (Figuras 5.4. y 5.5)

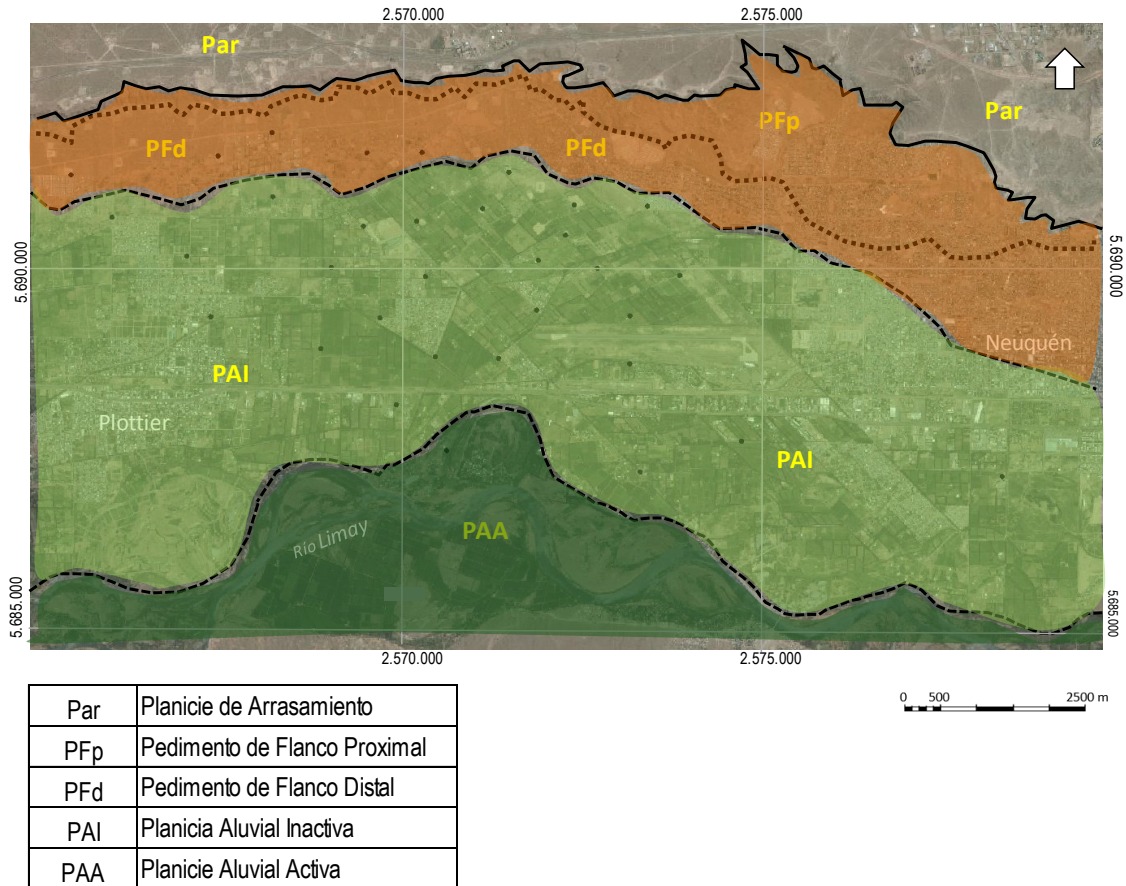


Figura 5.4 Mapa geomorfológico del área de estudio

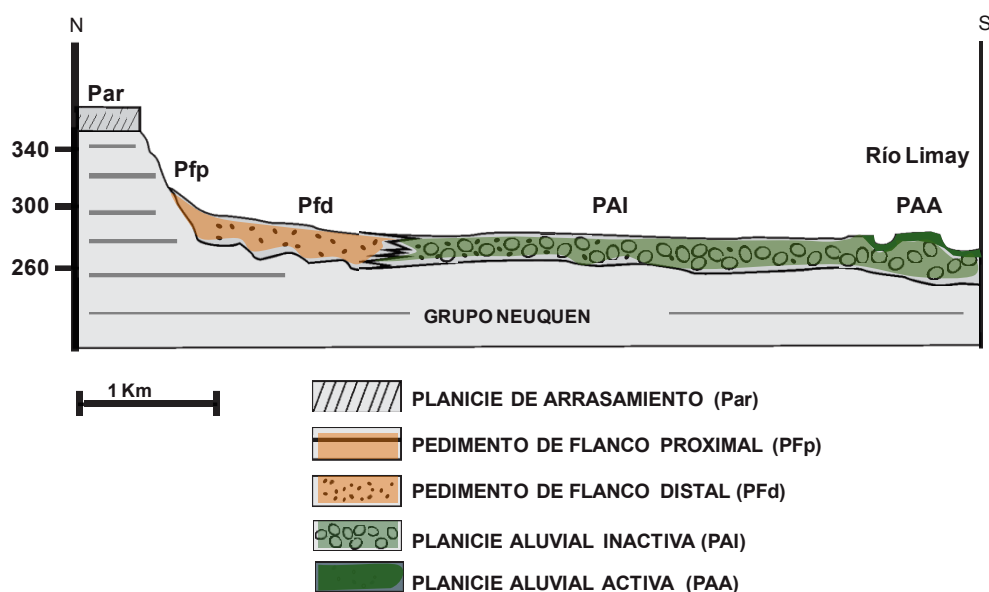


Figura 5.5 Perfil geomorfológico N –S

### **Planicie estructural por arrasamiento**

Tiene su origen en la erosión o degradación de mantos poco resistentes de una sucesión sedimentaria hasta la exposición de un estrato duro, de gran extensión areal, que persiste a cierta altura sobre el paisaje circundante, sobre el que la degradación prosigue controlada por un nivel de base regional (González Díaz y Ferrer, 1986)

Las mesetas están representando a una planicie estructural, que constituye un relieve con escasa pendiente en dirección al E, acompañando a los estratos del Grupo Neuquén, que se encuentran en posición subhorizontal. (Figura 5.6).

En este sector, en los flancos de la meseta se pueden observar las sedimentitas correspondientes a la Formación Bajo de la Carpa y hacia el E la Formación Anacleto.





Figura 5.6 Vista del Pedimento de flanco proximal y perfil de la Planicie estructural por arrasamiento

### **Pedimentos de flanco**

Los pedimentos de flanco se desarrollan al pie de los flancos laterales de los valles fluviales como respuesta al nivel de base que constituye el colector fluvial local. (González Díaz y Ferrer, 1986). Se caracterizan por la disposición de su pendiente, orientada transversalmente al perfil longitudinal del río. Esta subunidad ha sido incluida como parte de los pedimentos de tipo semidesértico y constituye una geoforma resultante de la erosión fluvial desarrollada sobre las sedimentitas del Grupo Neuquén, de diferente composición, corresponde a las superficies pedimentadas de flanco definidas por González Díaz et al., 1986. Es común observar sobre la superficie de un pedimento de flanco una delgada cubierta de material aluvial-coluvial, proveniente del retroceso de la escarpa de erosión, en tránsito hacia el nivel de base local conformado por el río. (Figura 5.7)

**El sector proximal de los pedimentos de flanco** constituyen las denominadas bardas. Estas se encuentran afectadas por la erosión retrocedente generada por los abundantes cañadones poco desarrollados que drenan aguas pluviales encauzadas en torrentes de barro. Poseen relieve en gradería o escalera, cuyas pendientes alcanzan valores entre 16 y 30%.

**El sector distal del pedimento de flanco**, denominadas localmente pie de bardas, abarca una franja de unos 800 metros de ancho de planicies aluviales pedemontanas (bajadas). Están compuestos principalmente por arena limo-arcillosa rojiza, y suelen contener escasos sedimentos aportados por fenómenos de remoción en masa.

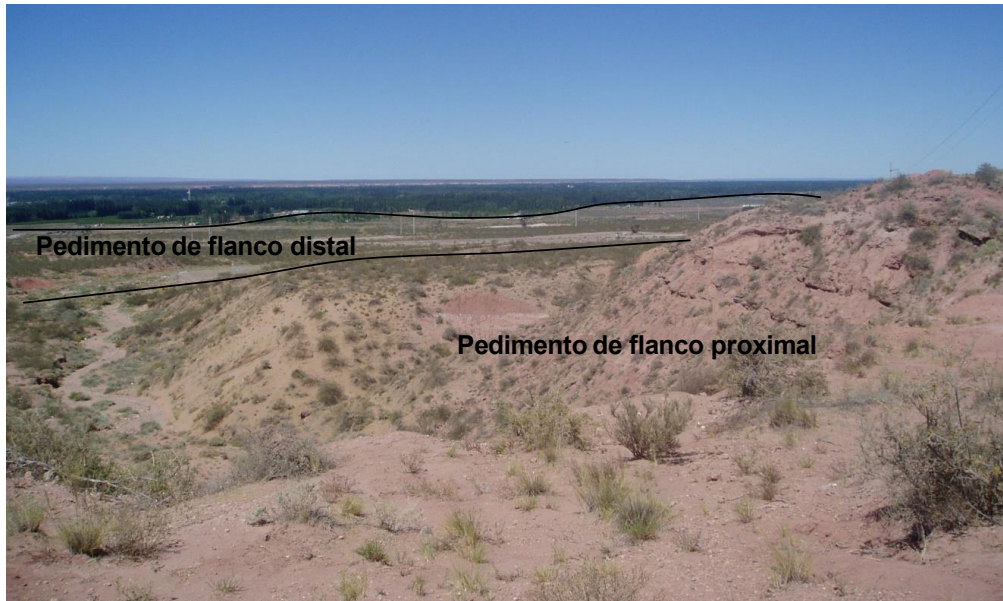


Figura 5.7 Vista desde la barda del pedimento de flanco, sector proximal y distal

### ***Planicie aluvial inactiva***

Se trata de los sedimentos de origen fluvial presentes en el valle del río Limay, sin control estructural, formando parte de los depósitos aluviales compuestos por gravas y arenas no cementadas. El origen de estos depósitos está relacionado a los cambios climáticos del Pleistoceno, comprendiendo episodios de acción fluvial antiguos y modernos. (Figura 5.8).



Figura 5.8 Vista de la zona de chacras en la Planicie aluvial inactiva

### ***Planicie aluvial activa***

Es una geofoma que resulta esencialmente compuesta por material aluvial, proveniente de la acción de transporte del mismo río con el que se relaciona. No solo es el resultado

de la depositación de materiales movilizados por él, sino también constituye un ámbito de expansión del río en los episodios de crecidas. (Figura 5.9)



Figura 5.9 Planicie aluvial activa del río Limay

En las adyacencias del cauce actual, se preservan diseños de canales abandonados meandriformes y sinuosos. (Figura 5.10).

El río Limay dentro de la zona describe una amplia curva hacia el norte con un diseño anastomosado bastante marcado. Esta planicie presenta un relieve plano a suavemente ondulado con una pendiente regional hacia el sureste muy suave con gradientes de 0 a 2%. En general está compuesta en sus términos superiores aflorantes por limos y arenas con fracción psefítica subordinada.

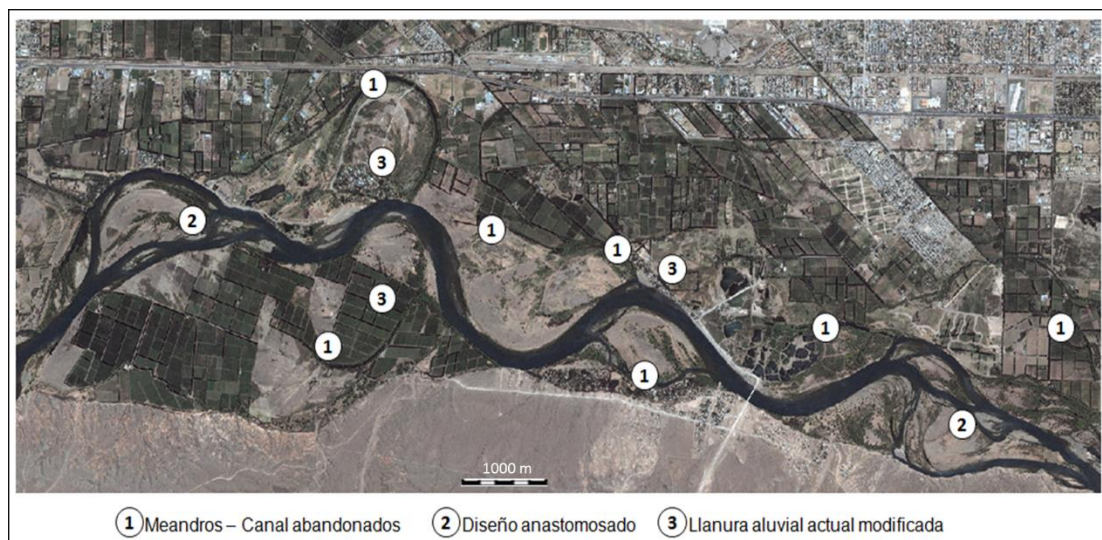


Figura 5.10 Características del cauce actual en el área de estudio.

En la evolución geomórfica fluvial, los meandros corresponden a la etapa de senectud o vejez del paisaje. Pendientes muy suaves, relieve poco marcado y ríos divagantes son

los responsables de la formación de meandros (curvas amplias y pronunciadas en los cursos fluviales). Una corriente deposita materiales en el fondo de su canal, si esas acumulaciones son suficientemente gruesas como para obstruir el cauce, obligan a la corriente a dividirse, la consecuencia es una red compleja de canales convergentes y divergentes que se abren camino conformando islas. Debido a que esos canales tienen una apariencia entrelazada, se dice que la corriente es anastomosada. Los modelos anastomosados se forman con mucha más frecuencia cuando la carga provista por una corriente supera su competencia o su capacidad.

Desde el punto de vista hidrológico la planicie aluvial activa se puede considerar como una forma sometida a una periódica inundación por parte del río que la origina, constituyéndose en el ámbito hiporreico de la corriente de agua. Actualmente se encuentra modificada intensamente por la actividad humana, que en los procesos de uso del suelo (desarrollo de chacras, canteras, actividad petrolera) ha modificado las formas naturales del paisaje.

Los procesos hidrológicos se encuentran vinculados a las distintas características geomorfológicas del área de estudio. En el sector de pedimento de flanco proximal, las altas pendientes condicionan un predominio del escurrimiento superficial de tipo esporádico relacionado con eventos de lluvias de cierta intensidad, en el sector de pedimento de flanco distal continua el escurrimiento superficial asociado a procesos de infiltración subordinados, ya que se encuentran condicionados por la presencia de sedimentos finos. En la planicie aluvial inactiva, el relieve llano y la presencia de sedimentos gruesos, favorecen el predominio de la infiltración y evapotranspiración.

## 6. CONDICIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

### 6.1. Precipitación y temperatura

La precipitación media en el período 1900 - 2015 es de 173 mm/año. Los valores medios mensuales presentan una relativa homogeneidad, siendo el verano algo más seco y los meses de mayores precipitaciones medias son mayo (19,5 mm) y octubre (20,6 mm). Los menores registros son enero (11,6 mm) y febrero (11 mm). (Figura 6.1).

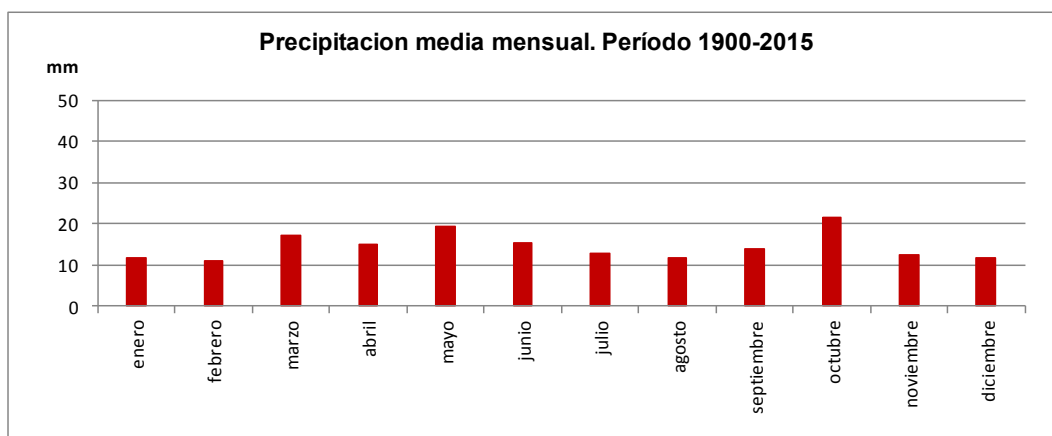


Figura 6.1 Precipitación media mensual 1900 – 2015

En la serie anual (Figura 6.2) se presenta un extremo máximo de 471 mm/año en 1999 y uno mínimo de 26 mm en 1920. A partir de fines de la década del 50 existe un aumento en la precipitación media anual. La media del período 1950 -2015 es un 48% mayor que la de 1900 – 1950. En el gráfico se reconoce una alternancia ciclos de variación de mayor y menor precipitación que tienen una duración de aproximadamente 10 años.

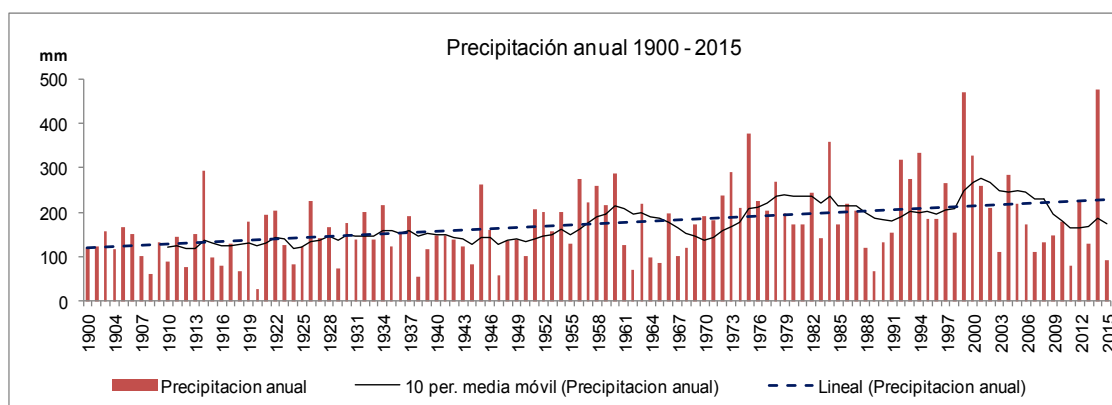


Figura 6.2 Precipitación media anual. Período 1900 - 2015

La precipitación media anual (173 mm/año) es característica de un clima árido, con un balance hídrico que en términos anuales resulta deficitario en cuanto a sus probabilidades de excesos de agua que posibiliten la infiltración y la recarga natural del

agua subterránea. Si se consideran las precipitaciones a nivel mensual (Figura 6.3) algunos meses presentan valores que superan la media anual (con máximos de 200 mm) que pueden producir excesos en cortos períodos de tiempo, favoreciendo un escurrimiento superficial rápido, en especial en el pedimento de flanco y su infiltración en la planicie aluvial inactiva.

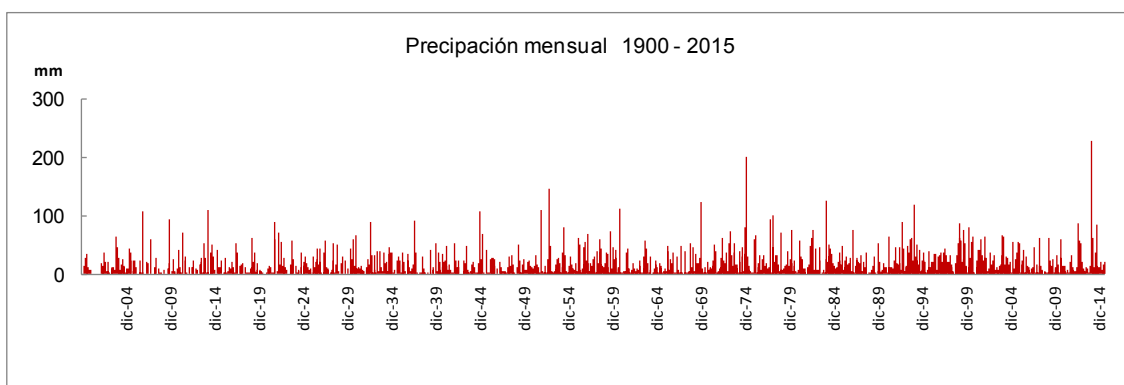


Figura 6.3 Precipitación mensual. Período 1900-2015

Los registros disponibles de temperatura son más escasos que los de precipitaciones y si bien su comportamiento es mucho más estable, su conocimiento no sólo permite la caracterización climática sino estimar la influencia en la evapotranspiración. En el gráfico (Figura 6.4) se observan las temperaturas medias/máximas y mínimas anuales para el período 1958 – 2015.

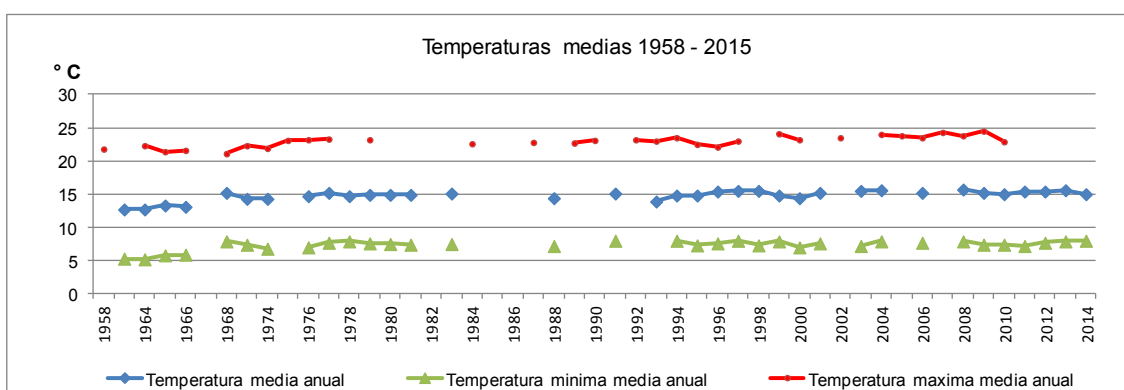


Figura 6.4 Temperaturas medias, mínimas y máximas. Período 1958-2010

La temperatura media anual es  $14,7^{\circ}\text{C}$ , el mes más frío es julio con un valor medio de  $6,1^{\circ}\text{C}$  y el más caluroso es enero con  $23,3^{\circ}\text{C}$ . Al analizar esta variable comparando datos anuales y modulares se observa una homogeneidad de los valores a través del tiempo. (Figura 6.5)

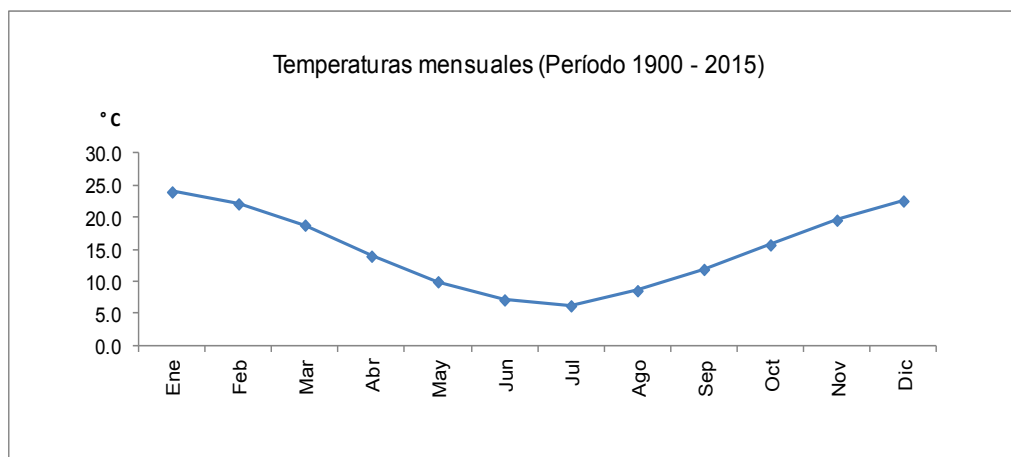


Figura 6.5 Temperaturas medias mensuales

Las características de la precipitación y temperatura del área condicionan el proceso de evapotranspiración que influye en un marcado déficit hídrico en la región.

El clima de la zona es árido (índice hídrico de -60 a -40) con una eficiencia térmica de carácter mesotermal B<sub>2</sub> a' y nulo exceso de agua (índice de humedad de 0 a 10), según la clasificación de Thornthwaite, (1948).

## 6.2. Evapotranspiración y balance hídrico

Si bien es conocida la escasa aplicabilidad que tiene en las zonas áridas la estimación de la evapotranspiración real, para explicar la recarga del agua subterránea se plantean a modo orientativo como una forma de verificar dicha limitación. Entre ellas la metodología de Thornthwaite - Mather (1955) plantea el método con el objeto de estimar la evapotranspiración potencial y valorarla en función de la precipitación. La evapotranspiración potencial estimada según dicha metodología para el período 1900 - 2015 es de 771 mm/año, la evapotranspiración de referencia según Blanney y Criddle (1950), para el mismo período alcanza a 1150 mm/año. En la tabla 6.1 se muestra el balance hídrico de acuerdo a la metodología de Thornthwaite – Mather,(1955) en la cual la evapotranspiración potencial supera ampliamente los valores de precipitación

Tabla 6.1 Evapotranspiración Potencial. Método Thornthwaite - Mather (1957)

1900/2015	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Temperatura	23.3	22	18.2	13.3	9.2	6.1	5.6	8.1	11.2	15.3	19.3	22.2	
ind. Cal. Mensual	10.2	9.42	7.07	4.4	2.52	1.35	1.19	2.08	3.39	5.44	7.73	9.55	64.34
ETPd s/d	3.7	3.4	2.5	1.6	0.9	0.5	0.4	0.7	1.2	2	2.7	3.4	
Factor de correccion	37.8	31.8	32.1	27.9	26.1	23.7	25.2	27.9	30	34.5	36	38.4	
<b>Evapotrans.Potencial</b>	<b>140</b>	<b>108</b>	<b>80</b>	<b>45</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>36</b>	<b>69</b>	<b>97</b>	<b>131</b>	<b>771</b>
Precipitacion	11	11	18	13	20	16	13	12	14	21	12	12	173

En la Tabla 6.2 se presenta el balance hídrico obtenido a partir de la aplicación de la fórmula de Blanney y Criddle (1950). En este caso se utilizaron los coeficientes de

cultivo (Kc) para frutales de pepita, por ser el cultivo predominante en el área. La evapotranspiración del cultivo (ETc) es del orden de 720 mm para un período de 8 meses de riego (septiembre a abril) lo cual significa un déficit anual de 608 mm.

Los meses de menores precipitaciones (diciembre, enero y febrero) coinciden con los meses de mayor requerimiento de los cultivos de referencia (ET0) y de los cultivos de la zona (ETc) lo que condiciona que se correspondan con los de mayor déficit.

Tabla 6.2 Balance Hídrico. Método Blanney y Criddle (1950). 1900-2010

Balance Hídrico Metodo Blanney-Criddle 1900 - 2010 (mm)					
Neuquén Aeropuerto		Latitud: 38° 57' S	Longitud: 68° 08'		Altura: 271 msnm
Mes	Precipitacion	Eto	Kc frutales	Etc	Déficit
Julio	13	33.9	---	---	---
Agosto	12	45.9	---	---	---
Setiembre	14	64.6	0.36	23.3	9.3
Octubre	21	98.6	0.51	50.3	29.5
Noviembre	12	134.3	0.82	110.1	97.9
Diciembre	12	172.1	0.92	158.3	146.2
Enero	11	182.3	0.89	162.2	150.8
Febrero	11	144	0.81	116.6	105.5
Marzo	18	117.9	0.62	73.1	54.9
Abril	13	74.5	0.36	26.8	13.6
Mayo	20	49.1	---	---	---
Junio	16	32.3	---	---	---
<b>Total Anual</b>	<b>173</b>	<b>1149.5</b>	<b>0.62</b>	<b>720.7</b>	<b>607.7</b>

De acuerdo a los resultados de ambos balances no existirían excesos de agua con capacidad de infiltración.

Sin embargo, distintos mecanismos pueden justificar la recarga de agua subterránea en este tipo de ambiente, incluyendo una infiltración rápida que se puede producir en cortos períodos de tiempo asociado a una alta conductividad hidráulica de los sedimentos aflorantes. El análisis de balances hídrico a nivel diario puede ser una base para verificar tal situación.

De esta forma al considerar el balance hídrico para el período 2000 – 2010 con un paso diario de la precipitación y evapotranspiración real, existen excesos de agua en todos los años. (Tabla 6.3). El valor medio anual es de 45 mm, que representa que un 23 % de la precipitación podría infiltrarse o escurrir superficialmente. En el anexo se presentan las tablas precipitación – evapotranspiración real –excesos diarios.



*Tabla 6.3. Precipitación – excesos- evapotranspiración anual calculados a partir de balance diario.*

Año	Precip. (mm)	Exceso (mm)	EvapR (mm)
2000	308	104.1	213.9
2001	255	67.4	175
2002	208	37.9	179.6
2003	108	8.1	104
2004	284	45.3	237.9
2005	221	36.2	184.9
2006	171	35.8	135.4
2007	266	53.4	212.9
2008	129	35.2	94.91
2009	145	31.4	113.4
2010	139	43.9	95
Promedio	203.1	45.3	158.8

Por tratarse de una región de llanura donde el escurrimiento superficial es de escasa significación se reconoce este valor como la precipitación efectiva en un escenario para la recarga del agua subterránea sin riego.

Los excesos de agua se producen en general en relación a eventos de precipitaciones superiores a 30 mm mensuales (Figura 6.6) Las tablas con la información detallada se adjunta en el anexo.

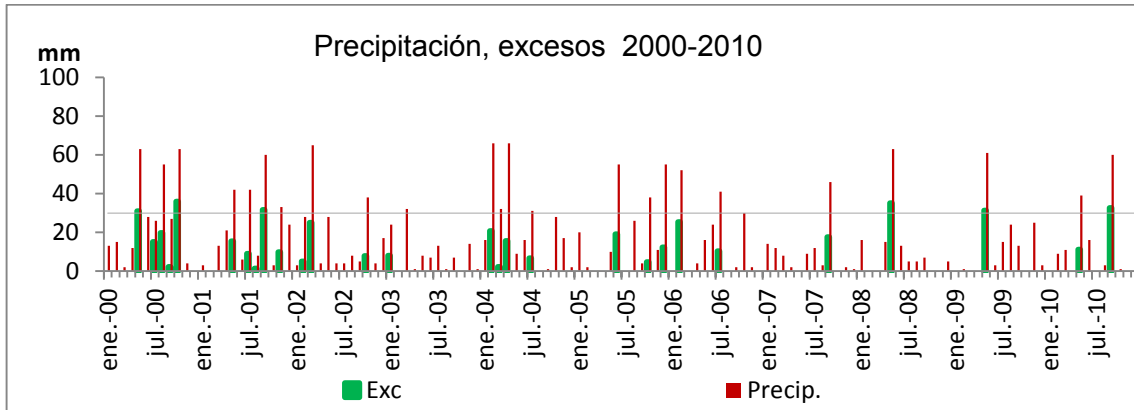


Figura 6.6 Precipitación y excesos hídricos mensuales (2000-2010)

En el período 2003-2005 también se registran excesos en los meses en que la precipitación supera también los 30 mm, sin embargo en mayo de 2005, con un evento de precipitación de 54 mm no se registran excesos, debido a que durante marzo y abril la precipitación fue nula. (Figura 6.7).

	Pptacion mm	Excesos Balshort mm
ene-03	24	9
feb-03	0	0
mar-03	32	0
abr-03	2.6	0
may-03	8	0
jun-03	6.7	0
jul-03	12.8	0
ago-03	1	0
sep-03	7.4	0
oct-03	0	0
nov-03	14	0
dic-03	0.6	0
ene-04	15.7	0
feb-04	66.2	16.4
mar-04	31.9	0
abr-04	65.5	9.3
may-04	8.6	0
jun-04	16.4	0
jul-04	31.1	2.5
ago-04	0.2	0
sep-04	1.2	0
oct-04	27.3	0
nov-04	16.9	0
dic-04	2	0
ene-05	20	0
feb-05	2.1	0
mar-05	0	0
abr-05	0	0
may-05	54.2	0
jun-05	9.8	15
jul-05	0.2	0
ago-05	26.1	0
sep-05	3.9	0
oct-05	38	0
nov-05	10.9	0
dic-05	55.4	7.3

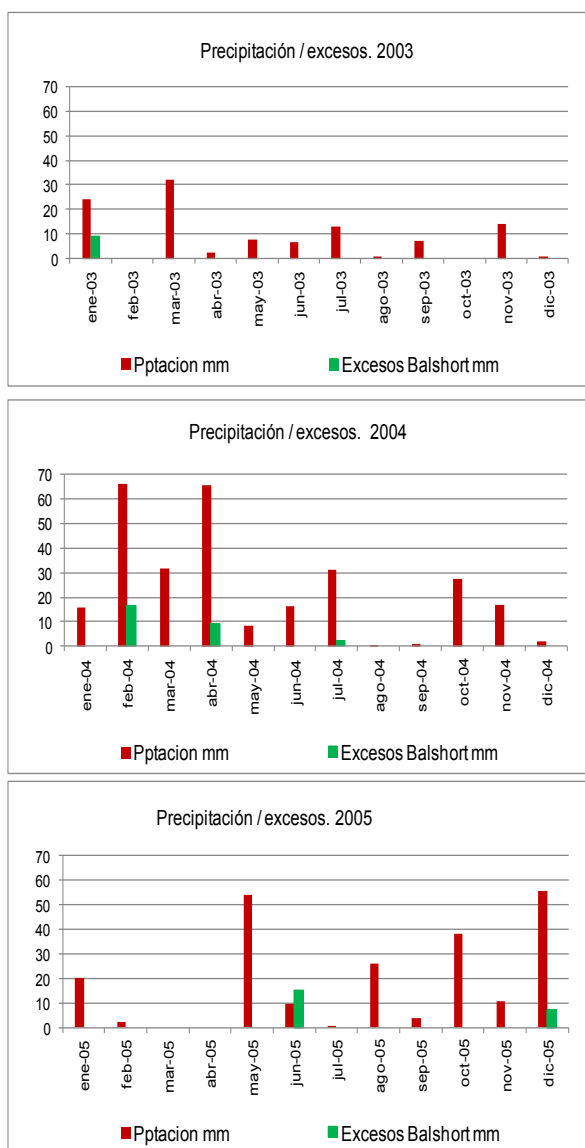


Figura 6.7 precipitación- exceso mensuales. Período 2003-2005

Las precipitaciones que caracterizan el sector de estudio presentan valores medios de 173 mm/año y temperaturas con diferencias importantes entre verano e invierno. Esto condiciona un ambiente con escasa disponibilidad de agua para producir la recarga natural del acuífero y un uso productivo del suelo. Sin embargo la existencia de precipitaciones aisladas, relativamente intensas, asociadas a un escurrimiento superficial rápido desde los pedimentos, justifica la existencia de excesos en cortos períodos de tiempo que tendrían capacidad para recargar el agua subterránea.

## **7. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**

La cuenca del río Limay se caracteriza por su variabilidad hidrológica tanto areal como temporal sujeta a un significativo control antrópico.

### **7.1. Características regionales del río Limay**

El río Limay, es uno de los principales cursos de agua de la Patagonia Argentina. Tiene sus cabeceras a los 790 metros sobre el nivel medio del mar (msnm) con un desnivel aproximado hasta su desembocadura de 500 metros. Constituye el límite entre las provincias de Río Negro y Neuquén y con una dirección noroeste a sudeste se une con el río Neuquén, drenando una superficie aproximada de 61457 Km<sup>2</sup>, para dar origen al río Negro, que desemboca en el Mar Argentino (Bustinza et al., 2011). En su primer tramo y luego de superar a las morenas terminales del valle glacial que aloja al lago Nahuel Huapi, el río fluye por un valle angosto y con barrancas estrechas labradas en las tobas del Terciario Inferior hasta la confluencia con el río Traful, en donde comienzan la cadena de embalses. La cuenca del río Limay se caracteriza por tener gran cantidad de afluentes que drenan depresiones de origen tectónico - glacial situadas en el sector oriental de la cordillera de los Andes.

Entre los afluentes más importantes de la cuenca se encuentra el Aluminé que nace en el lago homónimo y recorre 170 Km de norte a sur, entre la sierra de Catan Lil y el Cordón cordillerano, junto con el río Catán Lil, conforman el río Collón Curá, que se dirige en dirección sureste, en un cauce amplio, anastomosado y de baja pendiente hasta la confluencia con el río Limay (Figura 7.1).

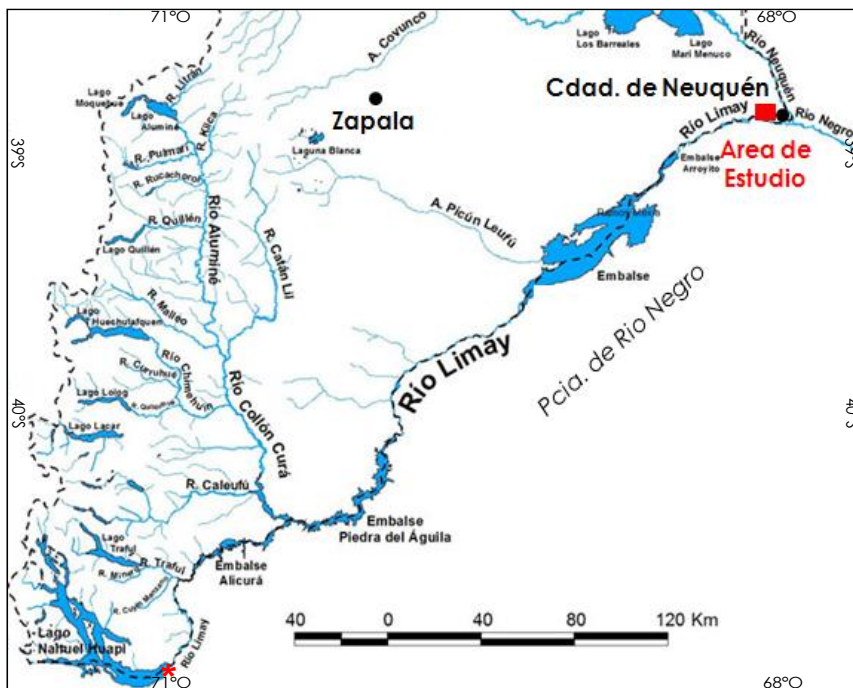


Figura 7.1 Principales afluentes del río Limay.

La cuenca del río Limay cuenta con diez estaciones hidrométricas, con diferentes períodos de registros y distribuidas en su mayoría en la cuenca alta del río. La Figura 7.2 muestra la ubicación de las estaciones.

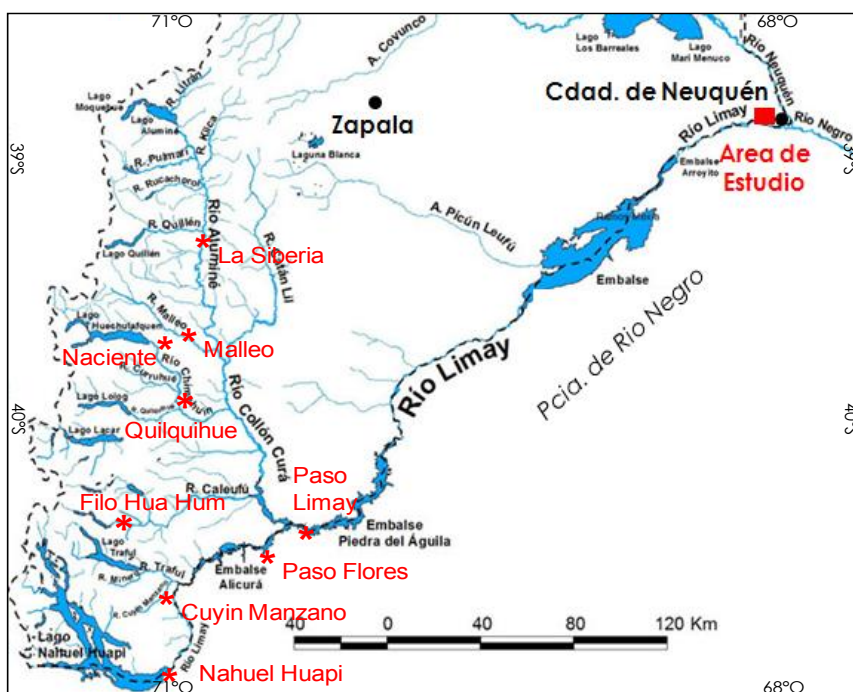


Figura 7.2 Mapa de ubicación de las estaciones Hidrométricas de la Cuenca del río Limay

En la tabla 7.1 se muestran los caudales medios mensuales y sus respectivos años de funcionamiento, calculados a partir de los datos aportados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos (BDHI, 2015)

*Tabla 7.1 Estaciones Hidrométricas de la Cuenca del río Limay*

<b>Río</b>	<b>Estación</b>	<b>Período de medición</b>	<b>Caudal medio m<sup>3</sup>/s</b>
Aluminé	La Siberia	1978-2011	152.85
Cuyín Manzano	Cuyín Manzano	1971-2011	9.92
Chimehuín	Naciente	1935-2011	67.79
Filohuahum	Filohuahum	1903-1947	20.75
Limay	Nahuel Huapi	1921-2011	222.00
Limay	Paso Flores	1941-2011	284.37
Limay	Paso Limay	1903-1990	734.06
Malleo	Mall	1973-2011	33.31
Pichi Leufú	Paso Flores	1960-1969	6.54
Quilquihue	Junín de los	1962-2011	33.63

Sobre el río Limay se han construido distintas represas, destinadas a la producción de la energía hidroeléctrica. Su ubicación es aguas arriba del área de estudio.

En la Figura 7.3 se muestra la ubicación de las represas y su situación en referencia al área de estudio.



Figura 7.3 Mapa de ubicación de represas sobre el río Limay.

La construcción de las represas de Alicurá, Piedra del Águila, Pichi Picún Leufú, Chocón y Arroyito, significó un aumento de las áreas embalsadas y por lo tanto una disminución de los trayectos originales del río.

La Tabla 7.2 presenta la información proporcionada por el Organismo Regulador de Seguridad de Presas dependiente de la Secretaria de Obras Públicas. (ORSEP, 2015) y resumida en Martínez (2009)

Tabla 7.2 Represas ubicadas en la Cuenca del río Limay

Nombre	Puesta en operación	Población Cercana	Río. Cuenca	Generación media anual	Tipo de presa
El Chocón	1972	Senillosa	Limay. Río Negro	3350 GW/h	Materiales sueltos. Zonificada
Arroyito	1983	Senillosa	Limay. Río Negro	720 GW/h	Materiales sueltos. Homogénea
Alicurá	1984	S.C. Bariloche	Limay. Río Negro	2360 GW/h	Materiales sueltos. Zonificada
Piedra del Águila	1993	Piedra del Águila	Limay. Río Negro	5500 GW/h	Hormigón de gravedad
Pichi Picún Leufú	1999	Piedra del Águila	Limay. Río Negro	1080 GW/h	Materiales sueltos con pantalla de Hormigón.

La cuenca del río Limay, presenta la única planta que produce agua pesada en Sudamérica, situada en cercanías de la represa de Arroyito a 54 km al sur de la ciudad de Neuquén, en la confluencia de la Ruta Nacional 22 y la Ruta Nacional 237.

## 7.2. Régimen hidrológico

La estación Paso Limay, es la más cercana al área de estudio y se encuentra aguas arriba de un grupo de represas que condicionan el régimen del río Limay.

El caudal medio estimado es de 713 m<sup>3</sup>/seg, presentando un régimen hidrológico pluvionival, atenuado por los lagos naturales ubicados en las nacientes de casi la totalidad de los tributarios importantes que constituyen su red hidrográfica. Este régimen es propio de los cursos de agua de nacientes lacustres en donde las precipitaciones pluviales y níveas son embalsadas por esos lagos, los cuales transfieren los volúmenes de agua retenidos en forma gradual, disminuyendo así las crecidas y aumentando el caudal de los estiajes.

Las subcuencas situadas aguas abajo de los lagos tienen características climáticas semiáridas, con caudales de magnitud solamente durante la estación de crecidas



alcanzando éstas picos acentuados. La crecida máxima probable simulada para el río Limay alcanzaría un caudal de 18.900 m<sup>3</sup>/s en el ingreso a Piedra del Águila. (IRN, 2015).

Los registros (1903 -1990) reflejan las condiciones generales de la variabilidad en los caudales del río, que se caracteriza por presentar una doble onda de crecida anual. La primera de ellas se produce en invierno (1033 m<sup>3</sup>/seg), asociada a la precipitaciones en la cuenca superior y la segunda, que se registra hacia fines de la primavera (1047 m<sup>3</sup>/seg) debida a la fusión de la nieve caída durante el invierno en la cordillera, como consecuencia del aumento de las temperaturas ambientes. (Figura 7.4)

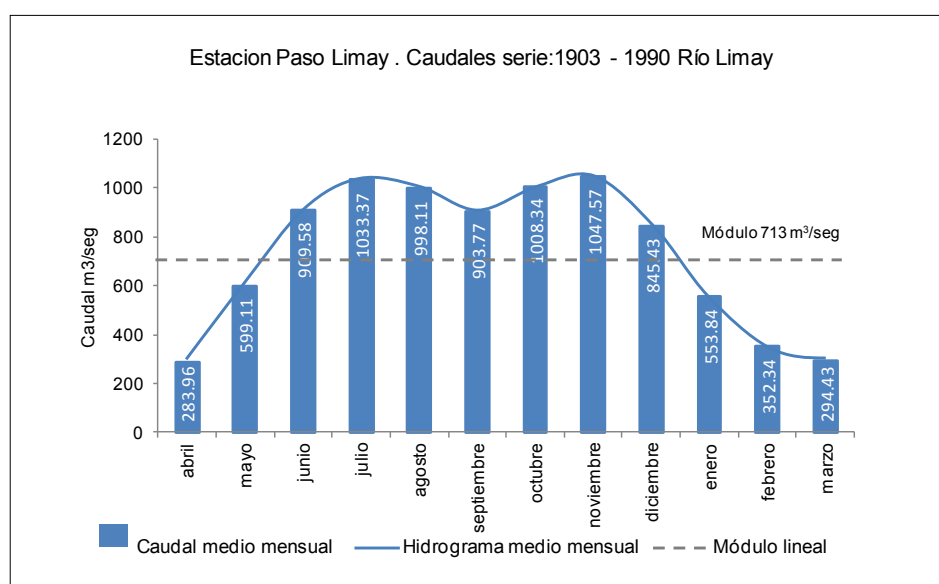


Figura 7.4 Caudales medios mensuales 1903-1990. Estación Paso Limay

Los datos anuales indican que los valores varían entre 391 m<sup>3</sup>/seg a 1252 m<sup>3</sup>/seg, reconociéndose una tendencia a una leve disminución de los caudales en el período 1903 - 1990. El caudal máximo anual se alcanzó en 1915 con 2628 m<sup>3</sup>/seg y el mínimo fue de 72 m<sup>3</sup>/seg en 1957 (Figura 7.5).

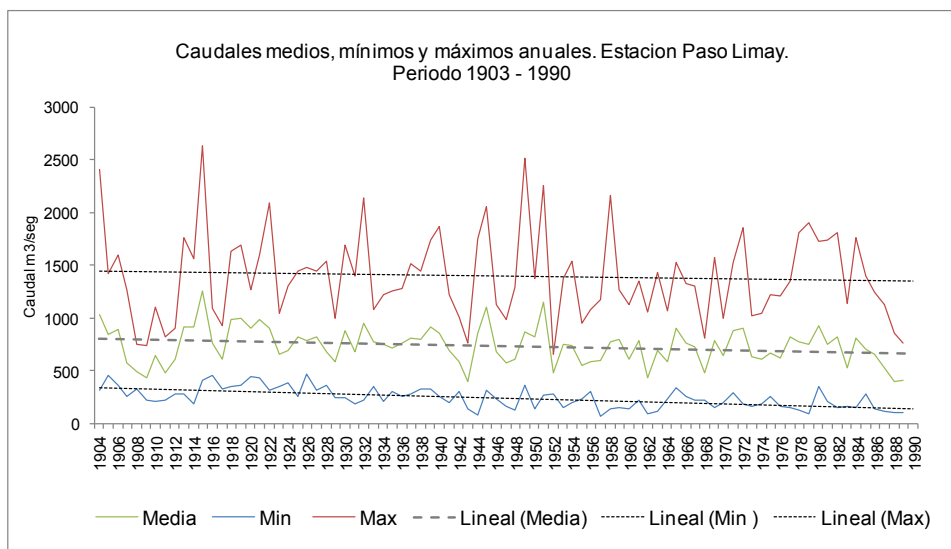


Figura 7.5 Caudales anuales mínimos, medios y máximos. Años 1903 – 1990 Estación Paso Limay

Los valores mensuales muestran que aquellos superiores a los 2000 m<sup>3</sup>/seg se producen durante el invierno, en mayo, junio y julio y se registran hasta 1959. Los caudales mínimos en cambio corresponden a fines del verano durante febrero y marzo (Figura 7.6).

En toda la secuencia se destaca la existencia de un caudal de base del orden de 250 m<sup>3</sup>/seg en Paso Limay.

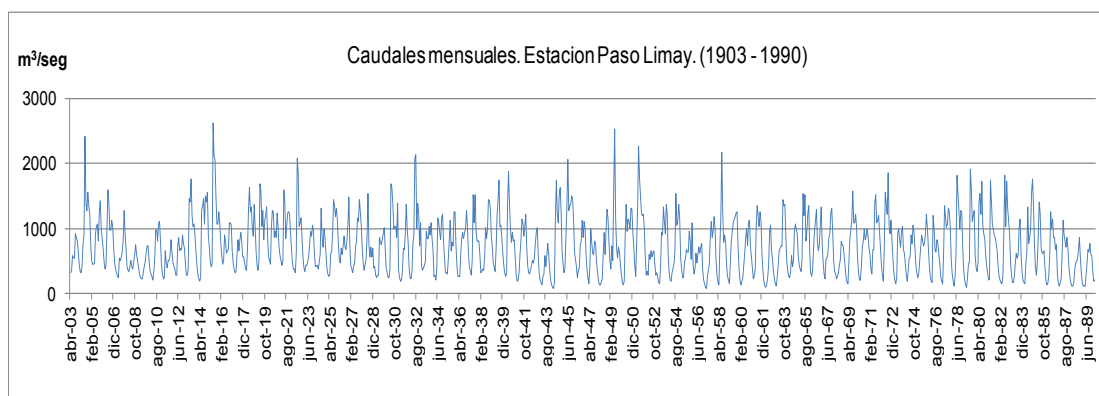


Figura 7.6 Caudales mensuales en la Estación Paso Limay. Años 1903-1990

### 7.3. Variabilidad de las alturas del río

#### 7.3.1. Condiciones generales

En la zona específica de estudio sólo existe una estación hidrométrica, Balsa Las Perlas, que refleja variaciones del nivel de agua en el río.

La medición de caudales más cercana al área de estudio se sitúa en Paso Limay. Dado que no existe ningún afluente de significación entre estas dos posiciones es posible plantear un régimen de caudales similar entre ambos puntos, reconociéndose que existe un efecto regulador debido al conjunto de represas que se ubican aguas abajo del sitio de medición. (Figura 7.7).

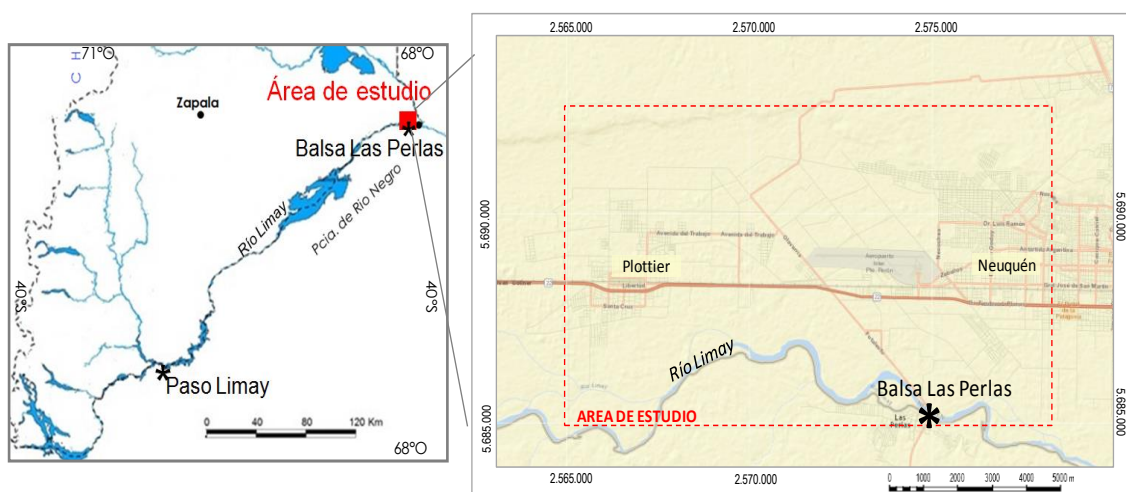


Figura 7.7. Ubicación de la estación Hidrométrica Balsa Las Perlas

Los registros hidrométricos de Balsa Las Perlas se extienden desde 1953 hasta la actualidad. Si bien estos registros son menos extensos que los correspondientes a Paso Limay, en el análisis del período 1959 a 2013 puede observarse un comportamiento similar, correspondiendo las mayores alturas a los meses de mayores caudales medidos aguas arriba en Paso Limay. Por lo tanto se refleja la doble onda de crecida, con dos máximos, uno en julio y otro en octubre, aunque este último es algo más atenuado. (Figura 7.8)

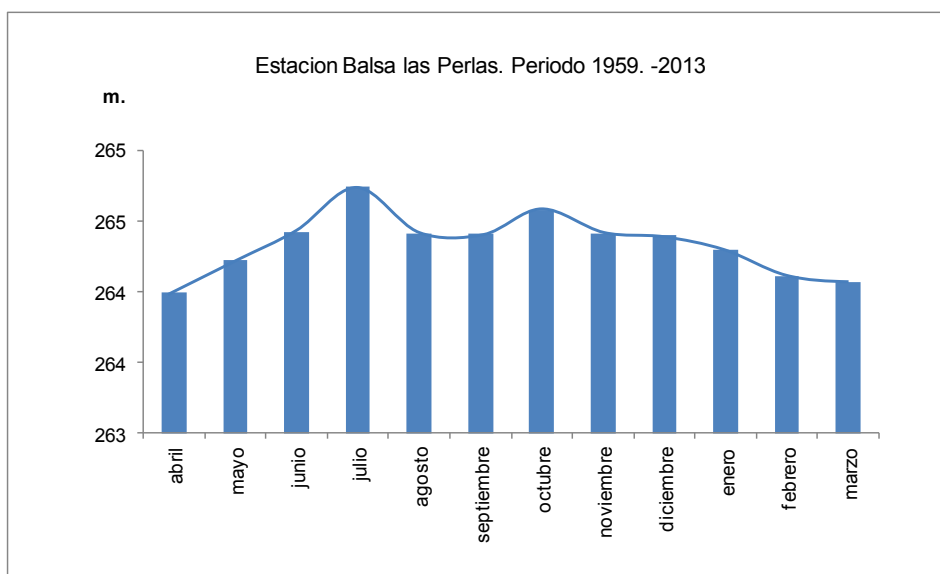


Figura 7.8 Altura media mensual del período 1953- 2013. Estación Balsa Las Perlas Las alturas medias en una serie mensual indican valores del orden de 264 msnm, registrándose un rango de variación cercano a los 3 m, con el valor máximo en julio de 2001 con 266 msnm y el mínimo en abril de 2009 con una altura de 263 msnm. (Figura 7.9)

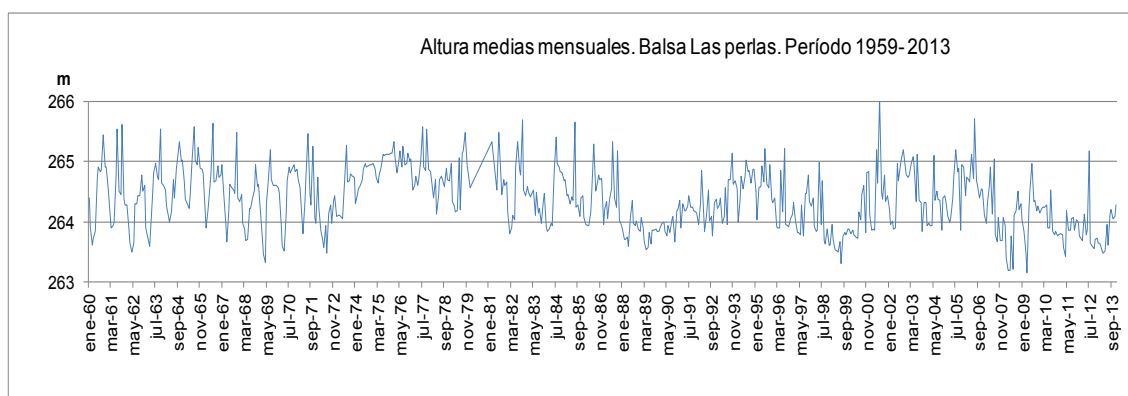


Figura 7.9 Alturas medias mensuales del río Limay. Estación Balsa Las Perlas

### 7.3.2. Variaciones diarias de los niveles del río

El análisis de los niveles del río permite diferenciar un régimen hasta 1973 y otro a partir de esa fecha, en coincidencia con la puesta en funcionamiento la represa El Chocón. En el primer caso las respuestas aparentan variaciones que resultan más adecuadas a las condiciones naturales del río, en cambio posteriormente se aprecian los efectos reguladores del embalse ejercidos en dicho régimen. (Figura 7.10)

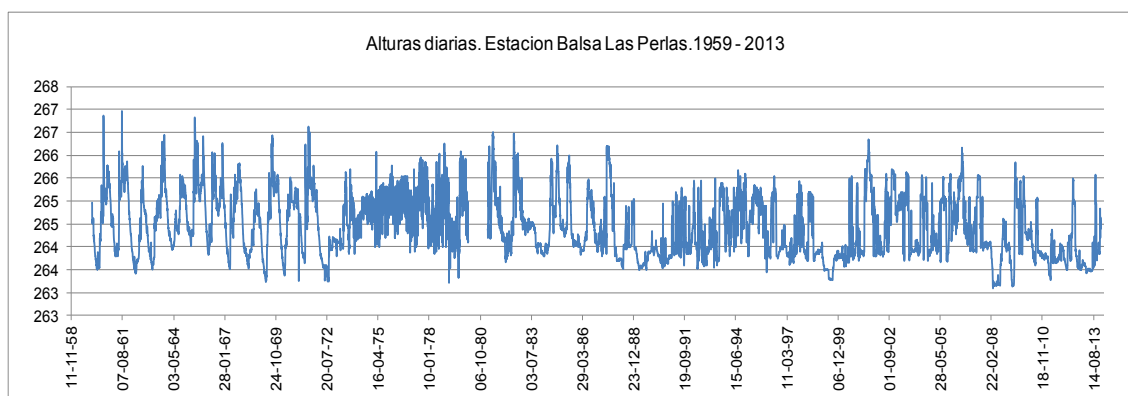


Figura 7.10 Alturas medias diarias del río Limay. Estación Balsa Las Perlas Años 1959 - 2013

A partir de octubre de 1973 y hasta alrededor de los años 80 las alturas son controladas por la represa El Chocón. En 1983 se pone en servicio el dique compensador Arroyito cuyo objetivo primordial fue evitar las fluctuaciones diarias del caudal del río originadas por la variación en la producción de energía por El Chocón. (Figura 7.11)

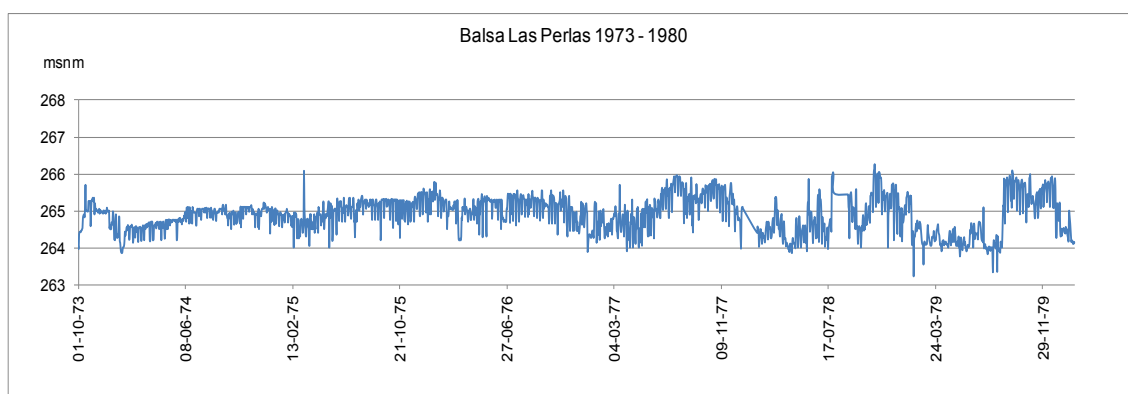


Figura 7.11 Alturas medias diarias del río Limay. Estación Balsa Las Perlas Años 1973 - 1980

Durante la década del 80 y 90 se instalan las represas de Alicurá y Piedra del Águila. A comienzos de período se observan picos de crecidas que coinciden en general con los meses de invierno (julio) que superan los 266 msnm. A partir de los 90 se pone de manifiesto la mayor atenuación que se produce sobre los caudales del río. (Figura 7.12)

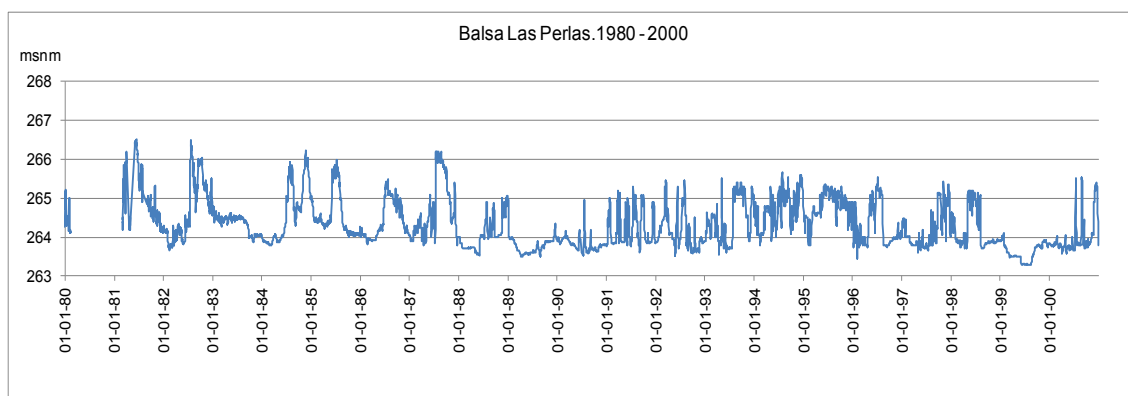


Figura 7.12 Alturas medias diarias del río Limay. Estación Balsa Las Perlas Años 1980 - 2000

En 1999 comienza a funcionar la represa Pichi Picún Leufú, y continúa el control que ejercen las represas sobre el régimen del río. Las menores alturas del período se registraron en 2008 y 2009 con valores de 263 msnm. (Figura 7.13)

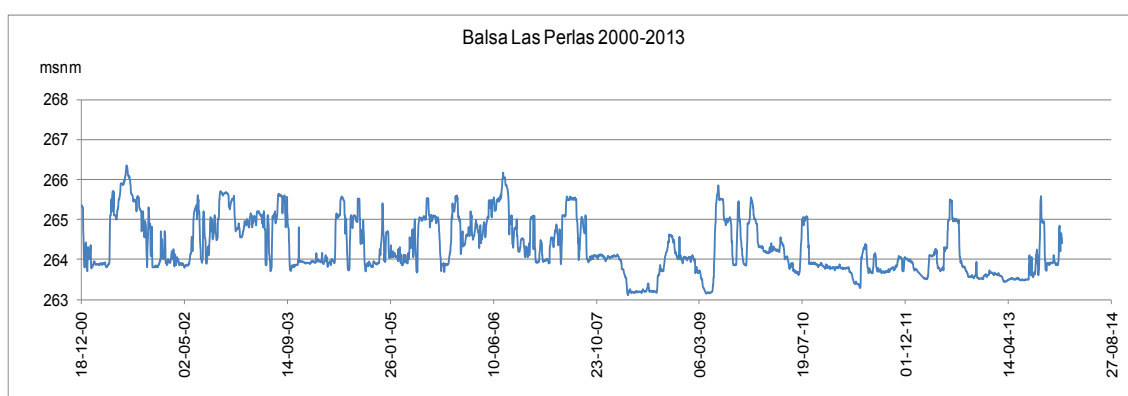


Figura 7.13 Alturas medias diarias del río Limay. Estación Balsa Las Perlas Años 2000 - 2013

### 7.3.3. Condiciones particulares (2003 – 2005)

Particularmente en el período correspondiente a este estudio 2003 – 2005 se observa la regulación ejercida en los niveles del río por los embalses. Se diferencian dos períodos: uno de octubre a mayo la altura del río es menor con un registro mínimo en octubre de 2003 con 263,84 msnm. En este caso los niveles del río tienden a una constancia, derivada de la regulación que ejerce el embalse en el período con menor afluencia. Entre junio y septiembre las alturas son mayores y presentan una mayor oscilación, registrándose un valor máximo de 265,5 msnm en agosto de 2003. (Figura 7.14).

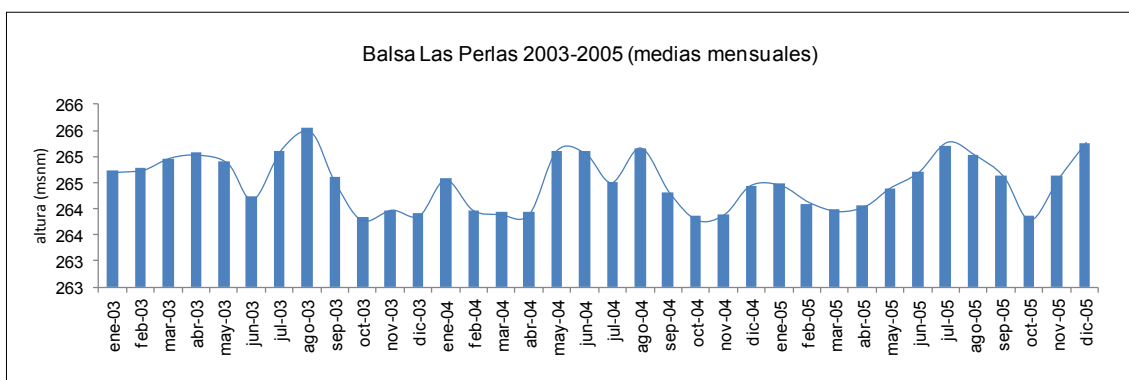


Figura 7.14 Alturas medias mensuales del río Limay. Estación Balsa Las Perlas Años 2003 - 2005

Las oscilaciones producidas cuando el río presenta las menores alturas varían entre 0,6 a 1 m y son prácticamente constantes. En los niveles más altos del río las variaciones son mayores mostrando diferencias entre 0,75 a 2,50 m presentando una mayor irregularidad. (Figura 7.15)

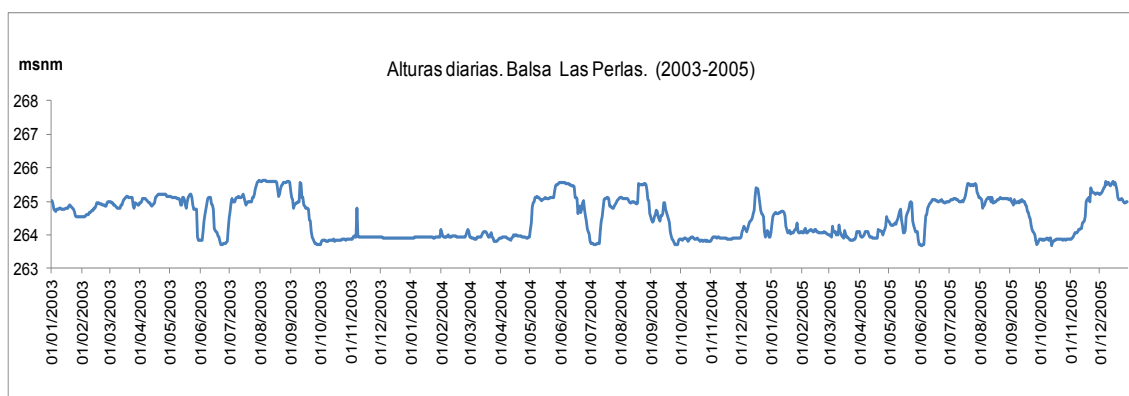


Figura 7.15 Alturas medias diarias del río Limay. Estación Balsa Las Perlas Años 2003 - 2005

Las características de regulación y uso que presenta el río Limay condicionan su funcionamiento, sin embargo puede observarse una correspondencia con los caudales medidos en Paso Limay, mostrando una doble onda de crecidas que ocurren en invierno y fines de primavera.

Las alturas del río Limay en el área de estudio constituyen un nivel de base en la descarga que produce el agua subterránea en la planicie aluvial del río.

#### 7.4. Variaciones temporales en el nivel del río y su aplicación a la relación aguas superficiales – aguas subterráneas

Para conocer la relación entre el acuífero freático alojado en la planicie aluvial y el agua superficial del río Limay, es necesario conocer las variaciones temporales y su influencia espacial en la altura del nivel río a lo largo de su recorrido dentro del sector de estudio.

Ante la falta de información de detalle, para estimar la altura del nivel del río a lo largo de su traza se utilizaron los datos hidrométricos de Balsa Las Perlas y la información disponibles de alturas y caudales elaboradas en Halcrow (2002). Estos datos se refieren a estimaciones de alturas para dos caudales en las estaciones: Anaya, Río Negro, Club Banco Provincia Neuquén y Confluencia, asociadas a Balsa Las Perlas que se encuentra dentro del sector de estudio. (Figura 7.16)



Figura 7.16 Esquema de ubicación de estación Balsa Las Perlas y sitios con información de altura del río Limay

En la Tabla 7.3 se muestra la estimación de altura correspondiente a cada estación referida en progresiva a Confluencia, para caudales de 1020 m<sup>3</sup>/seg y 1290 m<sup>3</sup>/seg.

Tabla 7.3 Caudal altura. Plan Maestro Pluvioaluvional, Neuquén. Halcrow, 2002

Escala	Cota "0" (m)	Progresiva (m)	Cota para: Q Limay=1020m <sup>3</sup> /s	Cota para: Q Limay=1290m <sup>3</sup> /s
Balsa Las Perlas	263,1	11650	264,4	265,73
Anaya	259,82	6500	262,12	262,52
Río Negro	257,76	3000	258,61	259,97
Club Banco Provincia	256,19	1780	258,59	259,13
Confluencia	254,2	0	257,45	257,88



Se utilizaron los datos de las Confluencia y Balsa Las Perlas, distanciadas entre sí 11650 metros y se determinaron los gradientes hidráulicos para la situación de ambos caudales. (Tabla 7.4)

*Tabla 7.4 Gradiente calculado entre las Estaciones Balsa Las Perlas y Confluencia para caudales de 1020 m<sup>3</sup>/seg y 1290 m<sup>3</sup>/seg*

		Caudal 1020 m <sup>3</sup> /s		Caudal 1290 m <sup>3</sup> /seg	
Estación	Distancia (m)	Altura del río (msnm)	Gradiente hidráulico	Altura del río (msnm)	Gradiente hidráulico
Balsa Las Perlas	11650	264,40	0,000597	265,73	0,000674
Confluencia	0	257,45		257,88	

Si se asume que las secciones del río se mantienen prácticamente constantes para el rango restringido de alturas analizadas, estos valores altura – gradiente definirán una función lineal que permite estimar el gradiente para diferentes alturas del río Limay en Balsa Las Perlas.

Se estimaron los gradientes hidráulicos para cada mes, utilizando medias mensuales a partir de datos diarios de altura en Balsa Las Perlas. Las variaciones de alturas para el período están comprendidas entre 263,8 y 265,5 msnm y los valores de gradiente asociados entre 0,000541 y 0,000641 (Tabla 7.5)

Tabla 7.5

Fecha	Altura BLP(m)	Gradiente
ene-03	264.7	0.000616
feb-03	264.8	0.000619
mar-03	265.0	0.000629
abr-03	265.1	0.000636
may-03	264.9	0.000626
jun-03	264.2	0.000588
jul-03	265.1	0.000638
ago-03	265.5	0.000663
sep-03	264.6	0.000609
oct-03	263.8	0.000564
nov-03	264.0	0.000571
nov-03	264.0	0.000571
dic-03	263.9	0.000568
ene-04	264.6	0.000607
feb-04	264.0	0.000572
mar-04	263.9	0.000570
abr-04	263.9	0.000570
may-04	265.1	0.000637
jun-04	265.1	0.000637
jul-04	264.5	0.000603
ago-04	265.2	0.000641
sep-04	264.3	0.000591
oct-04	263.9	0.000565
nov-04	263.9	0.000568
dic-04	264.4	0.000598
ene-05	264.5	0.000602
feb-05	264.1	0.000578
mar-05	264.0	0.000573
abr-05	264.1	0.000577
may-05	264.4	0.000596
jun-05	264.7	0.000615
jul-05	265.2	0.000643
ago-05	265.0	0.000633
sep-05	264.6	0.000610
oct-05	263.9	0.000565
nov-05	264.6	0.000610
dic-05	265.3	0.000646
MIN	263.8	0.000564
MAX	265.5	0.000663
PROM	264.5	0.000603

El tramo del río comprendido entre Balsa Las Perlas y Confluencia es de características similares, en cuanto a sección y geometría al sector específico del área de estudio. Esto permite aplicar el gradiente obtenido en Balsa Las Perlas en la sección aguas arriba del río que comprende unos 10 km de longitud.

De esta forma se estimó la altura del río en los diferentes puntos, utilizando la fórmula básica de gradiente para cada mes.

$$\Delta h = i \times L$$

$$H_x = H_{lp} + \Delta h$$

$H_x$ : altura del río en el punto a calcular.(msnm)

$L$ : distancia horizontal entre Balsa las Perlas y el punto a calcular (m)

$H_{lp}$ : altura en Balsa las Perlas (msnm)

$\Delta h$ : diferencia de altura entre el punto a calcular y Balsa Las Perlas

$i$ : gradiente en Balsa las Perlas.

En el análisis de los gradientes estimados para el río se puede observar que los mayores gradientes coinciden con las mayores alturas en Balsa Las Perlas que se producen generalmente durante los meses de julio y agosto.

Finalmente estos datos de altura de los diferentes puntos del río fueron incorporados a la base de datos tanto para la confección de mapas de flujo subterráneo, con el objeto de establecer la relación existente entre al agua subterránea en la planicie aluvial y la planicie de inundación, como una base para la formulación del modelado matemático.

### 7.5. Canales de riego

En el área de estudio no existe un control sobre la entrega de agua de riego a cada parcela y tampoco son considerados los requerimientos hídricos de los cultivos. Estos son regados por gravitación, en surcos o en melgas rectangulares sin desagüe al pie.

Se aplica el agua hasta que se cubre un cierto espesor para luego pasar al siguiente paño de riego. No existe uniformidad entre los tamaños de parcelas y los tiempos de riego establecidos.

El riego de los cultivos frutícolas responde a diversos métodos, que incluyen desde el goteo y microaspersión hasta el riego por manto. Las eficiencias de estos sistemas varían entre el 90% (goteo) hasta menos del 25% (manto).

El Canal Principal al llegar a la ciudad de Plottier presenta una sección irregular ya que también es utilizado como zanja para el vertido de todo tipo de residuos, finalizando al derivar el último canal secundario del sistema de riego en el aeropuerto de la ciudad de Neuquén. Los canales secundarios son canales de conducción y la entrega de agua a los predios se efectúa a través de los canales terciarios y cuaternarios, que son de distribución.

En el sector más antiguo del valle, Plottier-Colonia Valentina-Confluencia, se cuenta con una red de distribución en aceptable estado de utilización. (Figura 7.18) La dotación de riego asignada históricamente es de 1L/ha/seg

Las parcelas reciben el agua de riego por turnos que se repiten cada 7 u 8 días de acuerdo a la zona desde fines de agosto hasta fines de abril. Los turnos presentan un cronograma, dividido en dos modalidades: el turnado fijo de siete (7) días y el turnado rotativo de ocho (8) días, establecidos anualmente y mantenidos durante todo el período de riego considerado. El turnado fijo se adelanta cada año 36 horas para lograr una rotación anual en los días y horarios de riego y el rotativo se lo adelanta 12 horas a esos mismos efectos.



*Figura 7.18 Vista de canales de riego.*

No existe un sistema de drenes por parcelas, la infraestructura de drenaje está compuesta por una red de desagües que tienen diferentes puntos de descarga libre sobre el río Limay. Los colectores de desagües están conectados entre sí desde su origen en las zonas de chacras hasta su descarga libre al río, con independencia de las fluctuaciones de su nivel. Esta red colecta los excedentes de riego, las aguas pluviales y tiene el objeto de evitar los desbordes de los canales de riego.

## 8. HIDROGEOLOGIA

Se reconocen las propiedades en las unidades litológicas desde el punto de vista de su capacidad para recibir, almacenar y transmitir agua a partir de las características geológicas descriptas.

Ello lleva a diferenciar:

- Sustrato Triásico: compuesto por las rocas volcánicas relacionadas al Grupo Choiyoi, que se corresponden con una unidad primariamente acuífuga.
- Sedimentitas Triásico – Cretácico Medio, que abarcan a una sucesión sedimentaria consolidada de variadas litologías de carácter continental y marino, de las cuales se carece de información acerca de sus propiedades hidrogeológicas.
- Sedimentitas Cretácico Superior, que se corresponden con el Grupo Neuquén, constituyendo una sucesión de areniscas, fangolitas y arcilitas de carácter continental que representan una secuencia alternante de unidades acuíferas, acuitardas y acuicludas, cuyo conocimiento deriva principalmente de datos indirectos obtenidas de los perfilajes de perforaciones petroleras.
- Gravas y arenas Pleistocenas, Holocenas, correspondientes a la planicie aluvial del río Limay. Constituye la unidad acuífera más superficial y es de la que se cuenta con mayor información directa y resulta el objeto fundamental de este estudio.

De modo que, de acuerdo al conocimiento actual, se define un sistema geohidrológico compuesto por una unidad somera, directamente relacionada con el ciclo hidrológico actual y con las actividades del hombre, y por una unidad profunda, compuesta esencialmente por las sedimentitas del Grupo Neuquén, que si bien es escasa la información hidrogeológica, el comportamiento general del agua subterránea se deduce a partir de datos indirectos provenientes de la exploración petrolera. (Cuadro 8.1)

Edad	Unidad estratigráfica	Unidad hidrogeológica	Comportamiento Hidrolitológico
Pleist.Holoceno	Depositos aluviales	Unidad somera	acuífero
Cretácico	Grupo Neuquen	Unidad profunda	Intercalaciones de niveles acuíferos, en una secuencia acuitarda - acuícludo
	Grupo Mendoza		desconocido
Jurásico	Grupo Lotena		
	Grupo Cuyo		
Triásico	Grupo Precuyo		
Pérmico	Grupo Choyoy		

Cuadro 8.1 Sistema geohidrológico

### 8.1. Unidad somera (acuífero freático)

En el cuadro hidrogeológico la unidad somera incluye al sistema acuífero freático que se desarrolla en su mayor extensión en sedimentos aluviales cuaternarios, formados por gravas y arenas sueltas de variada granulometría, que pasan transicionalmente a sedimentos más finos (arena, limo y arcilla) hacia el sector de pedimento de flanco. Los límites verticales están dados por el suelo (orden Entisol,) en superficie con algo menos de 1 metro de espesor y por las niveles de escasa permeabilidad del Grupo Neuquén en profundidad.

Como límites laterales al norte el pedimento de flanco proximal (Grupo Neuquén) y al sur el límite hidrológico que constituye el río Limay. Los límites de la base y del borde norte son en general sedimentos de baja permeabilidad (acuicludos – acuitardos) correspondientes a la secuencia superior del Grupo Neuquén. (Figura 8.1.a y b).

Los suelos presentan texturas medias a gruesas (franca, franca arenosa, areno franca), son bien drenados y masivos o débilmente estructurados y poseen muy bajos contenidos de materia orgánica.

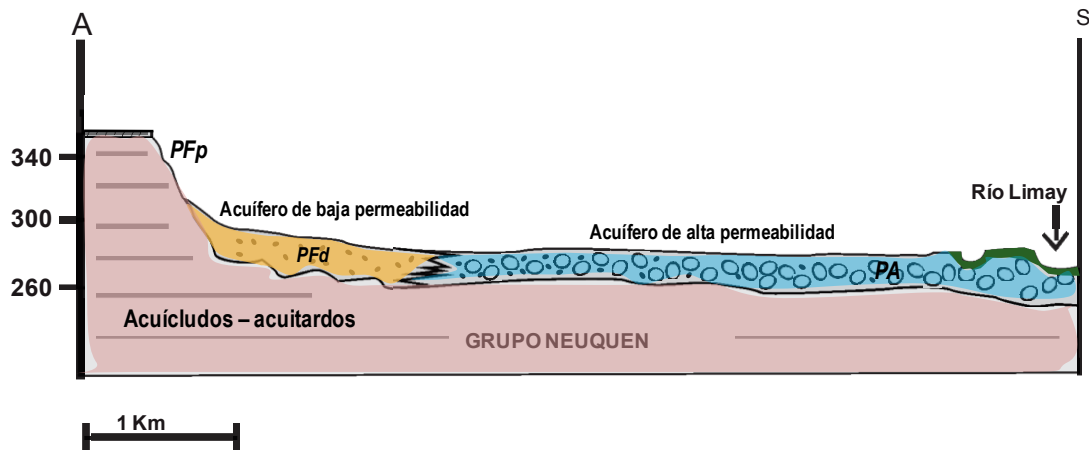
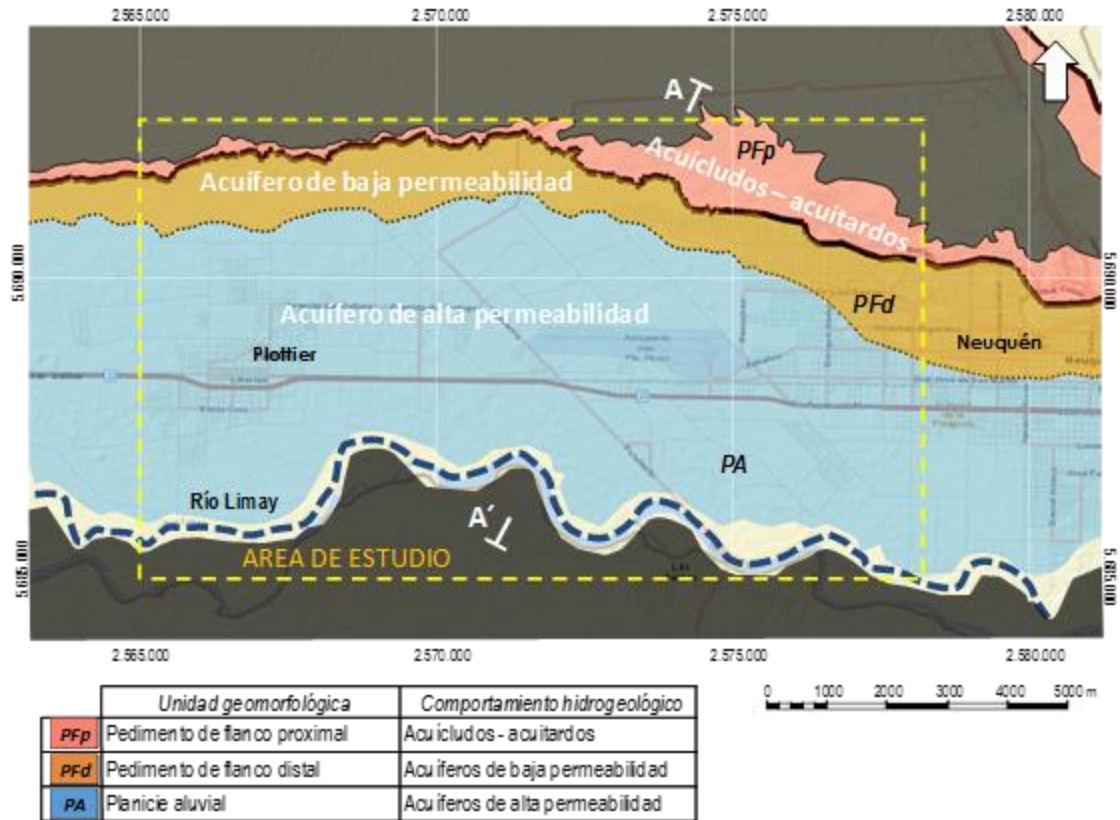


Figura 8.1 Caracterización hidrogeológica del sector de estudio Planta (a) y perfil (b)

El acuífero queda definido por un manto aluvial de gravas con participación menor de arena gruesa como matriz y limos y arcillas en los depósitos de canales y meandros inactivos. Este manto está conformado por clastos de grandes tamaños, y presenta un espesor medio que varía entre 10 y 12 m.



El rasgo geomorfológico dominante en la zona, es el de la planicie aluvial activa e inactiva del río Limay, que limita hacia el Oeste con un relieve de mesetas de mayor elevación. El pedimento de flanco distal se desarrolla a lo largo de la meseta, y constituye una unidad transicional de ancho variable que presenta un delgado espesor de sedimentos pedemontanos con pendiente hacia la planicie y con relieve plano a suavemente ondulado. El acuífero freático ocupa ambas geoformas, por lo que muestra variaciones tanto en su génesis como en su conformación litológica y características hidráulicas. Se desarrolla en su mayor extensión en gravas y rodados, interdigitándose hacia el sector de pedimento de flanco distal con sedimentos formados por arena, limo y arcilla de baja conductividad hidráulica.

La superficie del terreno en la planicie aluvial se caracteriza por una baja retención de agua en el suelo y una alta capacidad de infiltración, que puede superar los 10 cm/hora, lo cual permite calificar a este proceso como moderadamente rápido.

El manto aluvial de gravas, desde un punto de vista hidrogeológico representa a una unidad que posee una alta capacidad de almacenamiento y transmisión de agua de acuerdo a las características litológicas e hidráulicas. Según los datos de relevamiento de campo y a ensayos hidráulicos esta unidad acuífera se caracteriza por una alta conductividad hidráulica. La transmisividad media es del orden de 1000 m<sup>2</sup>/día, y la conductividad hidráulica variable entre 100 y 150 m/día. La porosidad efectiva estimada según las características texturales de los sedimentos varía entre 15% y 35%.

En cuanto a los depósitos del pedimento de flanco distal, en base a las características sedimentológicas, corresponden a un acuífero de baja permeabilidad, del orden de 5m/día y una porosidad efectiva menor al 5%.

## 8.2. Unidad profunda

En esta unidad geohidrológica se incluye al sustrato, a las sedimentitas Triásico – Cretácico Medio y a las sedimentitas del Cretácico Superior. Sólo es posible realizar deducciones de carácter hidrogeológico de esta última, que corresponde al Grupo Neuquén y que resulta la base del nivel acuífero somero.

El Grupo Neuquén está constituido por una sucesión monótona de areniscas y fangolitas de origen continental, con raras intercalaciones de capas conglomerádicas, siendo sus colores predominantes rojo y gris ocre. Las areniscas, de grano fino a grueso, pueden presentar buenos valores de porosidad y permeabilidad que permiten el contenido y la

circulación de agua. Un rasgo distintivo es una marcada estratificación entrecruzada. Las fangolitas son materiales de grano muy fino de baja conductividad hidráulica.

Específicamente en la región de estudio, es posible citar sólo dos perforaciones documentadas, realizadas con fines hidrogeológicos que incluyen los metros superiores del Grupo Neuquén. Una antigua perforación de la ex Dirección Nacional de Geología y Minería fue situada en Plottier (próxima al río Limay) con una profundidad total de 116,25 m. La otra fue ejecutada hacia el pedimento de flanco distal, que alcanzó una profundidad final de 122 m. Tal como fuera indicado, la información hidrogeológica del Grupo Neuquén no es satisfactoria, ya que no se cuenta con información de los parámetros hidráulicos y calidad química que permitan definir regionalmente el comportamiento de los acuíferos alojados en estos sedimentos. Los registros de las dos perforaciones mencionadas son insuficientes, no existiendo otros datos directos de perforaciones de agua.

A través de una serie de datos derivados de perfilajes de pozos petroleros fue posible la identificación indirecta de cuatro niveles principales de acuíferos en la secuencia del Cretácico Superior (Grupo Neuquén). Estos niveles se reconocen de acuerdo a la deducción de posibles variaciones de la salinidad del agua.

Si bien no se cuenta con descripciones litológicas detalladas en los pozos, el conocimiento regional del intervalo superior del Grupo Neuquén (hasta 500 m de profundidad) permite asociar las resistividades obtenidas en los perfiles eléctricos a diferentes litofacies de sedimentos clásticos fluviales. De esta manera se utilizó la curva de resistividad como indicador de litología.

De acuerdo a las respuestas de las curvas de los perfilajes se realizó una generalización estableciendo que valores de resistividad mayores a 7 ohmm se corresponden con las capas más permeables, formadas por arenas y conglomerados. Por el contrario, resistividades menores a 7 ohmm se corresponderían en general a sedimentos finos (limolitas y fangolitas) poco permeables.

Hasta una profundidad del orden de los 500 m, se han identificado 4 unidades acuíferas, que se denominan desde abajo hacia arriba, Unidad I, Unidad II, Unidad III y Unidad IV. (Figura 8.2).

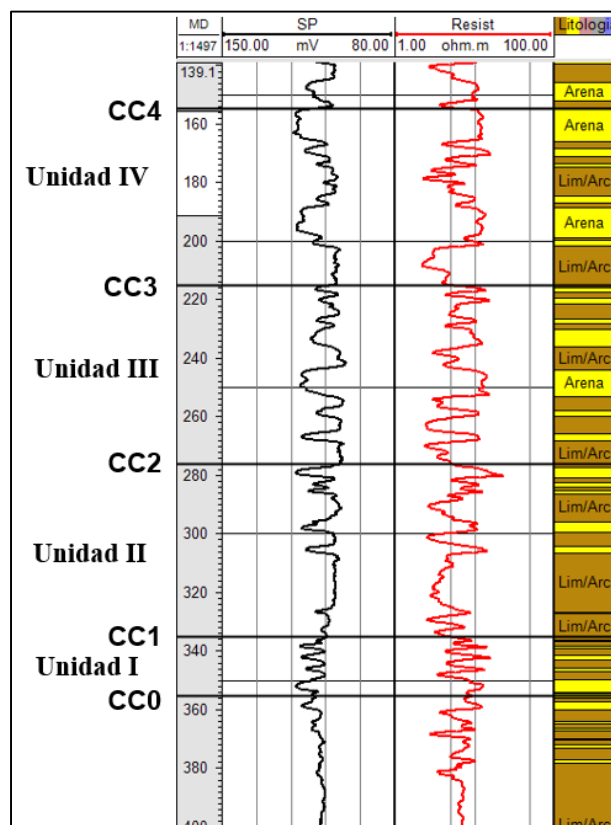


Figura 8.2. Pozo tipo de unidades hidrogeológicas

Los conjuntos de capas fueron separados por la definición de niveles guías, reconocidos en sus bases. Están conformados por sedimentos finos de baja permeabilidad, relacionados con depósitos de menor energía (ascenso del nivel de base o inundación) que se asumieron a escala local, como líneas tiempo.

Entre los 350 y 400 m de profundidad se reconoce en todos los pozos analizados una unidad de resistividad más o menos homogénea, dominada por sedimentos de baja permeabilidad. Se observa que no existe desarrollo de la curva de potencial espontáneo (SP) y se verificó que en el perfil de control geológico predominan fangolitas. Este nivel es probable que se pueda relacionar a una discordancia regional a la que subyace una unidad compuesta por una alternancia de sedimentos de baja permeabilidad con una tendencia grano y estrato-creciente. Esta unidad se profundiza desde el río Limay hacia el extremo Noroeste de la zona de estudio.

El techo de esta primera unidad (superficie CC0) es bien manifiesto en todos los perfiles y constituye una base de baja permeabilidad sobre la que se desarrolla un conjunto de capas caracterizadas por la alternancia de sedimentitas de mayor y menor permeabilidad con tendencia grano y estratocreciente.

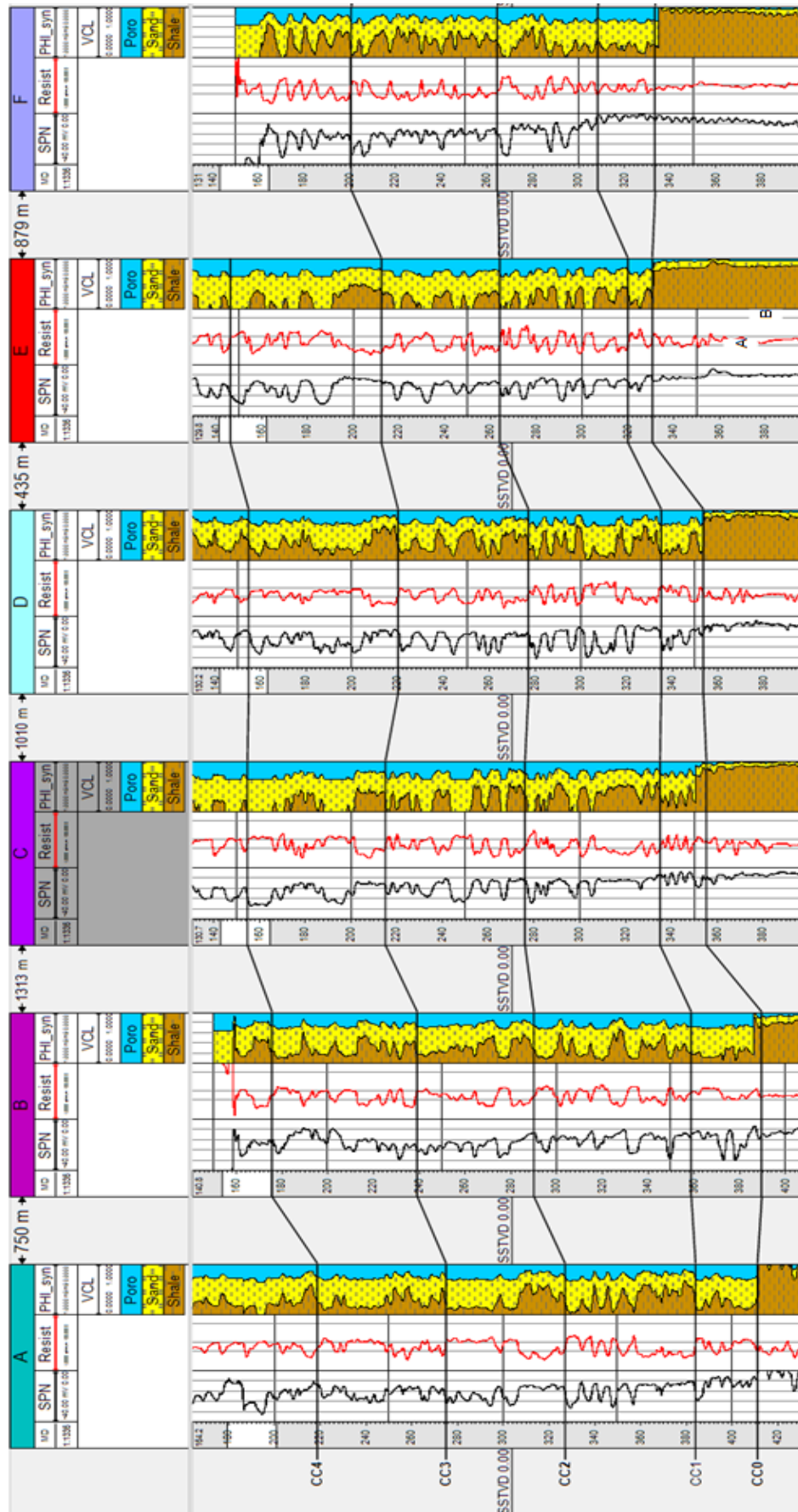
La Unidad I, define una unidad acuífera que se desarrolla entre el citado nivel (CC0) y el nivel guía siguiente (CC1 en la Figura 8.2) que constituye el techo de la unidad, cuyo espesor es de 30 a 40 m de espesor. La unidad se encuentra a una profundidad que varía entre 300 y 350 m y está caracterizada por alternancia de sedimentos finos y gruesos en intercalaciones delgadas de 1 a 5 m de espesor. Se verifica en el comportamiento aserrado de las curvas de resistividad y en que la curva SP presenta deflexiones poco significativas.

La Unidad II se define entre CC1 y el tope siguiente (CC2), conformada por un conjunto de capas de 40 a 50 m de espesor total. Presenta una alternancia de capas de grano fino de baja permeabilidad y de arenas permeables, con espesores individuales que varían entre 5 y 7 m, observándose en algunas secciones una marcada tendencia grano creciente de acuerdo al carácter de las curvas del perfilaje.

La Unidad acuífera III queda definida en su base por el nivel guía CC2 siendo el nivel (CC3) el tope del conjunto de capas de aproximadamente 50 m de espesor total. Presenta alternancia de capas de mayor espesor, entre 7 y 10 m, y culminando la zona con un conjunto de capas más permeables. La curva de resistividad (Rd) muestra inflexiones amplias a lo largo de todo el intervalo y la SP mayores inflexiones en el sector superior sugiriendo un arreglo grano y estrato creciente.

La Unidad acuífera IV se desarrolla entre los 150 y 250 m de profundidad, limitada en su base por el nivel CC3 y en su tope por el nivel CC4. Está conformada por un conjunto de capas de unos 50 m de espesor total con predominio arenoso y según la respuesta de la SP y resistividad se distinguen capas gruesas permeables que llegan a los 20 m de espesor.

Los niveles acuíferos I, II, III y IV representan a un complejo acuífero profundo que se desarrolla entre una base de baja permeabilidad y las unidades más someras del Grupo Neuquén. En la Figura 8.3 se muestra la ubicación y un corte estructural con algunas perforaciones como ejemplo de la correlación de las unidades mencionadas.



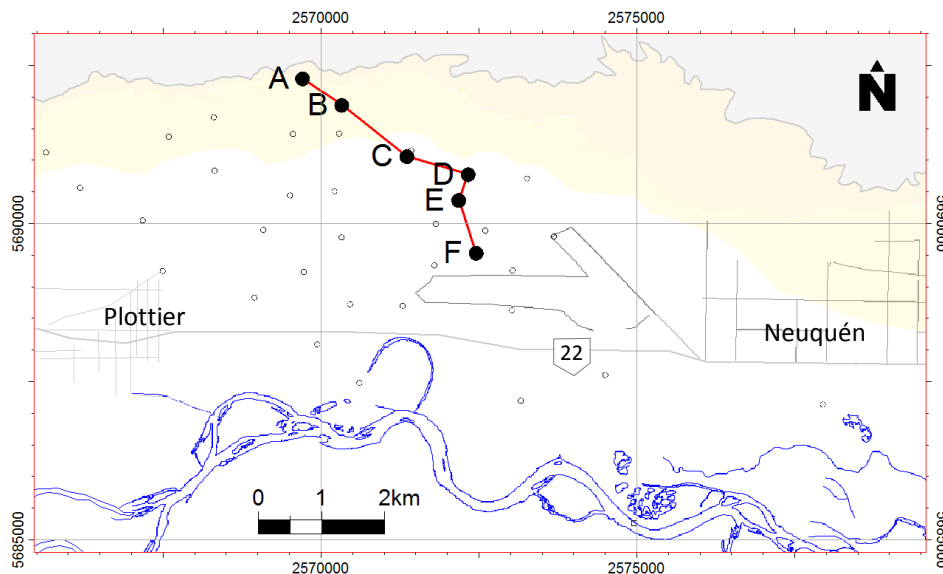


Figura 8.3. Mapa de ubicación y Sección estructural con correlación de las unidades I, II, III y IV.

La morfología estructural de las unidades descritas mantiene su pendiente hacia el Noroeste, representando la zona próxima al curso actual del río Limay un alto estructural. A su vez, a través de la correlación de los perfiles se reconoce la existencia de distintos fallamientos, existiendo evidencias de su influencia hasta los términos más altos del Grupo Neuquén.

La asociación entre las características hidrolíticas y la estructura geológica son factores a tener en cuenta en el flujo subterráneo profundo. Las intercalaciones de niveles acuíferos con capas de muy baja permeabilidad, que pueden actuar como confinantes y las características del fallamiento son condicionantes en el comportamiento geohidrológico y requieren datos hidrogeológicos de detalle, actualmente inexistentes, para definir con mayor precisión las condiciones de recarga – descarga y alguna posible interacción con los procesos del ciclo hidrológico actual de estas unidades profundas.

De acuerdo al análisis efectuado en los 25 pozos analizados, utilizando los perfiles eléctricos se obtuvo que las salinidades de las cuatro unidades acuíferas reconocidas en el grupo Neuquén, tendrían salinidades que se pueden considerar entre 1480 y 2450 ppm de NaCl equivalente. (Figuras 8.4 a y b)

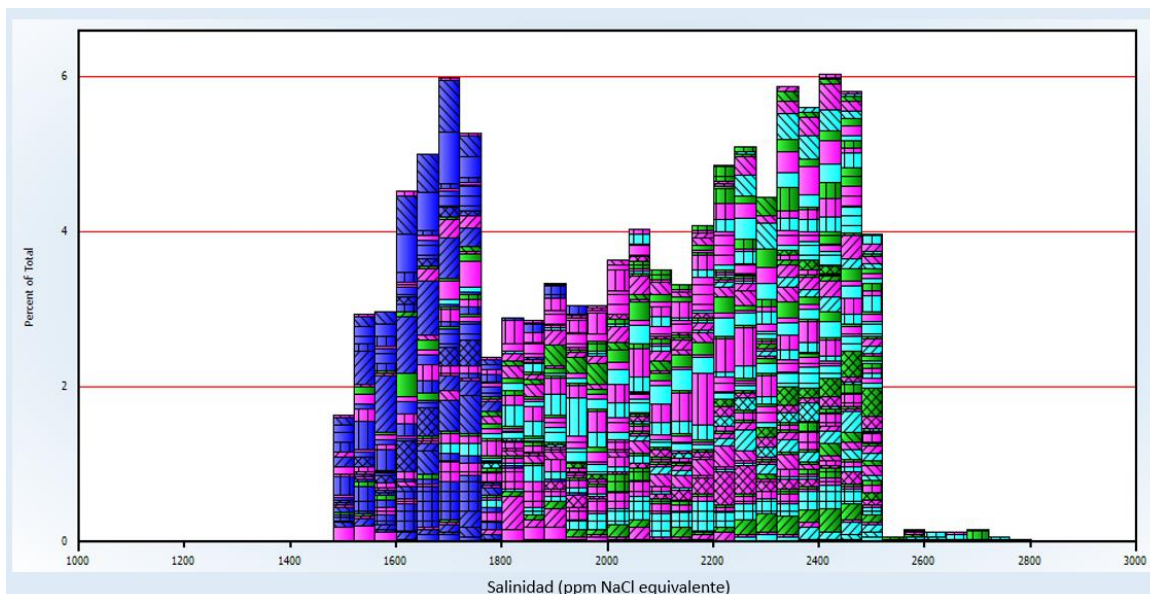


Figura 8.4 (a) Histograma de salinidades (ppm NaCl equivalente). Todas las Unidades

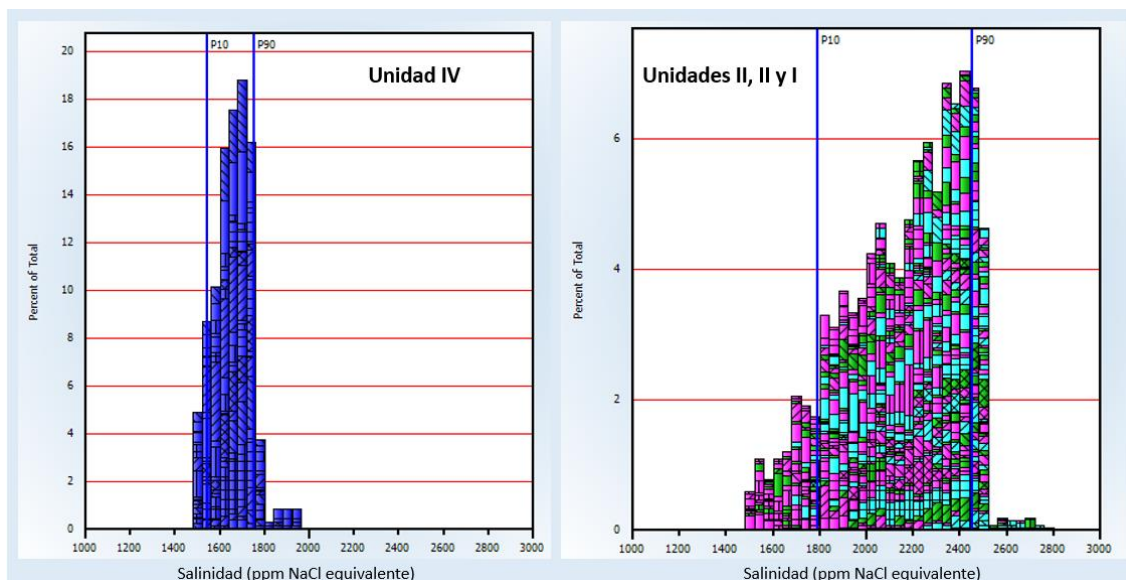


Figura 8.4 (b) Histograma de salinidades (ppm NaCl equivalente)

En la distribución se observan dos grupos de valores de salinidades. Uno correspondiente a las capas acuíferas de la Unidad IV, más somera, que presentan los valores de salinidad más bajo, entre 1480 y 1750 ppm NaCl equivalente y otro grupo de valores para las capas correspondientes a las Unidades III, II y I que muestran valores de salinidades entre 1800 y 2450 ppm NaCl equivalente considerando los valores del P10 y P90 de cada distribución.

Un estudio regional (Primo y Gonzalez, 1973) expone las características y distribución de las aguas subterráneas en los niveles más someros del Grupo Neuquén, en particular en la zona de Centenario (Provincia del Neuquén) para un conjunto de 7 pozos y una

profundidad de la capa entre 90 y 105 metros, que sería equivalente a la definida como Unidad IV, indicando valores de sales disueltas de 1774 mg/L de ClNa equivalente.

Se debe considerar que por la composición química promedio de las aguas de formación del Grupo Neuquén, los valores de salinidad total son mayores que los estimados como ClNa equivalente. Los análisis presentados por Primo y González (1973) para esta formación, en diferentes sectores de la Provincia del Neuquén, (46 pozos) muestran que la salinidad total del agua supera en todos los casos a los valores de ClNa equivalente.



## 9. HIDRODINÁMICA

La información disponible no es suficiente para definir el comportamiento hidrodinámico regional de los niveles acuíferos profundos (Grupo Neuquén). Los datos de los pozos ubicados en Plottier y pedimento de flanco distal que reconocieron el nivel superior de la secuencia (alrededor de 100 m de profundidad) indican niveles piezométricos que resultan positivos con respecto al nivel freático.

En la antigua perforación de Plottier la surgencia con respecto al nivel del terreno varía entre 2,4 y 3,4 m y en la más reciente se ha medido un valor de 6 m. Si bien es muy difícil efectuar una comparación entre los datos de los niveles piezométricos documentados en estas dos perforaciones, especialmente por sus diferentes épocas de ejecución (la diferencia es mayor a 50 años), en una primera aproximación se podría establecer un flujo subterráneo regional desde la barda hacia el río Limay. Por otra parte, dada la surgencia de los niveles profundos, no existirían posibilidades de transmisión vertical desde el acuífero freático hacia los niveles profundos debido a la diferencia de carga hidráulica existente.

Por esa razón, en este capítulo se analizan esencialmente las particularidades hidrodinámicas del acuífero freático.

### 9.1. Profundidad de los niveles freáticos

Las profundidades de los niveles freáticos son variables de acuerdo a la ubicación de los pozos. (Figura 9.1). Los más cercanos a la barda, ubicados en el pedimento de flanco distal, superan los 6 m desde el nivel del terreno. Los del sector central, ubicados en la planicie aluvial inactiva, se sitúan entre 1,5 y 3 m, mientras que en las proximidades del río se encuentran a aproximadamente 2 m.

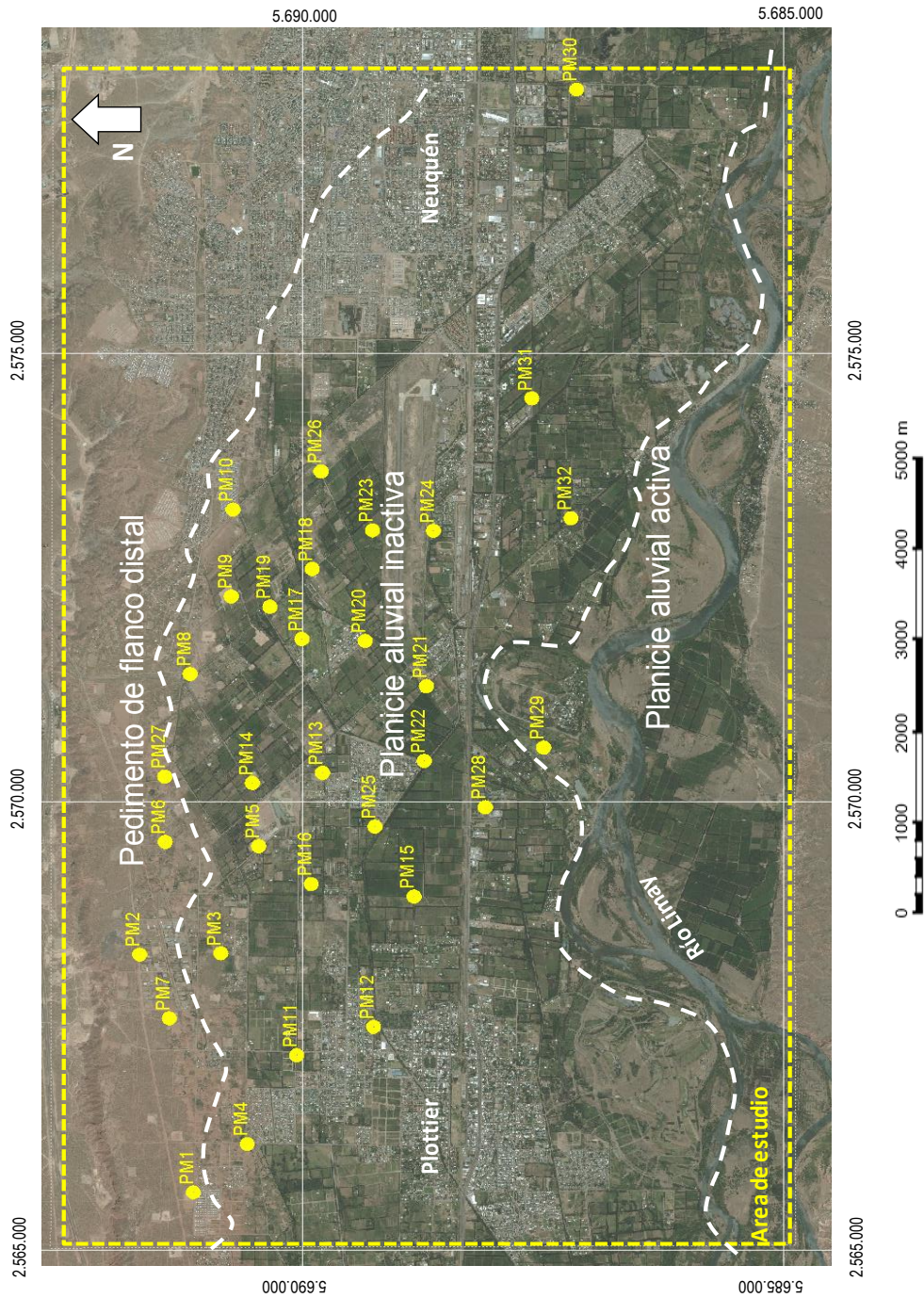


Figura 9.1 Mapa de ubicación de los frentímetros según se encuentran en la zona de pedimento de flanco distal, planicie aluvial activa e inactiva.

Los mapas de isopropundidad permiten observar el desarrollo y variaciones de la zona no saturada. A modo de ejemplo se muestran los correspondientes a mayo y noviembre de 2003. (Figuras 9.2 y 9.3).

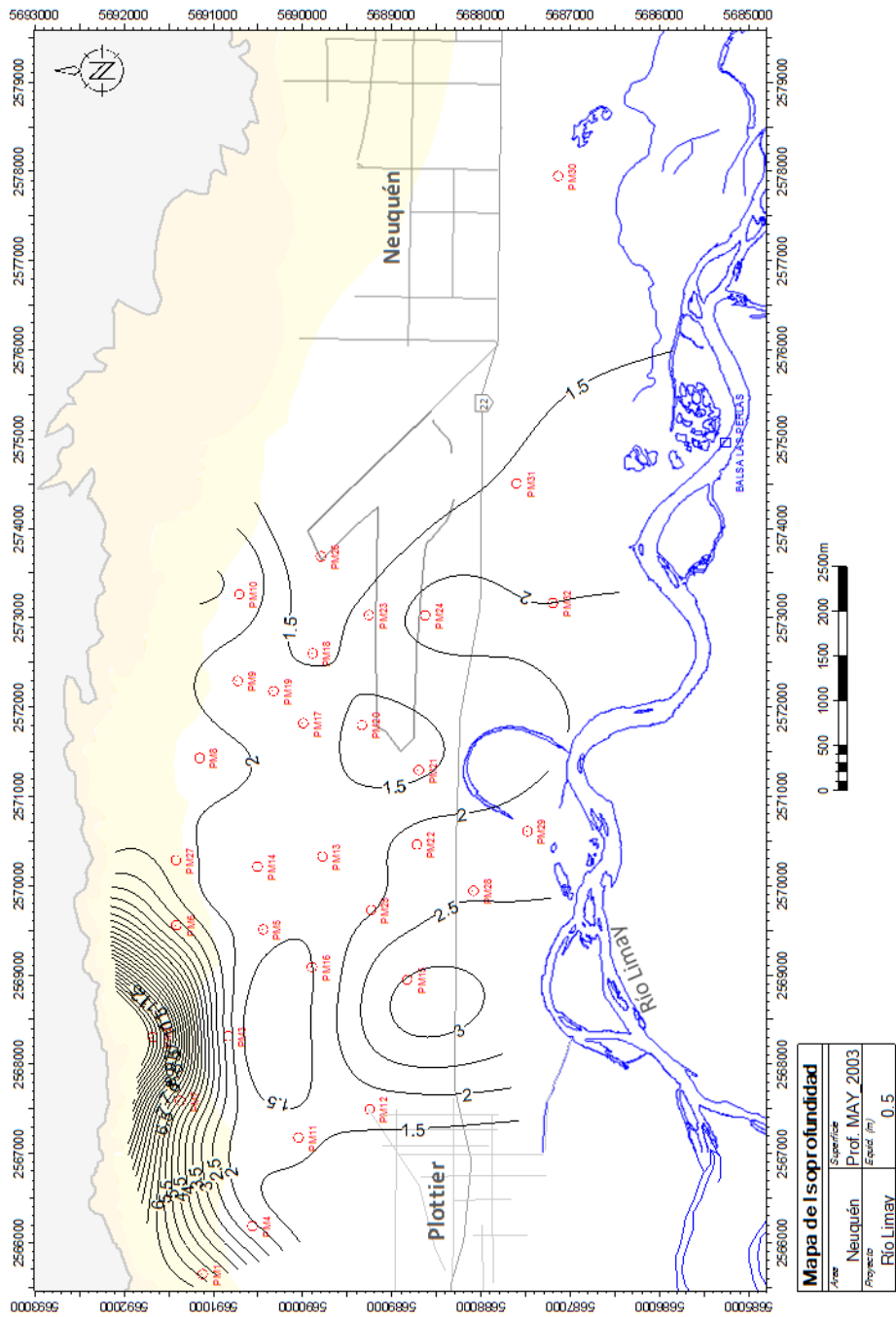


Figura 9.2 Mapa de isopropundidad de nivel freático-mayo de 2003

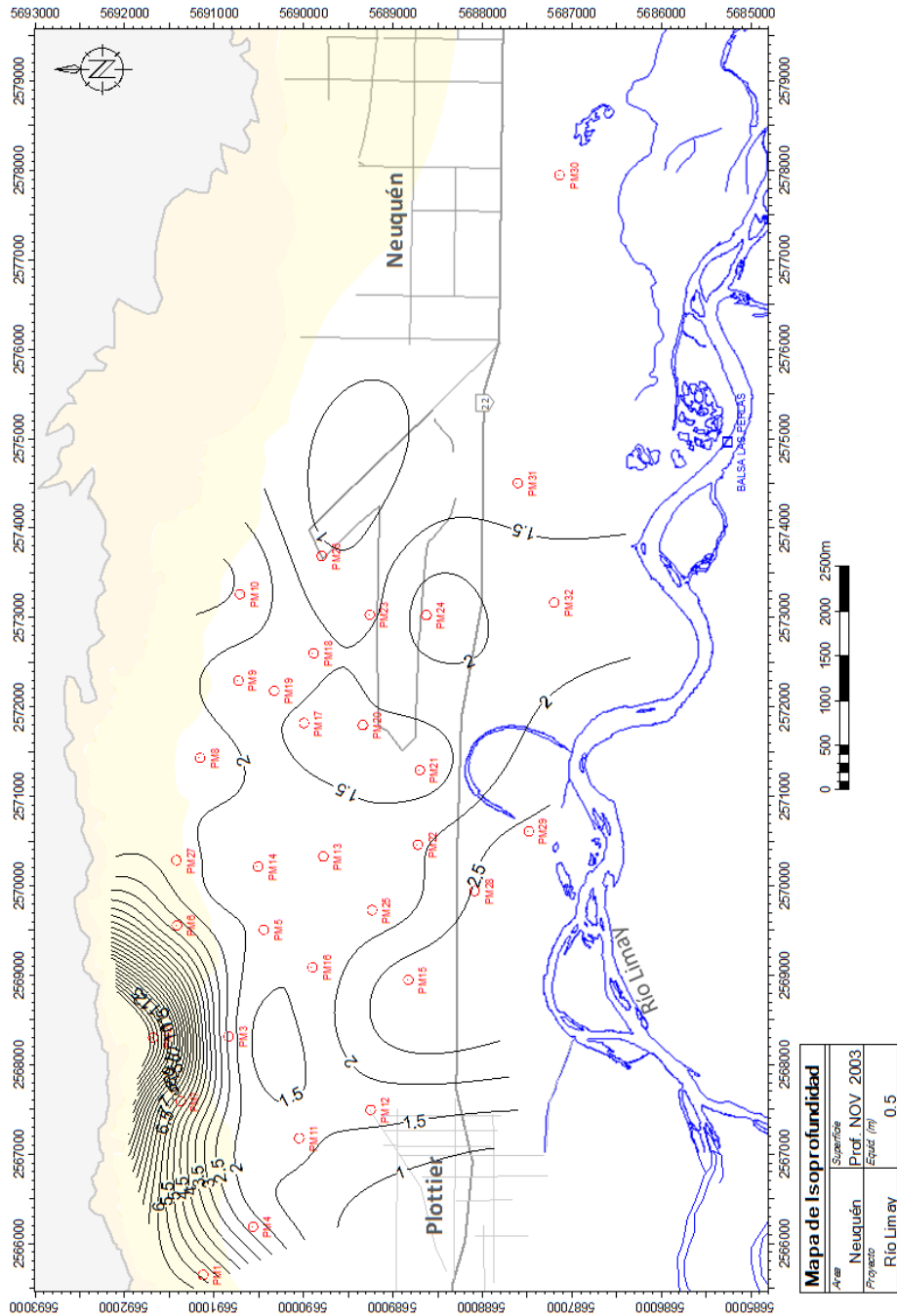


Figura 9.3 Mapa de isopropundidad de nivel freático - noviembre de 2003

En mayo de 2003 las mayores profundidades se encuentran en el sector próximo al pedimento de flanco distal variando entre 3 y 6 m. En la planicie aluvial inactiva se sitúan entre 1,5 y 3 m y en la activa a los 2 m.

En noviembre de 2003, cuando la zona no saturada presenta un menor espesor, la modificación fundamental con respecto al anterior se produce en la planicie aluvial inactiva, donde se encuentran más cercanos a superficie, con profundidades inferiores a 2 m.

## 9.2. Variación de los niveles freáticos

Las variaciones de los niveles freáticos permiten distinguir tres grupos de pozos con particularidades propias según su ubicación: uno próximo al pedimento de flanco distal, otro en el sector central de la planicie aluvial inactiva y el tercero en la planicie aluvial activa

### 9.2.1. Pedimento de flanco distal

En estos pozos los niveles freáticos muestran una escasa variación a lo largo del período de registros. Son ejemplos de esta situación PM1, PM2; PM6, PM7 y PM27. Los más cercanos al pedimento de flanco PM2 y PM7 no sobrepasan los 25 cm de oscilación, en cambio PM1, PM6 y PM27 los más alejados alcanzan alrededor de 40 cm. En los pozos PM6 y PM27 presentan una profundización en agosto en coincidencia con los pozos de la planicie aluvial inactiva (Figura 9.4)

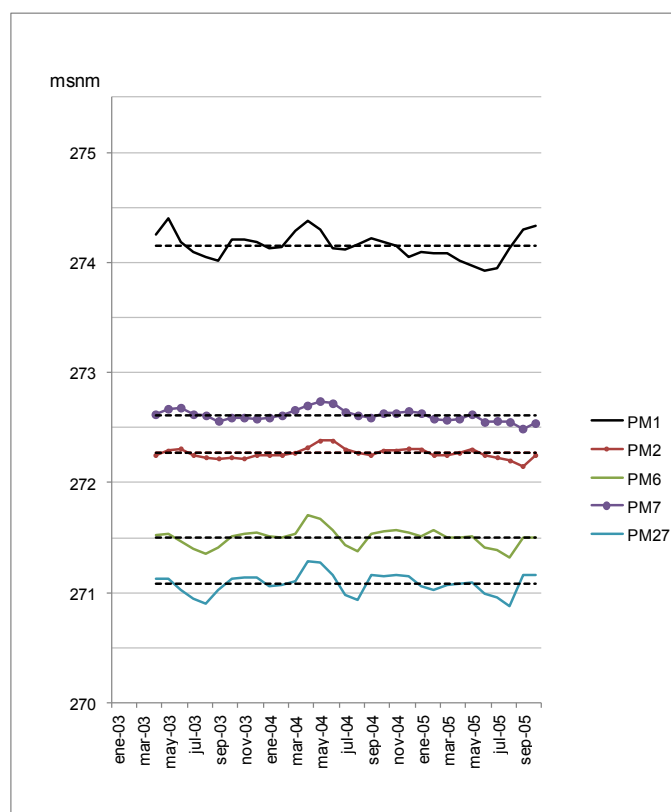


Figura 9.4 Variación de los niveles freáticos en las proximidades del pedimento de flanco distal

El freatómetro PM7 presenta los niveles más profundos (un promedio de 6 m), variando entre 272,49 msnm y 272,74 msnm. Los menos profundos los registra el PM27 (con profundidades medias del orden de 2,35 m), con una altura hídrica que varía entre 270,8 msnm y 271,3 msnm

### 9.2.2. Planicie aluvial inactiva

En estos casos los niveles alcanzan su mayor altura (menor profundidad) (Figura 9.5) en el período septiembre-octubre. Posteriormente se profundizan entre noviembre y enero (NE), para ascender levemente en enero y abril (EA). Finalmente desde mayo a agosto (MA) existe una profundización de los niveles freáticos. En este sector las oscilaciones de los niveles freáticos se sitúan entre 0,60 y 1,3 m.

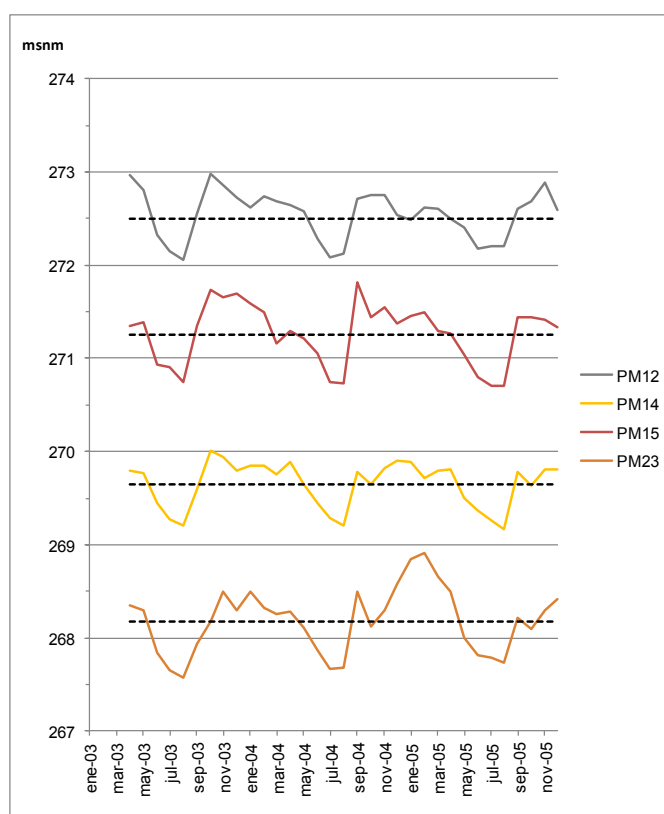


Figura 9.5 Variación de los niveles freáticos en el sector central

Se reconoce un ciclo de ascenso de los niveles, que alcanzan un pico en septiembre u octubre de cada año, que debe asociarse a un predominio de la recarga y un ciclo de profundización relacionado a la descarga del sistema que llegan a su máximo en agosto (Figura 9.6).

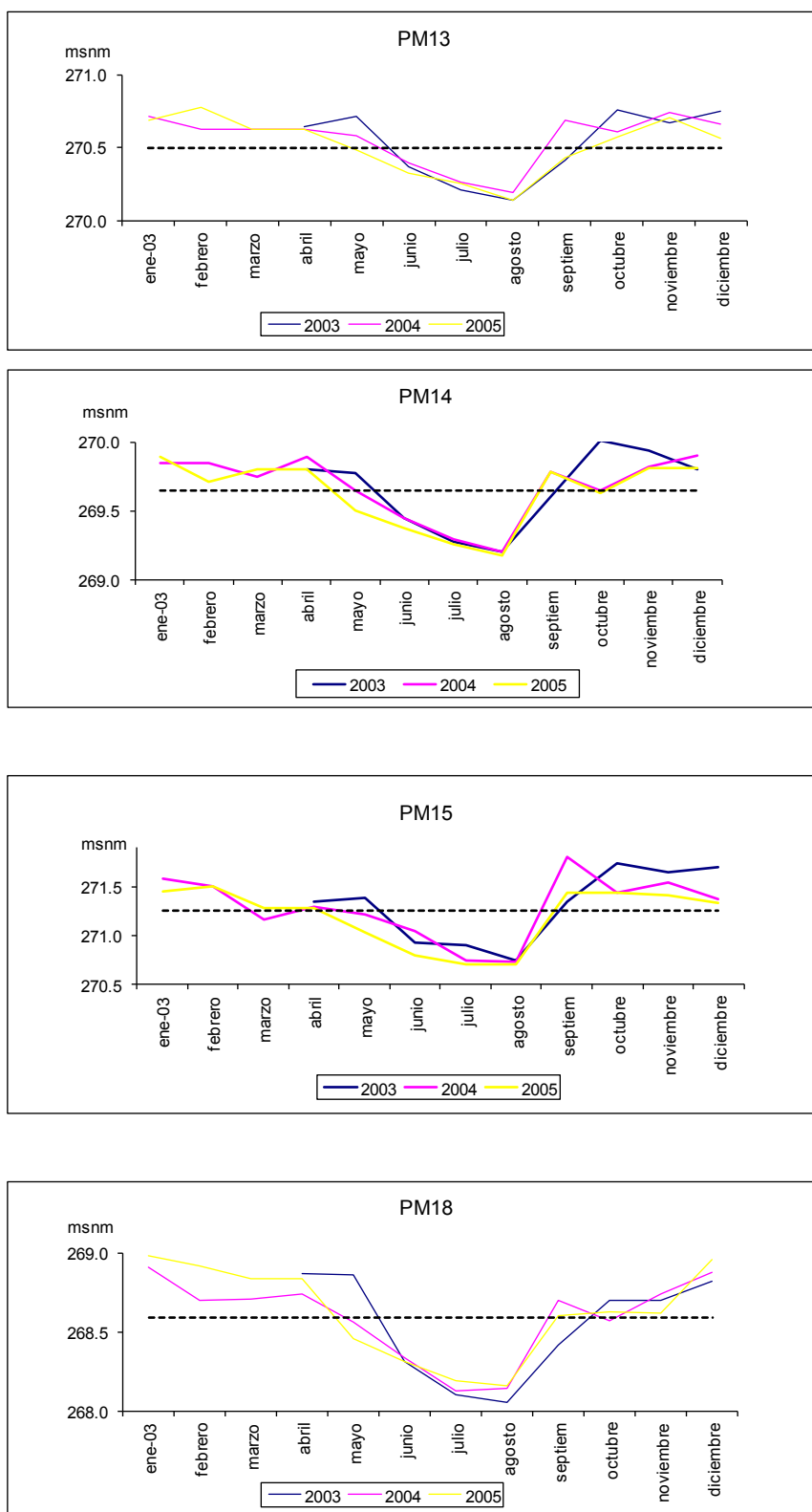


Figura 9.6 Variación del nivel freático en freatímetros ejemplos de la planicie aluvial inactiva. Período 2003-2005

### 9.2.3. Planicie aluvial activa

Las variaciones freáticas en estos pozos están influenciadas por las variaciones en el nivel del río Limay. Tal es el caso del PM 29 (Figura 9.7)

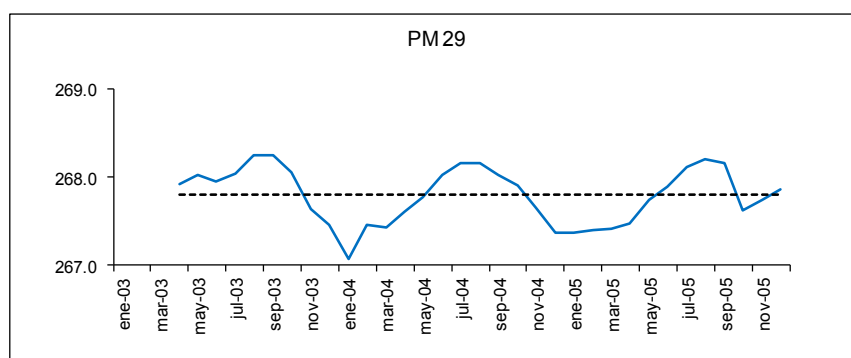


Figura 9.7 Variación del nivel freático del pozo PM29 a lo largo del período 2003.2005

Este pozo presenta un comportamiento diferente a los pozos de la planicie inactiva, los meses de mayo, junio, julio y agosto presentan una mayor altura hídrica. La altura mínima registrada corresponde enero de 2004 con un valor de 267 msnm (profundidad de 3,16 m) y las máximas coinciden en general con agosto con valores de 268,2 msnm (profundidad de 1,96 m).

### 9.3. Características generales del flujo subterráneo

Los mapas de flujo subterráneo de una periodicidad mensual entre 2003 y 2005 muestran que la morfología de la superficie freaticométrica mantiene una característica radial (Figura 9.8) con tendencia a formas planares (Figura 9.9) y filetes de flujo subparalelos. El flujo regional acompaña a la superficie topográfica, con una tendencia a descargar en la planicie aluvial activa del río Limay. Esta morfología general presenta particularidades locales que tienen influencia en el comportamiento freático.

El sentido general de escurrimiento del sistema freático es NO – SE. En el sector SE próximo al río los sentidos de flujo se tornan paralelos al río, mostrando un predominio en el escurrimiento subterráneo oeste – este.

En la mayor parte del área, julio - agosto, es el período en que existe la mayor profundización de los niveles freáticos y por lo tanto son mínimas las alturas equipotenciales. Los niveles comienzan a ascender a partir de septiembre para alcanzar un valor máximo en octubre - noviembre. Luego se mantiene una constancia relativa hasta mayo en que comienza la profundización cuyo punto extremo es agosto.



Los máximos gradientes hídricos se observan en el período de menor profundidad de los niveles freáticos (noviembre) alcanzando valores en los sectores próximos al río de  $3,3 \cdot 10^{-3}$  y en el centro del área de  $1,2 \cdot 10^{-3}$ . En los meses con niveles más profundos (julio) los gradientes varían entre  $1,7 \cdot 10^{-3}$  en el área próxima al río y  $8,3 \cdot 10^{-4}$  en el sector central. La velocidad efectiva calculada, asumiendo una porosidad del 15% varía entre 0,55 m/día y 2,2 m/día. En las figuras 9.8 y 9.9 se muestran los mapas equipotenciales de noviembre 2004 con niveles freáticos más someros y julio 2003 con niveles más profundos. En el anexo se muestran los mapas equipotenciales de cada mes analizado.

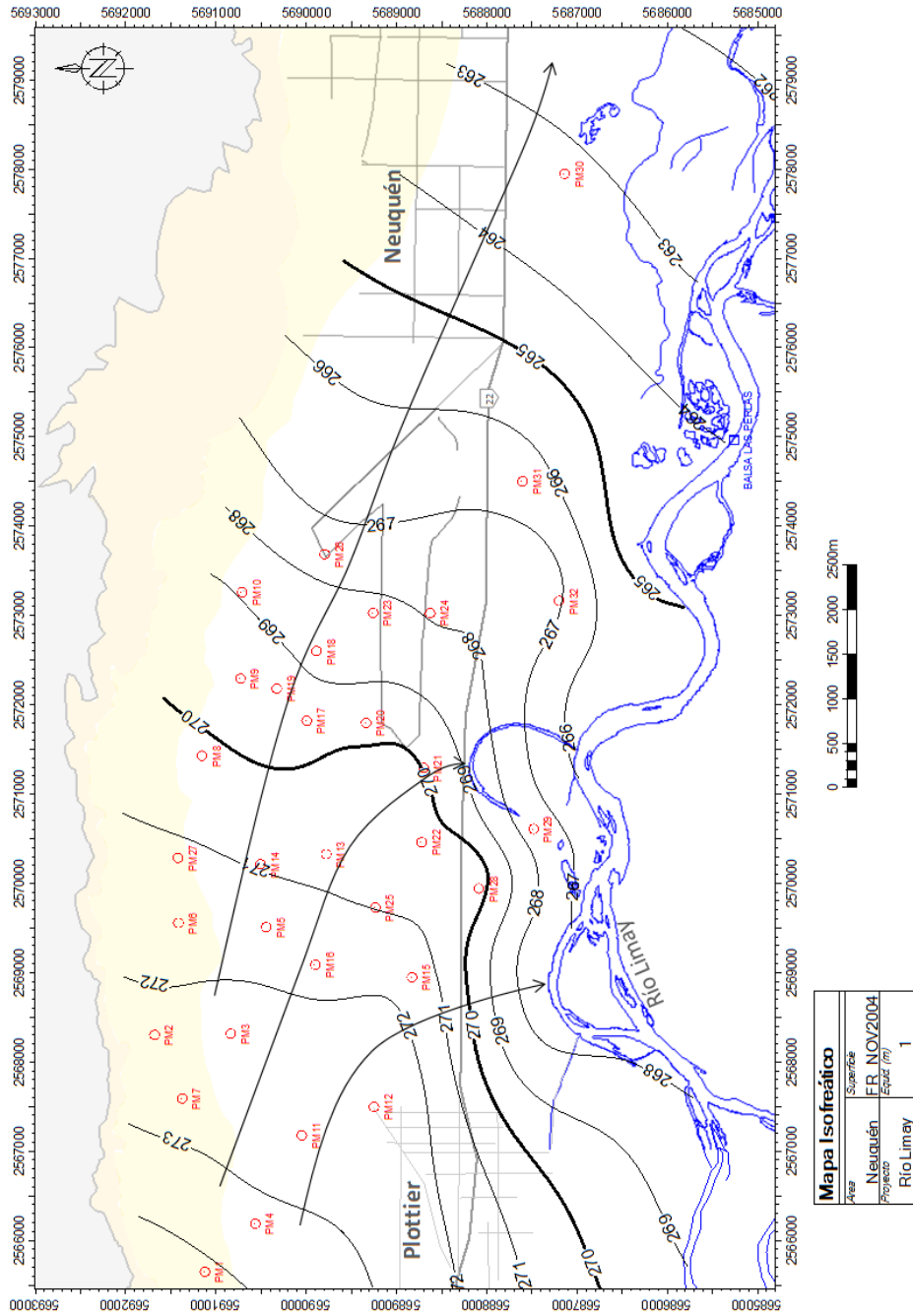


Figura 9.8 .Mapa isofreático noviembre 2004

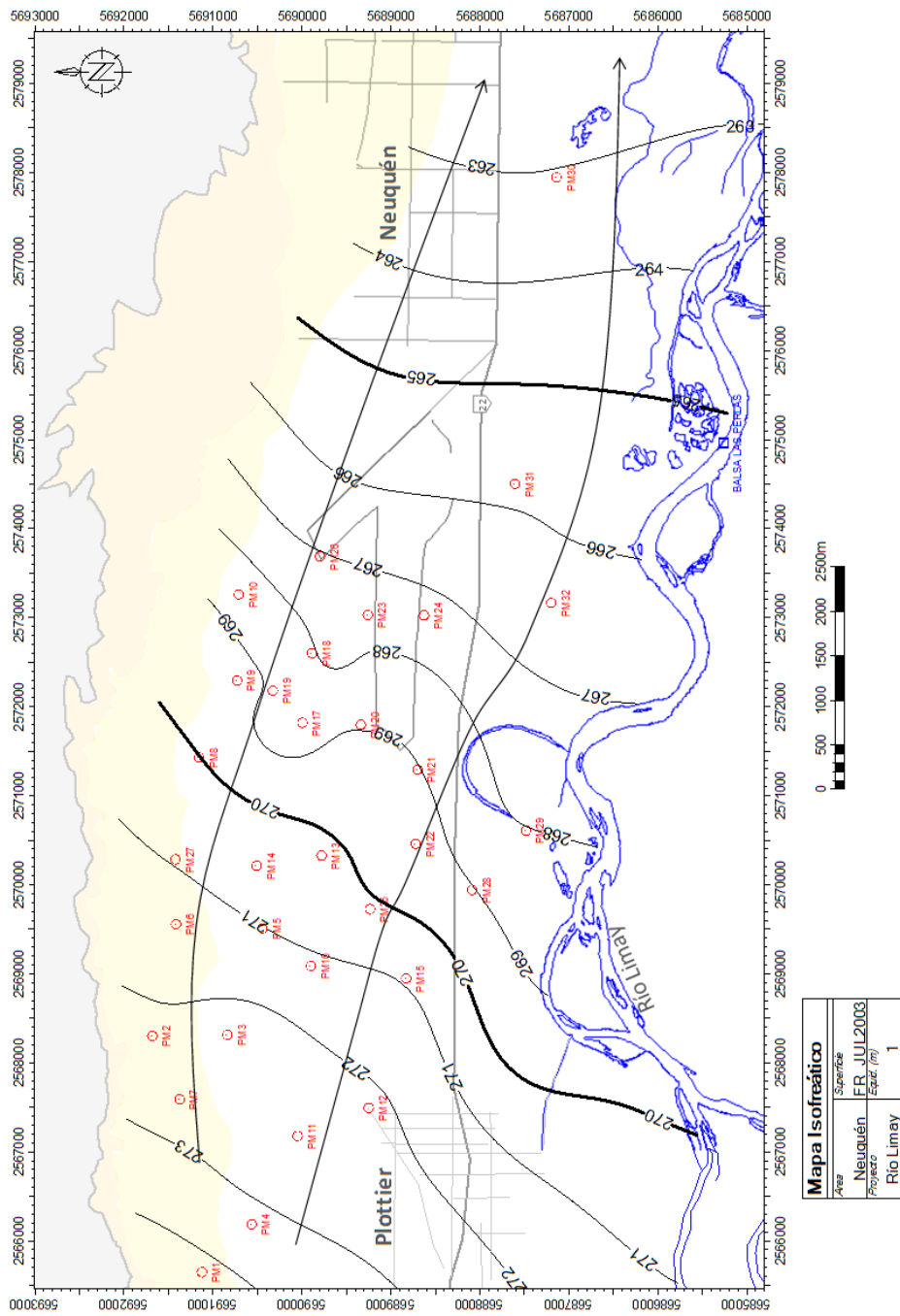
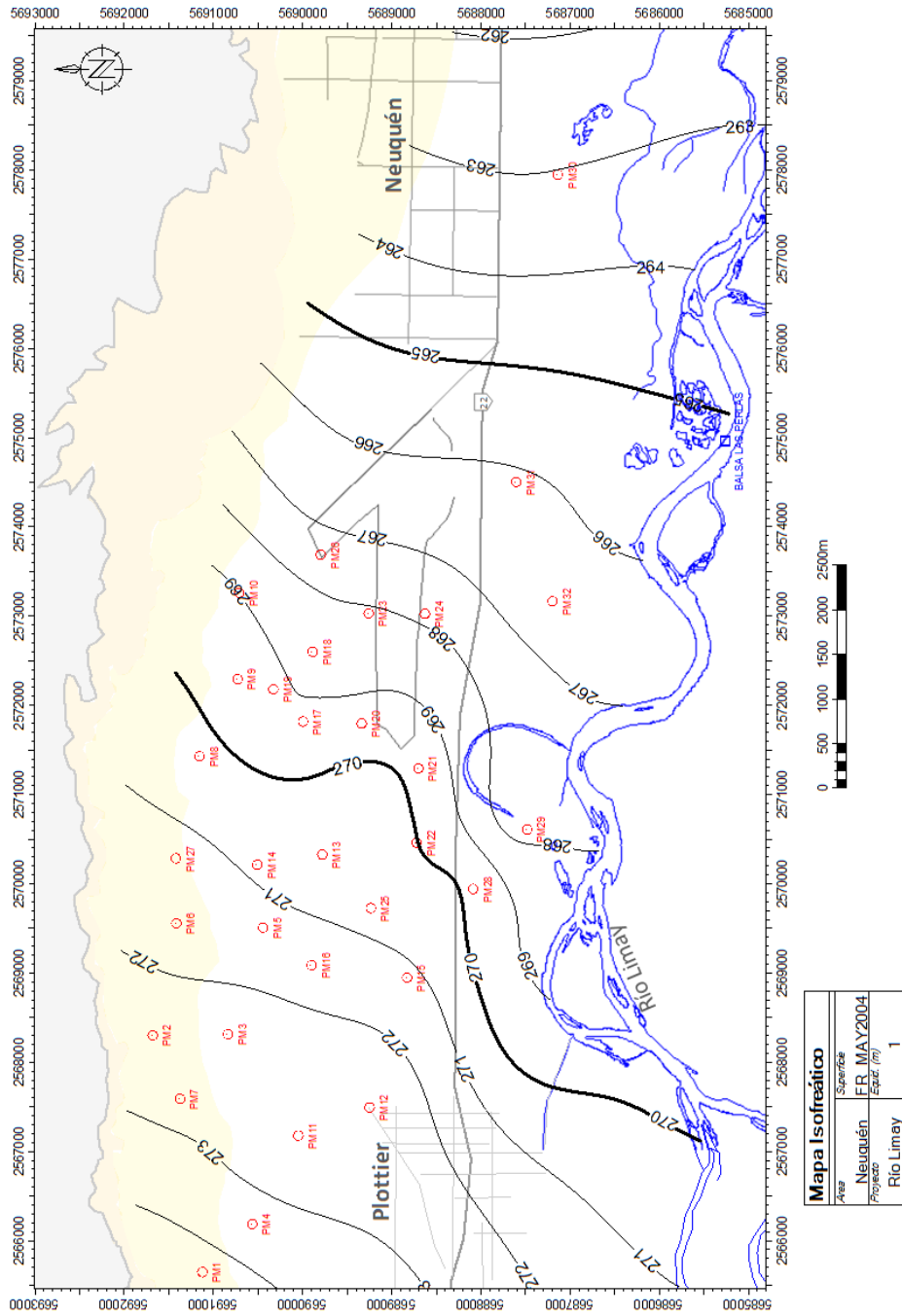


Figura 9.9 Mapa isofreático julio 2003

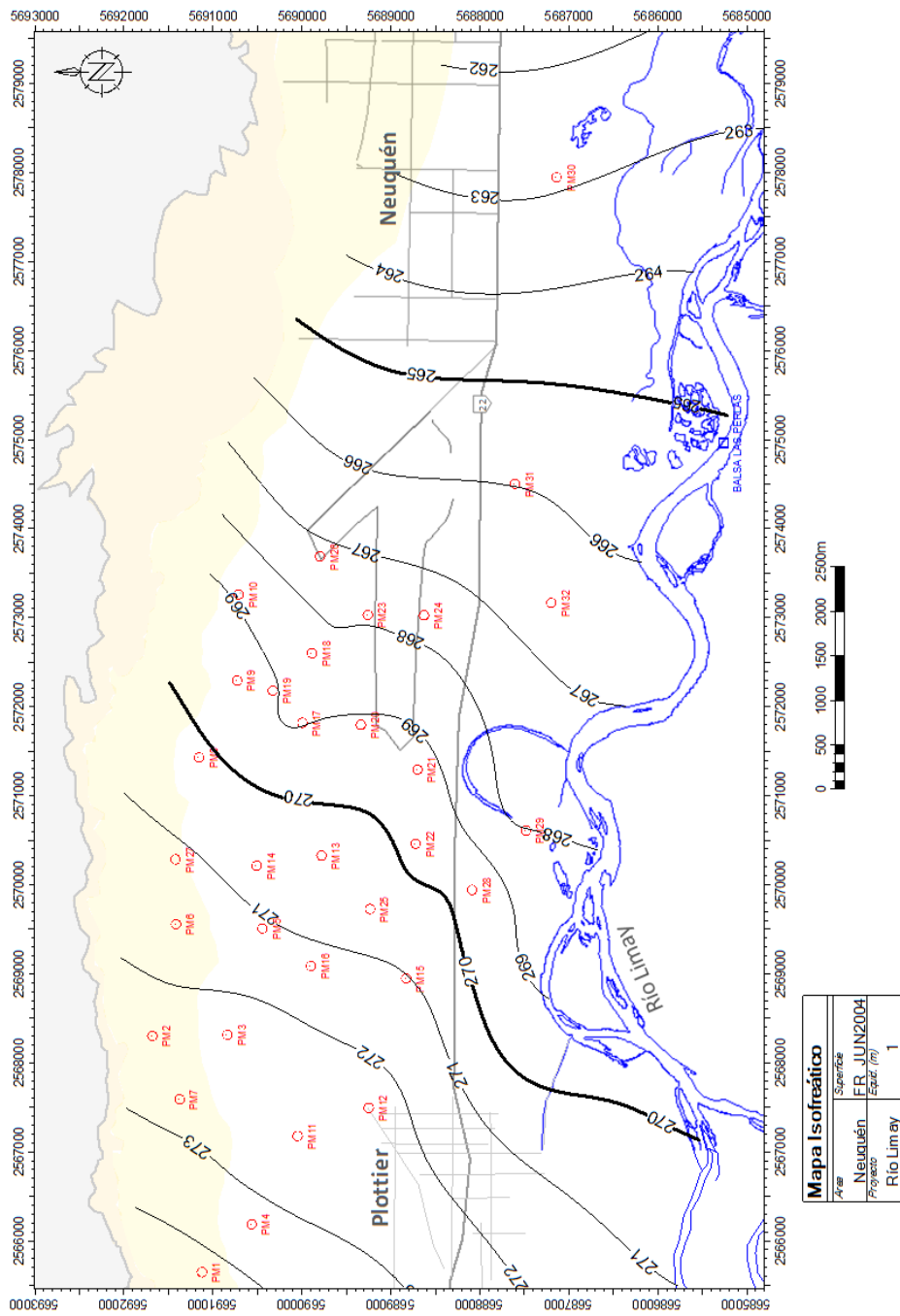
#### **9.4. Funcionamiento del sistema**

Las variaciones de los niveles freáticos en cada uno de los pozos y las modificaciones en el flujo subterráneo reconocidas conducen a evaluar la influencia de factores naturales y antrópicos en la dinámica del agua subterránea, en particular en los procesos de recarga y descarga. En todo el período analizado puede verse cierta homogeneidad en la hidrodinámica del acuífero, se muestran a modo de ejemplo los correspondientes al período mayo 2004 - abril 2005. (Figura 9.10)

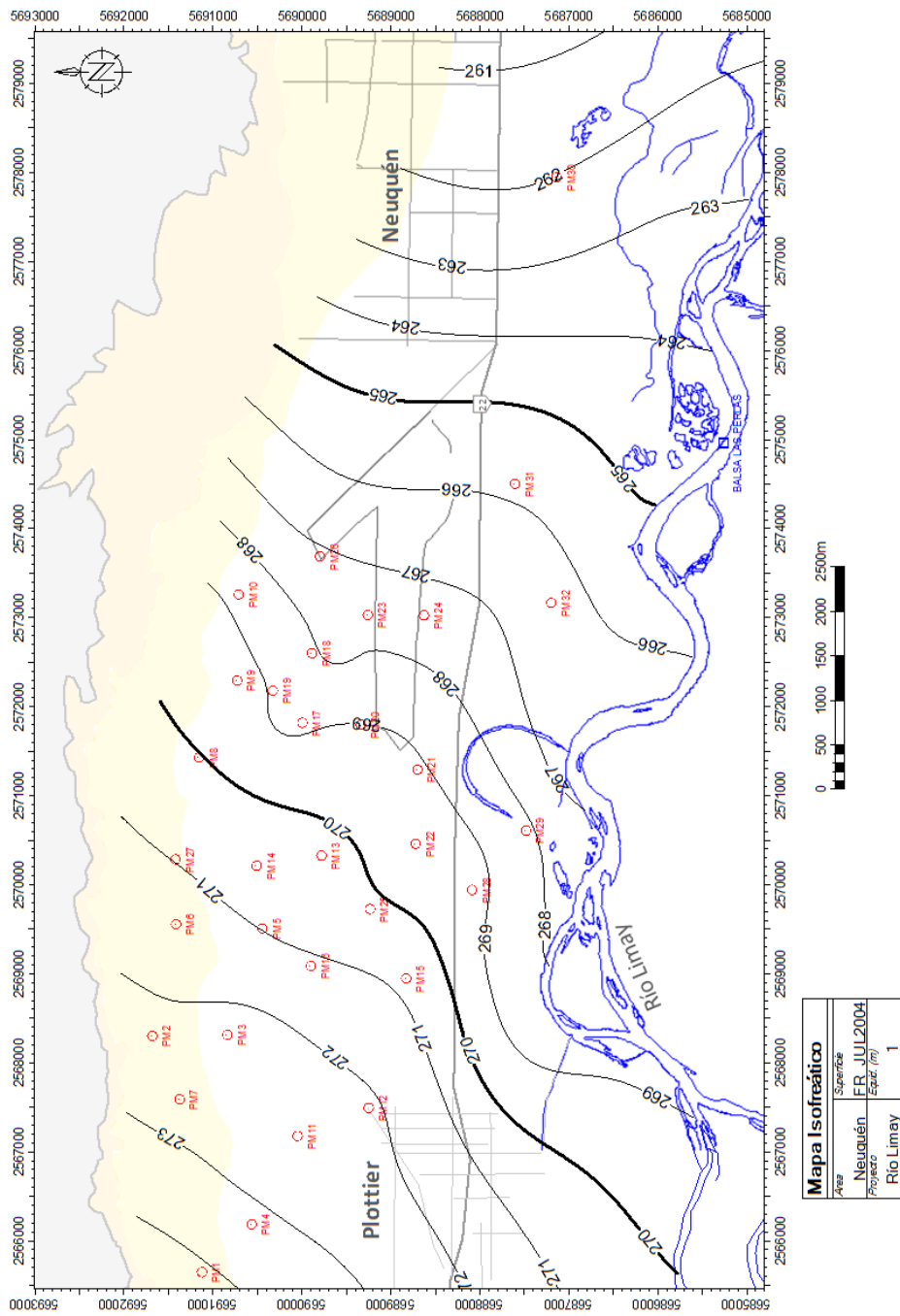
En toda la secuencia se reconoce que desde mayo hasta agosto el sentido de los filetes de flujo del acuífero freático son prácticamente paralelas a la dirección de escurrimiento del río. A partir de septiembre, aumenta el gradiente hídrico en las proximidades del río y el sentido de escurrimiento muestra cierta tendencia a hacia la planicie aluvial activa del río Limay.



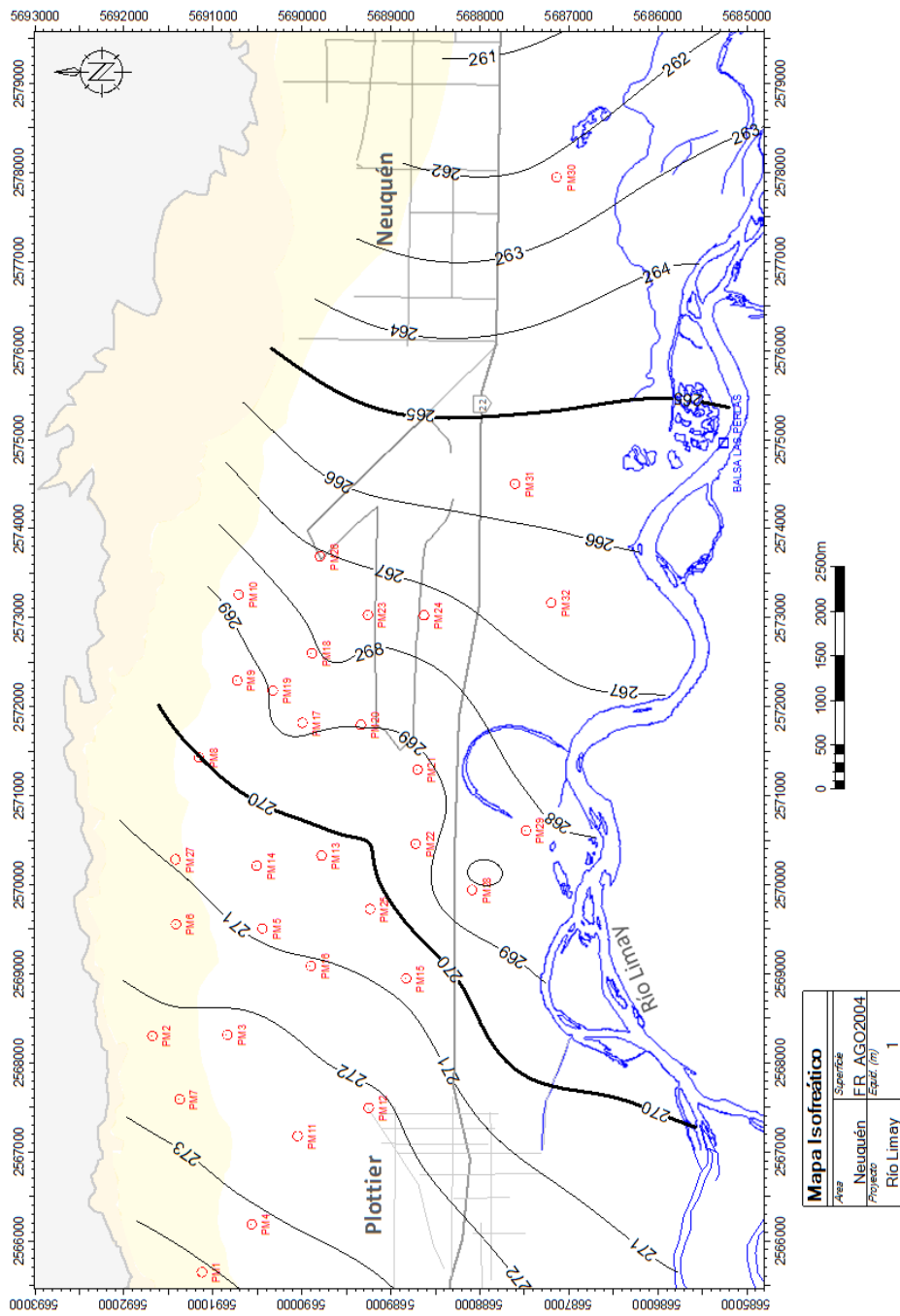
Mapa isofreático mayo de 2004



Mapa isofreático junio de 2004

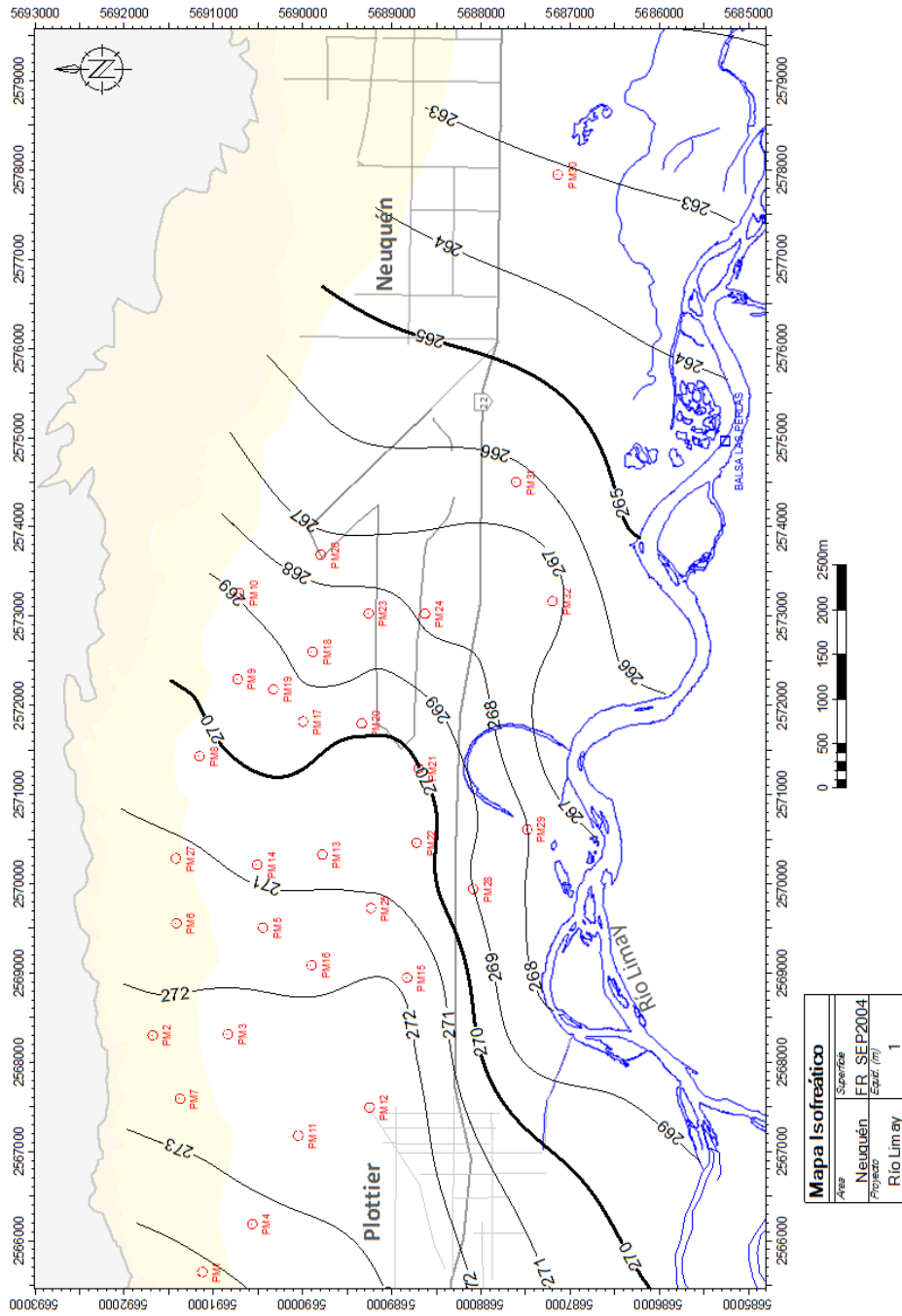


Mapa isofreático julio de 2004

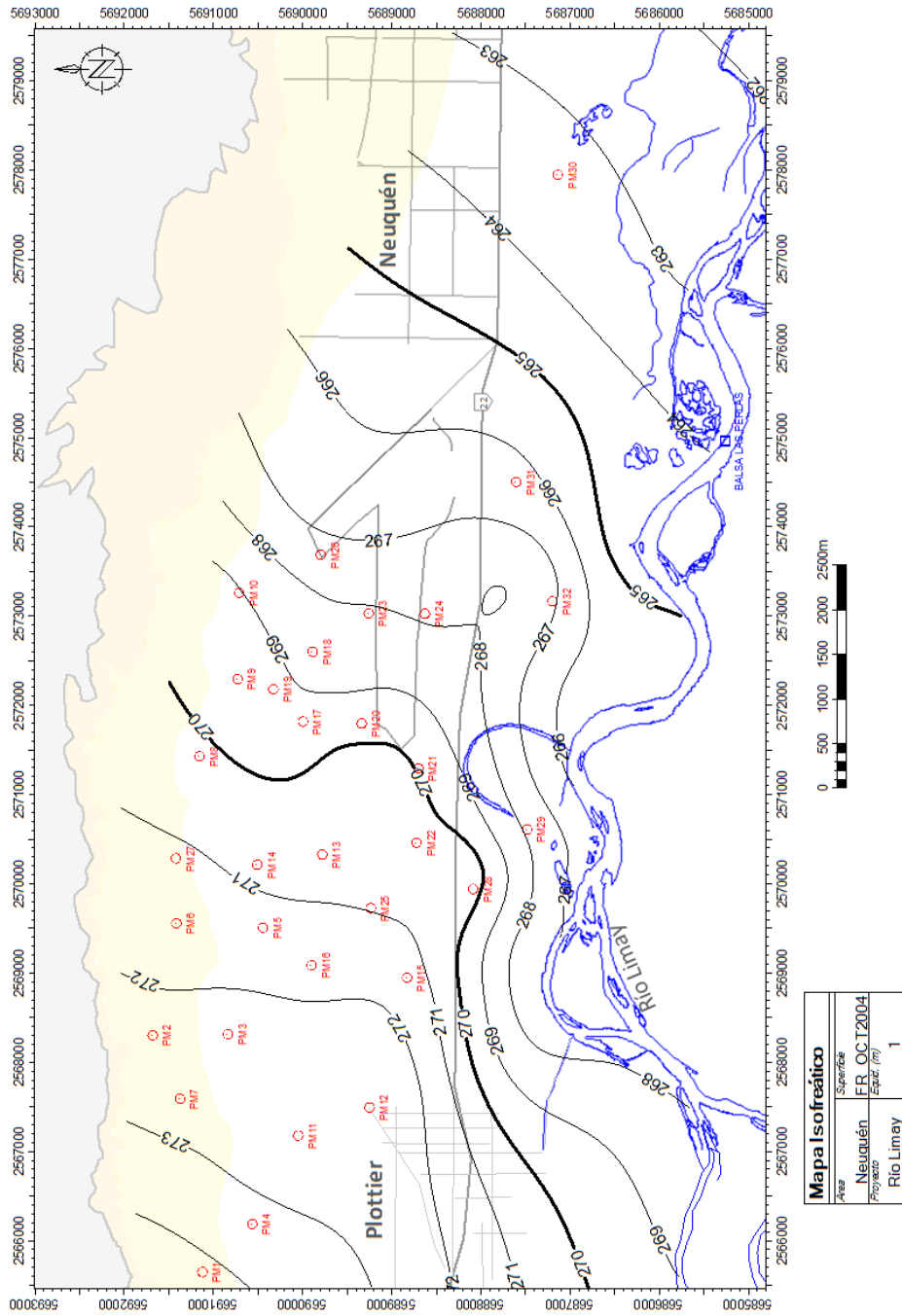


Mapa isofreático agosto de 2004

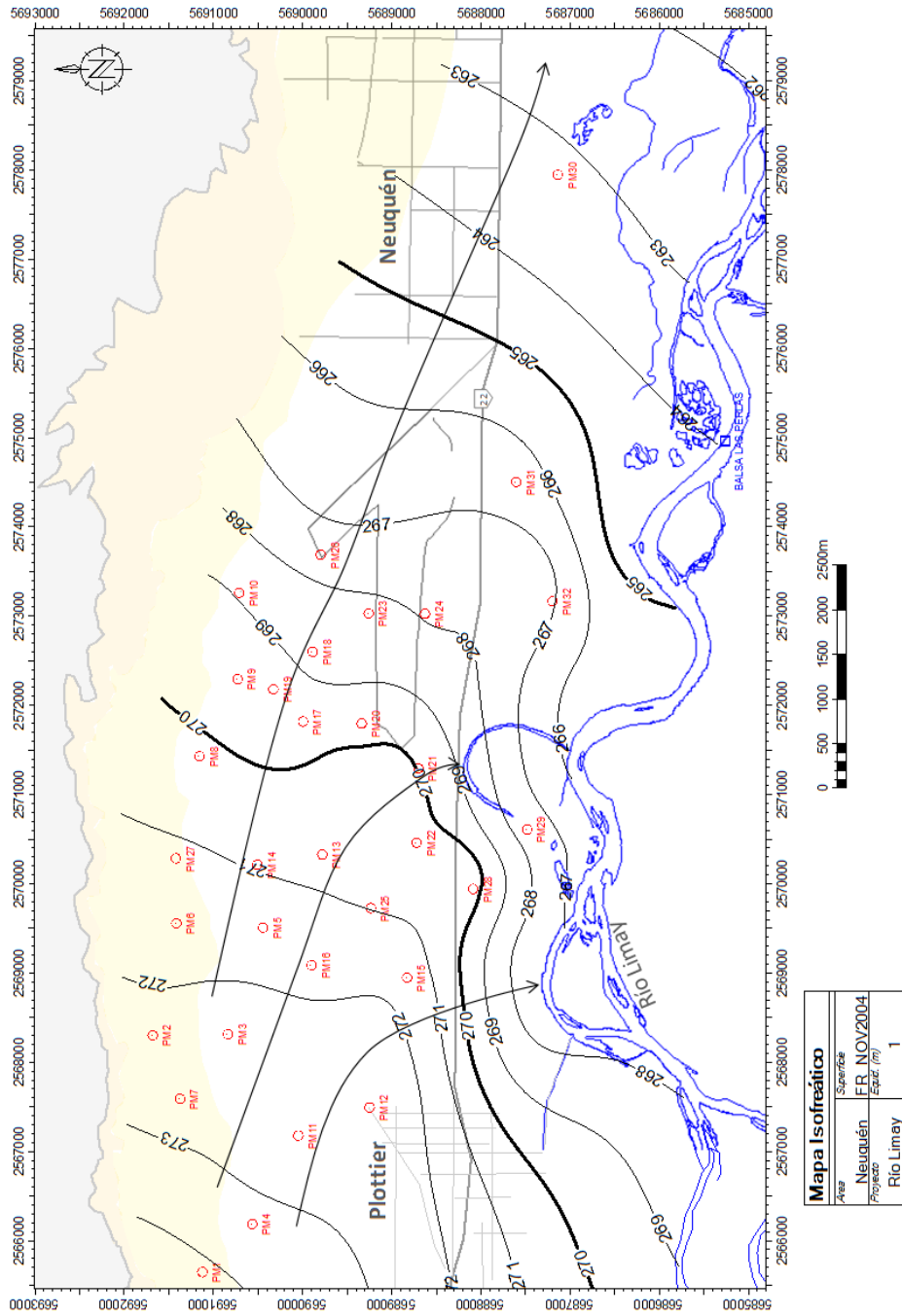




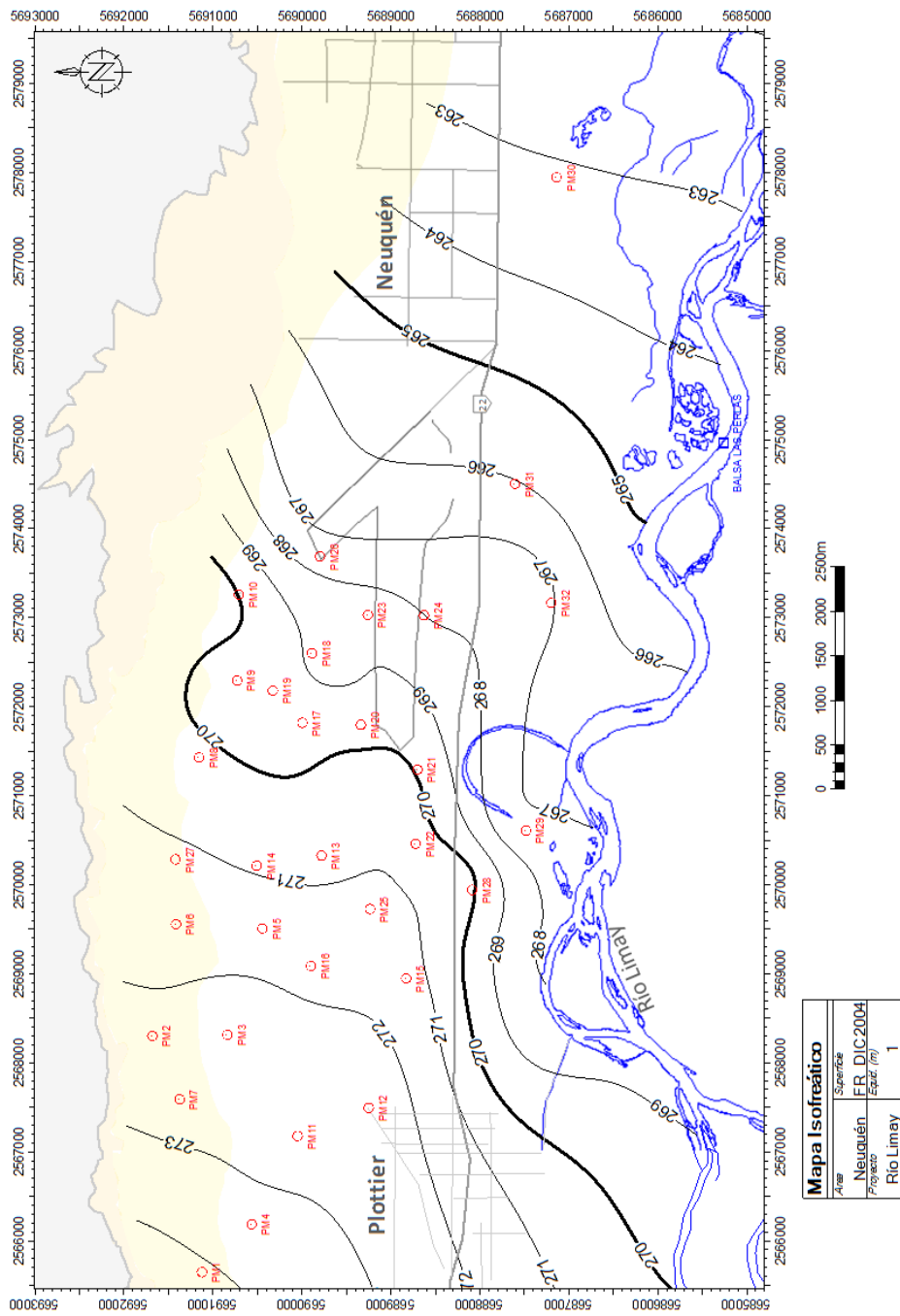
Mapa isofreático septiembre de 2004



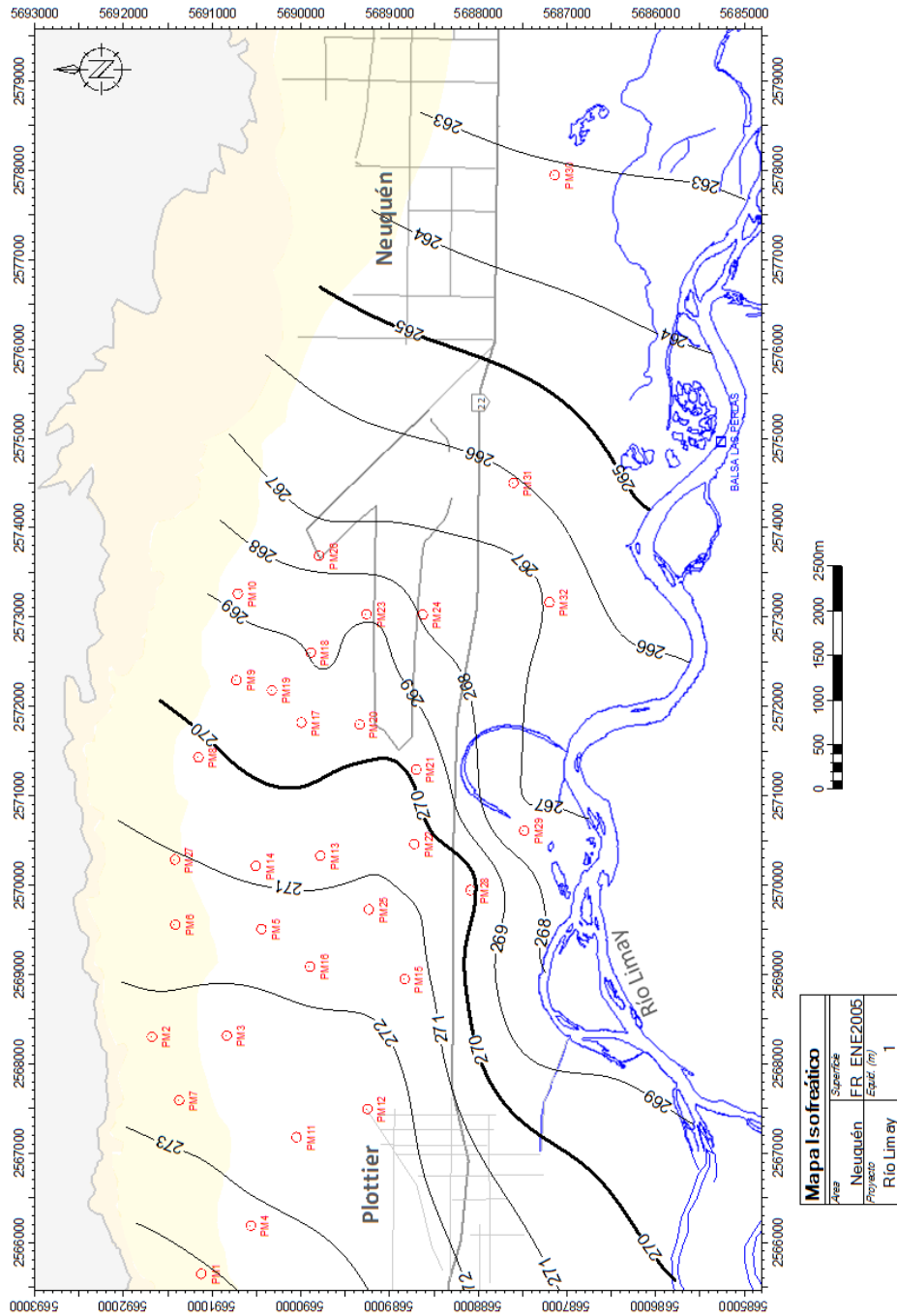
Mapa isofreático octubre de 2004



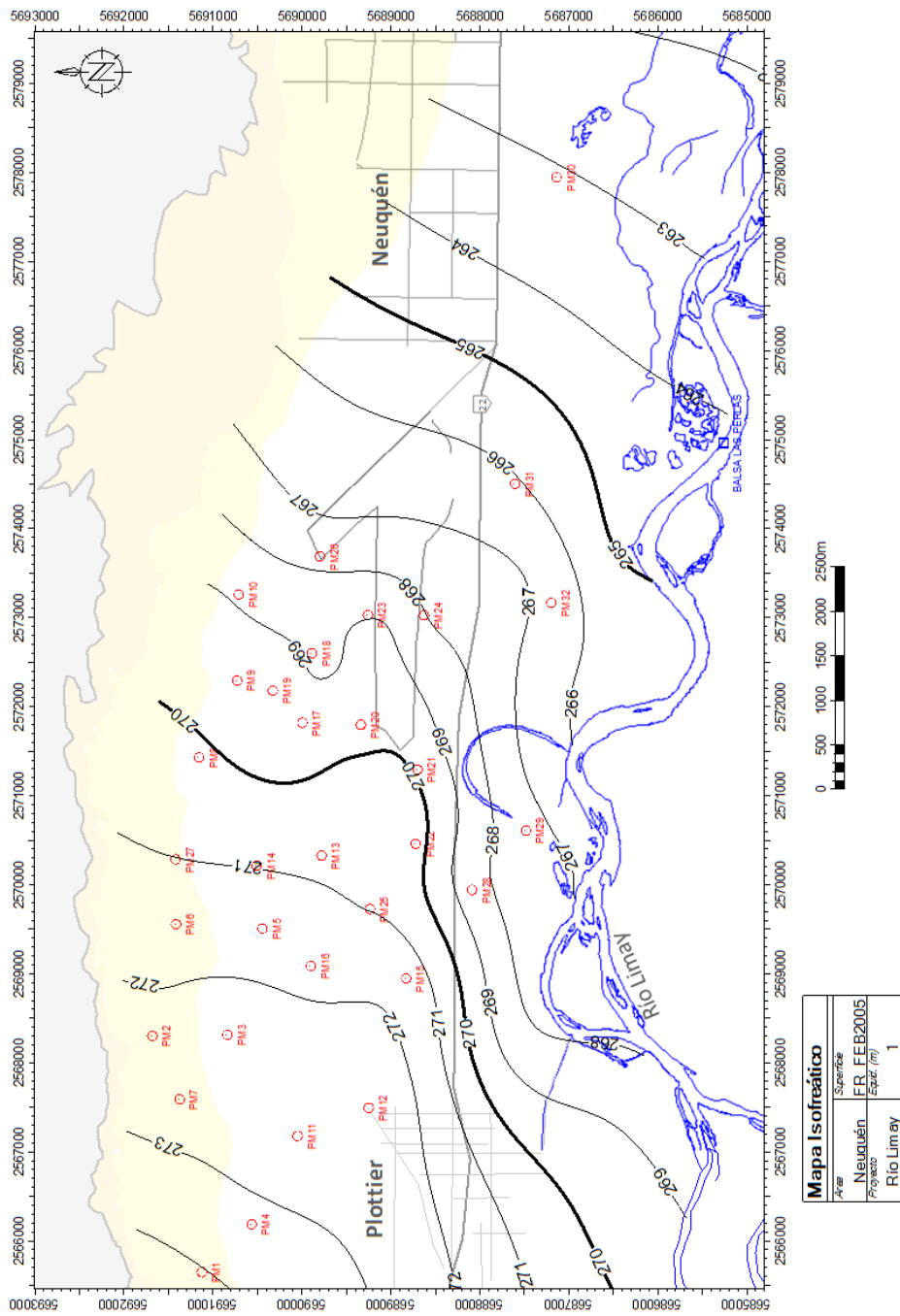
Mapa isofreático noviembre de 2004



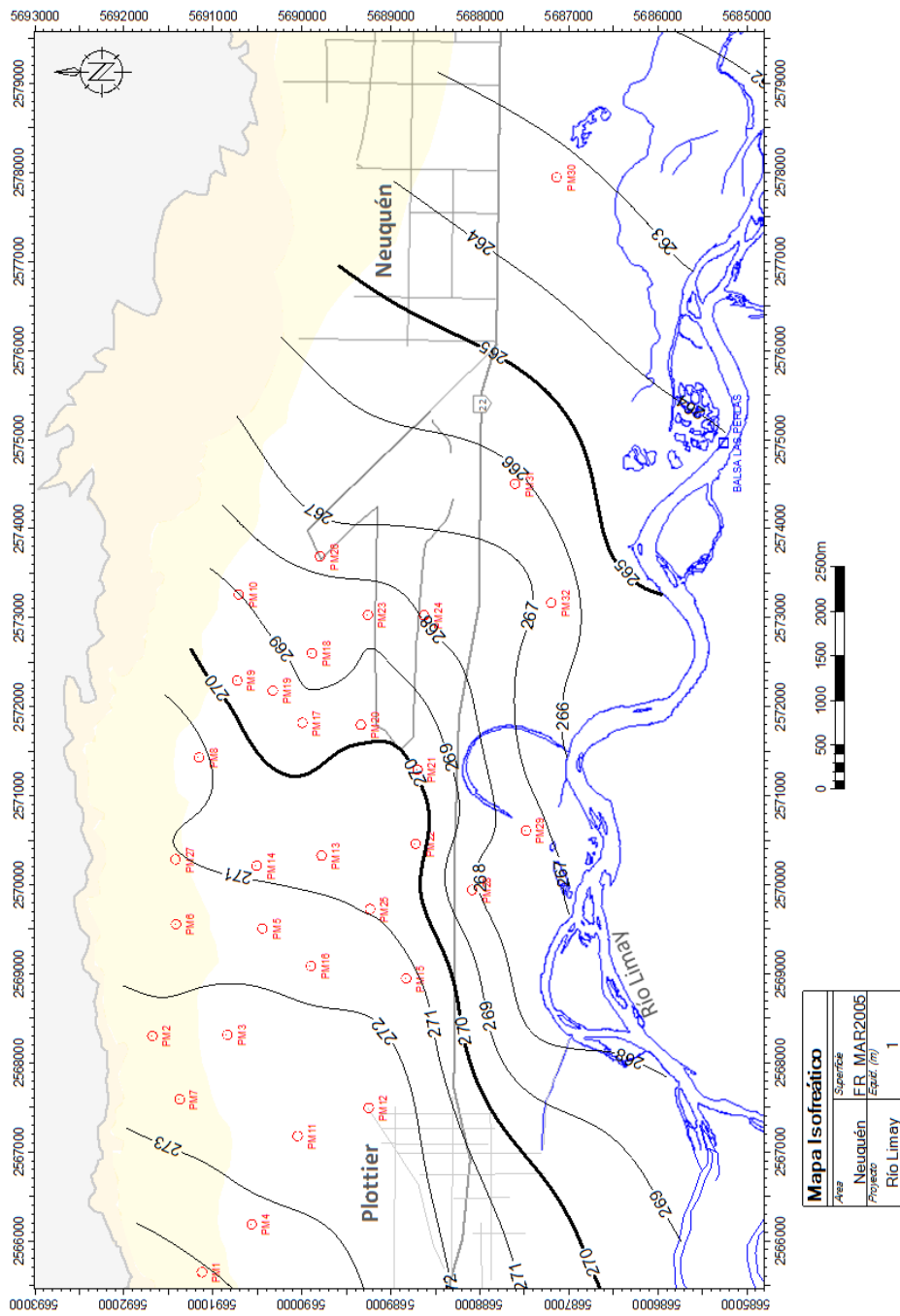
Mapa isofreático diciembre 2004



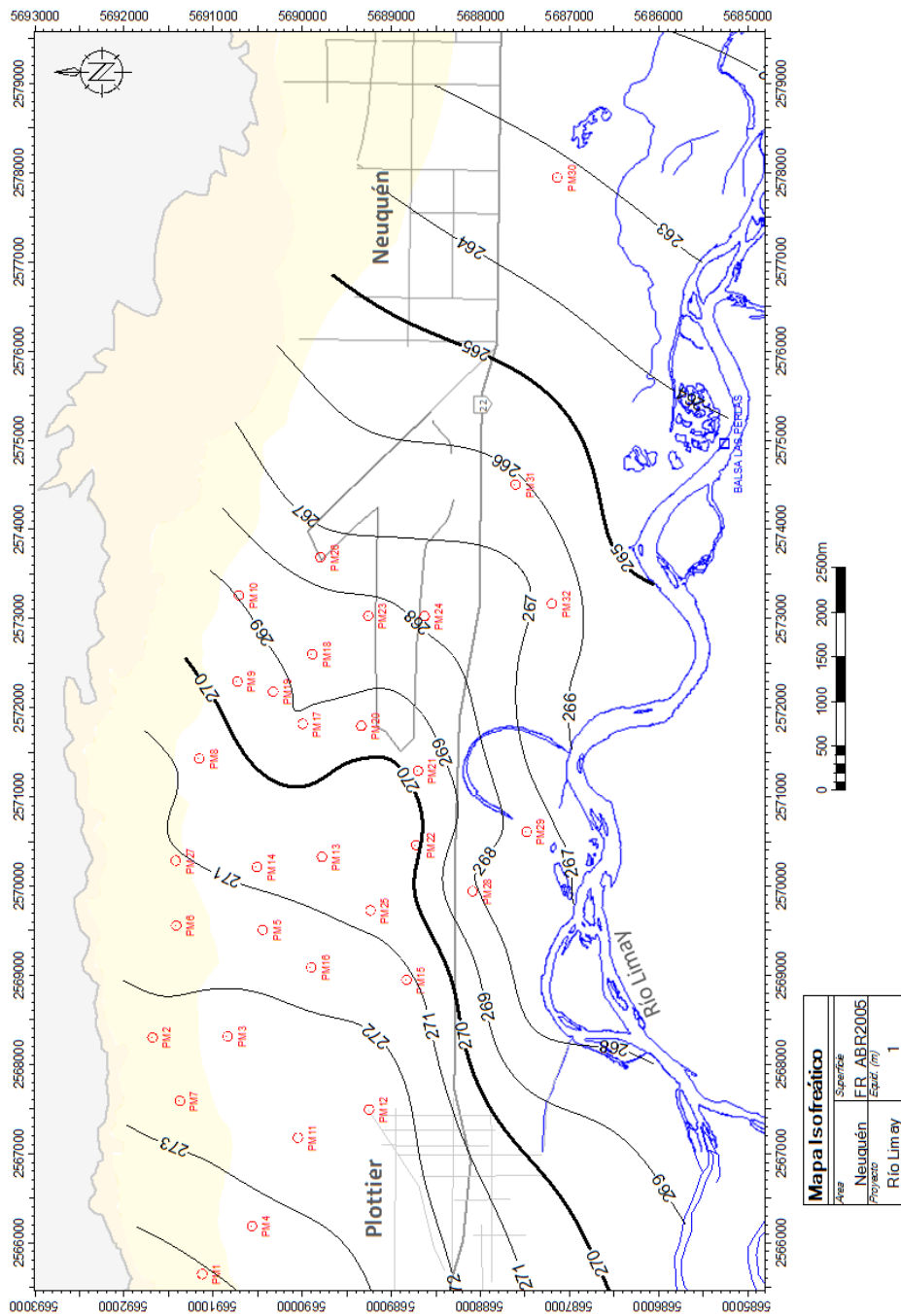
Mapa isofreático enero 2005



Mapa isofreático febrero 2005



Mapa isofreático marzo 2005



Mapa isofreático abril 2005

Figura 9.10 Mapas isofreáticos Mayo 2004 – abril 2005



No existe una relación directa entre las variaciones de los niveles freáticos y los eventos de precipitación producidos en el período analizado. Se muestran como ejemplo dos pozos del sector de la planicie aluvial inactiva. (Figura 9.11)

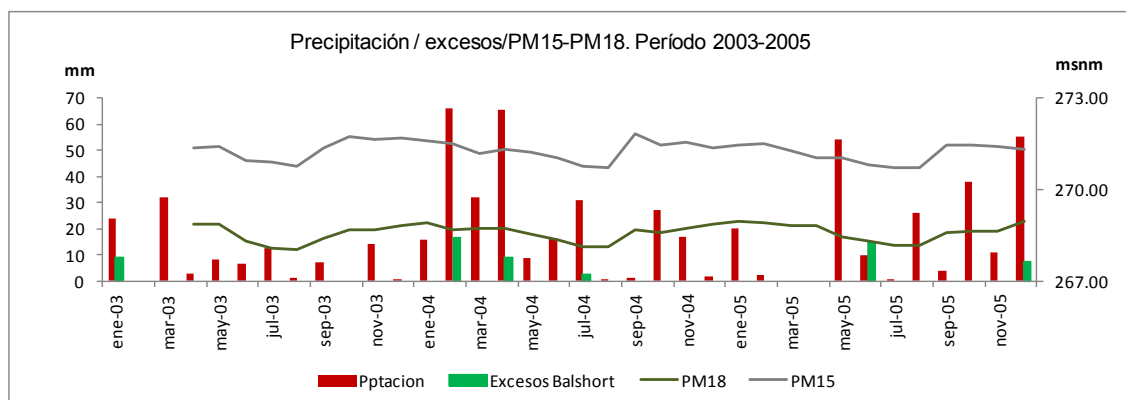


Figura 9.11 Relación precipitación- excesos.-altura hídrica en pozos PM15 y PM18

Tanto las variaciones espaciales del flujo subterráneo, como las variaciones individuales de los niveles freáticos (en la Figura 9.12 se han seleccionado 6 pozos como representativos) posibilitan identificar la existencia de procesos de recarga y descarga a que está sometido el sistema.

En los pozos del sector central de la planicie aluvial inactiva, que es la zona donde existen cultivos sostenidos por el riego, se reconoce la respuesta del acuífero a las variaciones que presenta dicha práctica a lo largo del año. Así se puede definir un período primaveral, como consecuencia de la aplicación de riego por inundación, los niveles freáticos alcanzan su mayor altura (menor profundidad) en el período septiembre-octubre (SO). Posteriormente un ciclo de máxima demanda de la evapotranspiración y crecimiento vegetativo de los cultivos con niveles algo más deprimidos entre los meses de noviembre y enero (NE). Luego asociado a la época de cosecha en que disminuye la frecuencia de riegos, se observa un leve ascenso de los niveles entre enero y abril (EA). Finalmente se reconoce una época sin riego de mayo a agosto (MA) en la que se profundizan los niveles freáticos, por efecto de un predominio de la descarga subterránea, que alcanzan los valores más profundos en agosto en cada uno de los puntos de observación.

En todos los pozos se puede observar que la respuesta al ingreso del agua por riego es relativamente rápida, prácticamente en dos meses alcanzan las alturas hídricas máximas. Los descensos, en cambio, se producen en general en dos etapas, la primera de forma gradual hasta el mes de mayo y la segunda, ya sin riego de manera más marcada.

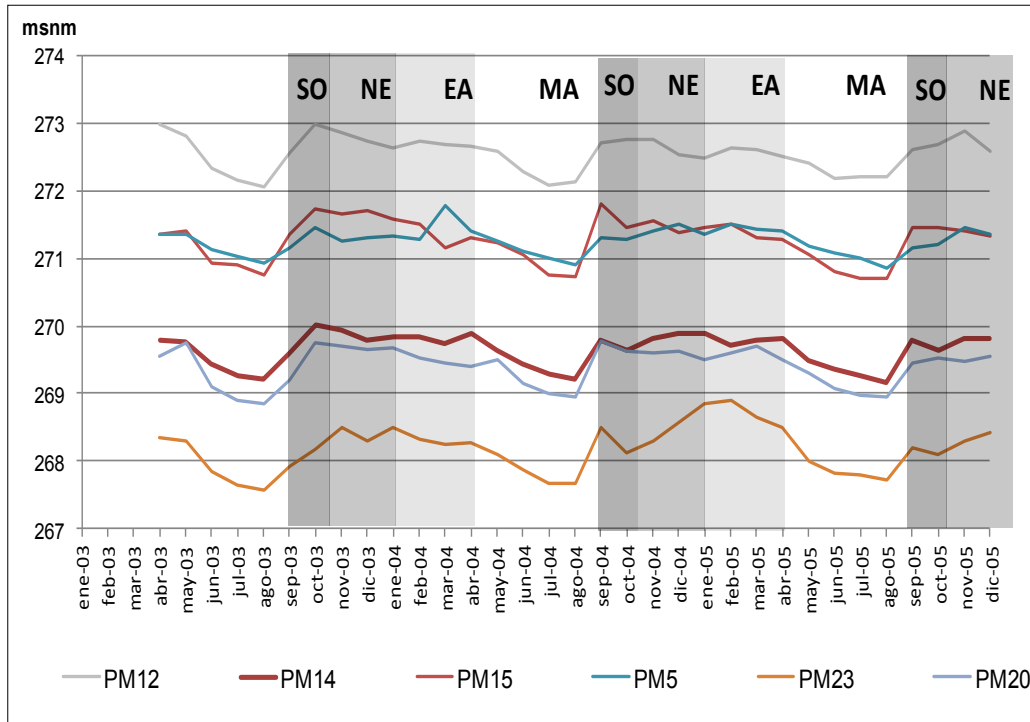


Figura 9.12 Caracterización de las variaciones de los niveles freáticos en función del riego

Los freatómetros PM22 próximo al canal principal y PM21 muy cercano a un canal secundario muestran la influencia de la proximidad con los canales de riego. Al comenzar el riego (fines de agosto – principios de septiembre) la respuesta es rápida, alcanzando los niveles freáticos los valores máximos de variación, con un rango que es del orden de 0.7 a 1m, luego se produce un descenso paulatino de los niveles hasta julio y agosto donde presenta las mayores profundidades. (Figura 9.13).

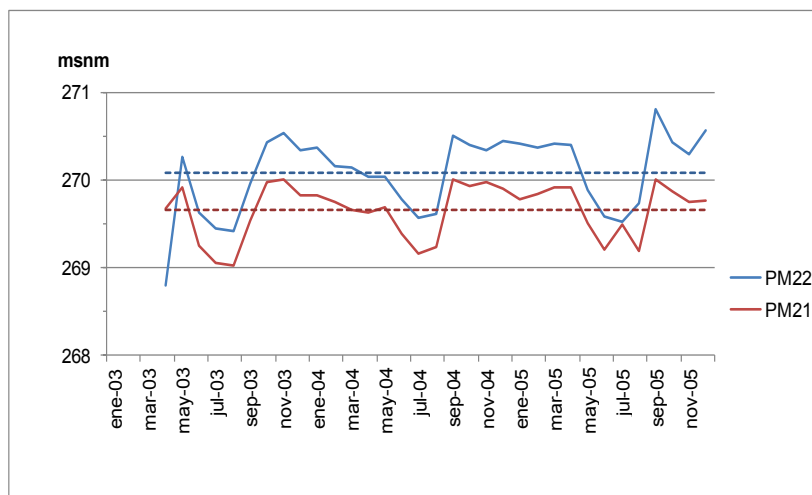


Figura 8.13 Variaciones de los niveles freáticos en los pozos PM21 y PM22, próximos a canales de riego

Una condición particular refleja el PM 29, en el cual los meses de mayor altura hidráulica son inversos a todos los demás analizados (Figura 9.14).

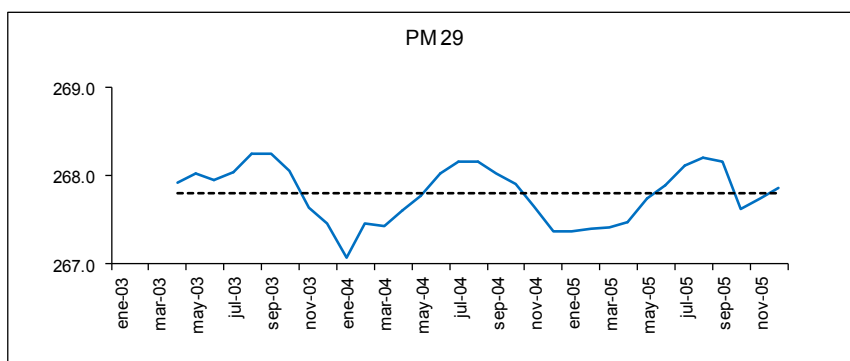


Figura 9.14 Variaciones de los niveles freáticos en el pozo PM29 próximo al río.

Este pozo se encuentra ubicado en las cercanías del río Limay, muy próximo a un meandro, y se ve afectado por las variaciones de las alturas del río. Se analizaron las alturas hidrométricas de Balsa Las Perlas, con un paso diario, haciendo coincidir con el día del registro de la altura hidráulica en el pozo.

Las variaciones en el pozo y el río son semejantes, las mayores alturas se producen en los meses de mayo, junio, julio y agosto, coincidiendo con las mayores alturas del río que se producen entre abril y septiembre. (Figura 9.15).

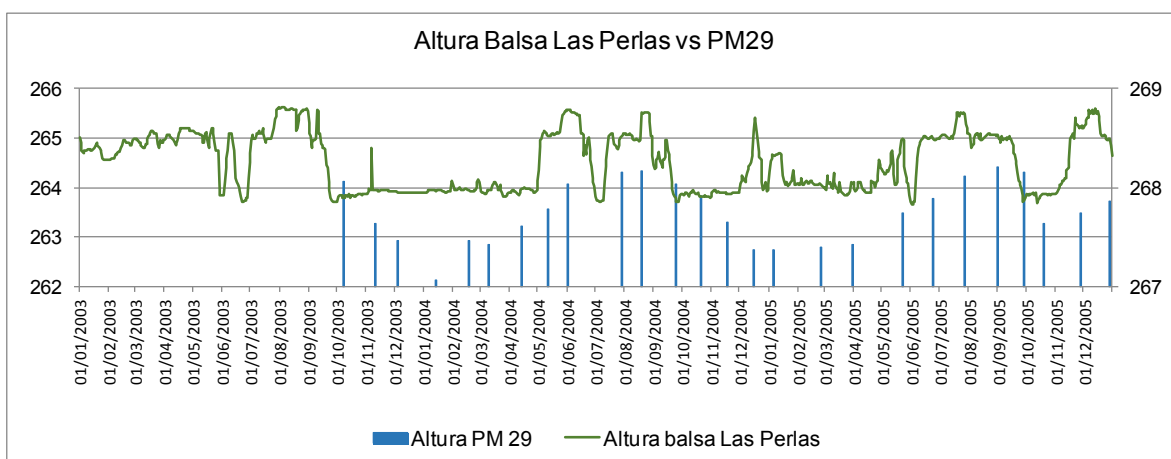


Figura 9.15 Variaciones de los niveles freáticos del pozo PM29 asociadas a las variaciones de altura de Balsa Las Perlas

Las mayores diferencias de altura entre el nivel del río y el nivel del pozo 29 se producen en octubre y noviembre, coincidiendo con los niveles más bajos del río y las mayores alturas del nivel freático en el área.

Se concluye que la recarga del sistema se puede producir por dos fuentes, una natural a través de las precipitaciones y la otra derivada del riego. Esta última de forma puntual producida a través de canales que conducen agua del río Limay y difusa o areal a partir de las superficies inundadas por el riego.

La recarga principal del sistema es de origen alóctono e indirecta ya que se produce fundamentalmente a partir del riego, que se refleja en un fuerte ascenso de los niveles freáticos al iniciarse esta operación.

Dadas las condiciones climáticas, el aporte directo producido por las precipitaciones locales adquiere escasa significación. Sin embargo el análisis del balance hídrico diario ha puesto de manifiesto que eventos de lluvias intensas (mayores a 30 mm diarios) generan excesos que pueden infiltrarse hacia el nivel freático.

La descarga se produce como efluencia subterránea y localmente hacia la zona de planicie de inundación del río, a través de la zona hiporreica definida como un área situada en las adyacencias del cauce en la cual se produce un intercambio de agua entre el flujo superficial y subterráneo.

También existe una descarga del sistema subterráneo a través del uso consuntivo.

### **9.5. Recarga y descarga**

El conocimiento de la variaciones de los niveles freáticos permite la utilización de métodos para el cálculo de la recarga y descarga de acuíferos.

Si se asume la premisa que el ascenso del nivel del agua subterránea en acuíferos libres es debida al agua de recarga que llega al nivel freático y como se cuenta con datos de mediciones mensuales, se ha realizado una estimación del volumen de recarga y descarga a partir de las variaciones de los niveles subterráneos.

Se utilizó un 25% de porosidad efectiva, en función de las características litológicas e información antecedente para el acuífero freático. Este fue validado en el modelo matemático que se describe más adelante. En los mapas no fue considerado el pozo PM29 por su comportamiento asociado al río.

En función del año hidrológico y de las características del riego, los mapas de isovariación se realizaron según tres períodos:

#### **1. Período inicial del riego**

Agosto 2003 – noviembre 2003 (Figura 9.16): En esta etapa se produce el ingreso del agua de riego y consecuentemente el ascenso de los niveles freáticos que alcanzan su máxima altura. La recarga, principal se concentra en tres meses, septiembre, octubre y

noviembre. La diferencia de altura hídrica entre el mes de máxima (noviembre) y de mínima (agosto) reflejan las reservas generadoras del período. Las mayores variaciones se producen en el sector central de la planicie aluvial inactiva con ascensos del nivel freático que varían entre 0,80 y 1,2 m. En el sector próximo al pedimento de flanco distal, dentro de la planicie, las variaciones son de alrededor de 0,40m. El volumen estimado de ingreso de agua al sistema en esta etapa es de aproximadamente 10,6 hm<sup>3</sup>.

## 2. Período de mantenimiento del riego

Noviembre 2003 – mayo 2004 (Figura 9.17): donde a pesar de la continuidad del riego, es decir no cesa el ingreso de agua, los niveles comienzan a descender paulatinamente debido al mayor consumo de los cultivos y al aumento de la evapotranspiración real. En esta etapa se puede observar que prácticamente en toda el área central de la planicie aluvial los descensos de los niveles varían entre los 0,2 y 0,4 m. En el acuífero comienza la etapa de descarga estimándose un egreso de agua del sistema de 3,1 hm<sup>3</sup>.

## 3. Período sin riego

Mayo 2004 – agosto 2004 (Figura 9.18): donde ya sin riego, se produce el descenso marcado de los niveles hasta alcanzar los registros de alturas hídricas mínimas (agosto). En estos cuatro meses se producen las mayores diferencias de alturas y como consecuencia se genera el mayor volumen de descarga. En este período se observa un descenso importante de los niveles freáticos, esta diferencia aumenta en dirección al río, especialmente en el sector oeste del área de estudio. Las variaciones del sector central de la planicie aluvial son del orden de 0,4 m y los próximos al río de 1,2 m. En el sector este las variaciones son más homogéneas y están en el orden de 0,4 m. El volumen neto descargado en el sistema en este período es de 7,5 hm<sup>3</sup>.

En el proceso de estimación de recarga y descarga del sistema, el volumen total ingresado en prácticamente tres meses (septiembre, octubre y noviembre) es el mismo que se descarga en los meses subsiguientes en dos etapas, conformando un ciclo que en general se repite anualmente en todo el período analizado.

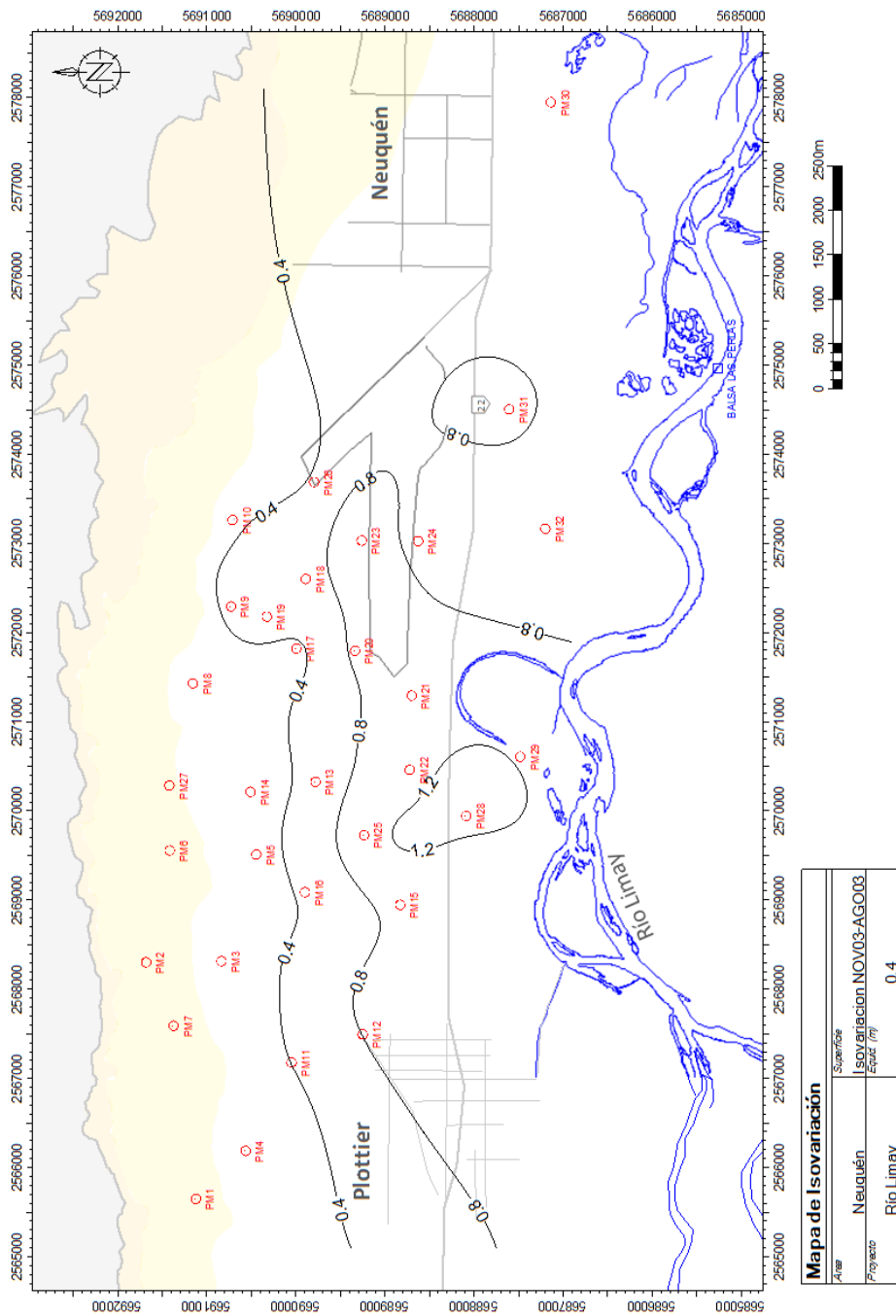


Figura 9.16 Mapa de isovariación del período inicial de riego (agosto 2003 - noviembre 2003)

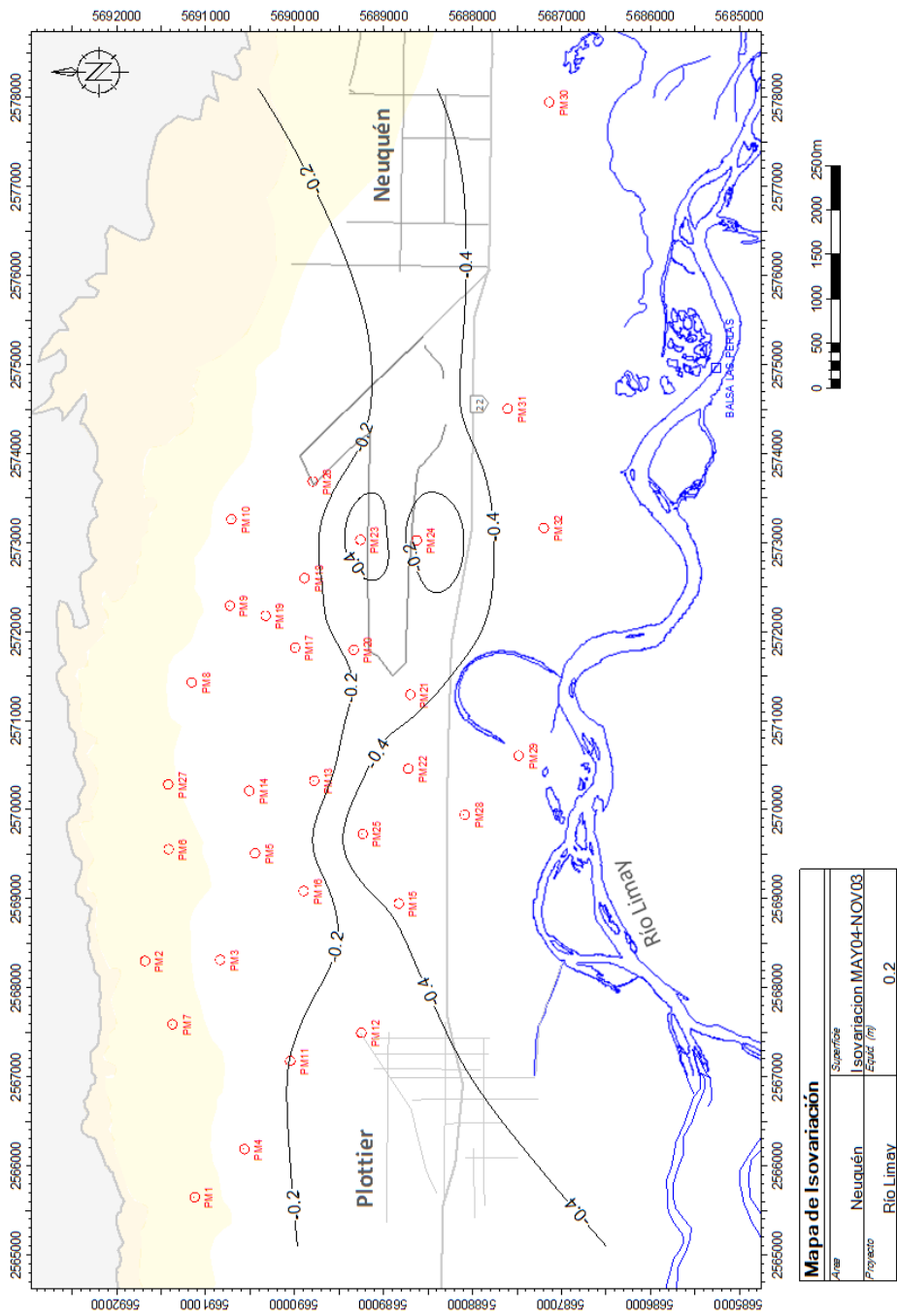


Figura 9.17 Mapa de isovariación del período de mantenimiento del riego (noviembre 2003-mayo 2004)

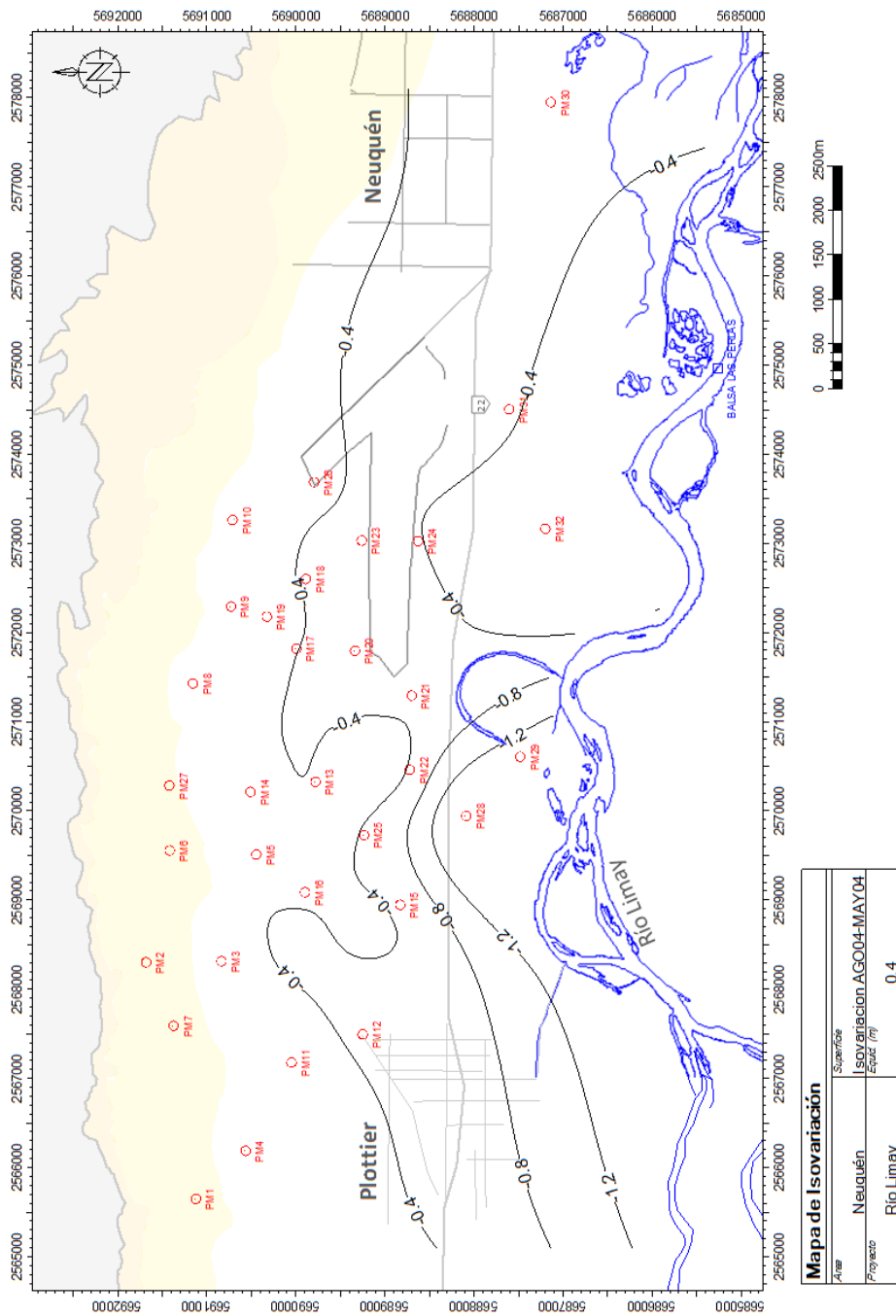


Figura 9.18 Mapa de isovariación del período sin riego (mayo 2004 – agosto 2004)



## 10. HIDROQUÍMICA

Tal como fuera indicada, la información hidrogeológica de los niveles profundos en el Grupo Neuquén o unidades más profundas es prácticamente inexistente para definir las características hidroquímicas.

Debe tenerse en cuenta que la salinidad del agua en el Grupo Neuquén es del orden de 2g/L. Los antecedentes descriptos indican que en los metros superiores de esta secuencia en una perforación antigua de Plottier el contenido salino total varía entre 2,4 y 2,7 g/l. Una perforación más reciente en la planicie aluvial (proximidades del pedimento de flanco) muestra un valor de 2,8 mg/L. El análisis realizado en forma indirecta a partir de la interpretación descrita en el capítulo de hidrogeología permite deducir salinidades superiores a 1480 mg/L en la unidad acuífera más somera (entre 150 y 250 m de profundidad) y superiores a 2450 mg/L, en unidades más profundas, que se desarrollan hasta los 500 m de profundidad.

Las características referidas en relación a los datos de los niveles profundos conducen a un estudio específico de las condiciones hidroquímicas de la capa freática. Se realizó a través del análisis e interpretación de los datos obtenidos en campo y laboratorio. Los muestreos de aguas superficiales y subterráneas, como se mencionara en el capítulo de metodología, corresponden a abril, julio y octubre de 2003, enero y julio de 2004 y enero y agosto de 2005.

En el análisis hidroquímico es necesario considerar que el acuífero freático, si bien presenta una mayor extensión en gravas y rodados, de alta capacidad de infiltración, se interdigita hacia el pedimento de flanco con sedimentos de baja conductividad hidráulica. De esta forma la capa freática se desarrolla tanto en la planicie aluvial inactiva como en el Grupo Neuquén aflorante situada en el sector norte (pedimento de flanco proximal). Estas características adquieren importancia desde un punto de vista químico, al igual que la influencia de los excesos de agua provenientes del riego.

### 10.1. Descripción general del agua freática

#### 10.1.1. Tipos de agua

A partir de gráficos de Piper se definen tres tipos de agua y a su vez permiten reconocer que estas características tienen un comportamiento relativamente homogéneo en función del tiempo. Las aguas se clasificaron en cloruradas sulfatadas sódicas, sulfatadas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas sódicas cálcicas. (Figura 10.1).

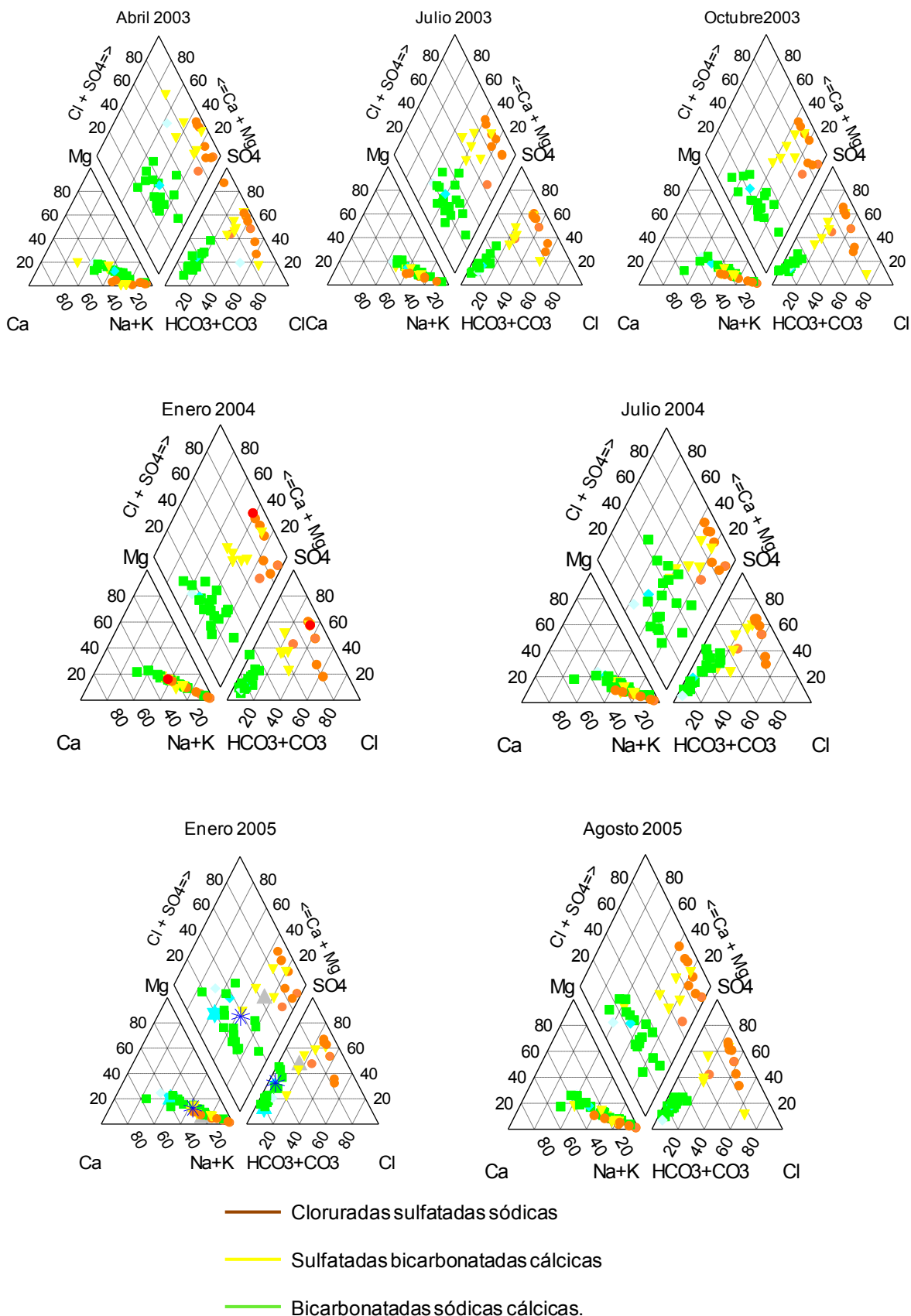


Figura 10.1 Diagramas Piper Hill. Clasificación de los diferentes tipos de agua

Los gráficos de Shoeller- Berkaloff (Figura 10.2) corresponden a los meses de invierno de 2004 - 2005 y verano 2004 - 2005. Muestran que no existe prácticamente variación estacional en las concentraciones de los diferentes iones. Ello pone de manifiesto el dominio del catión  $\text{Na}^+$  sobre el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , diferenciándose dos grupos en función de los aniones, uno en el que predominan  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$  y otro con mayores contenidos de  $\text{HCO}_3^-$ .

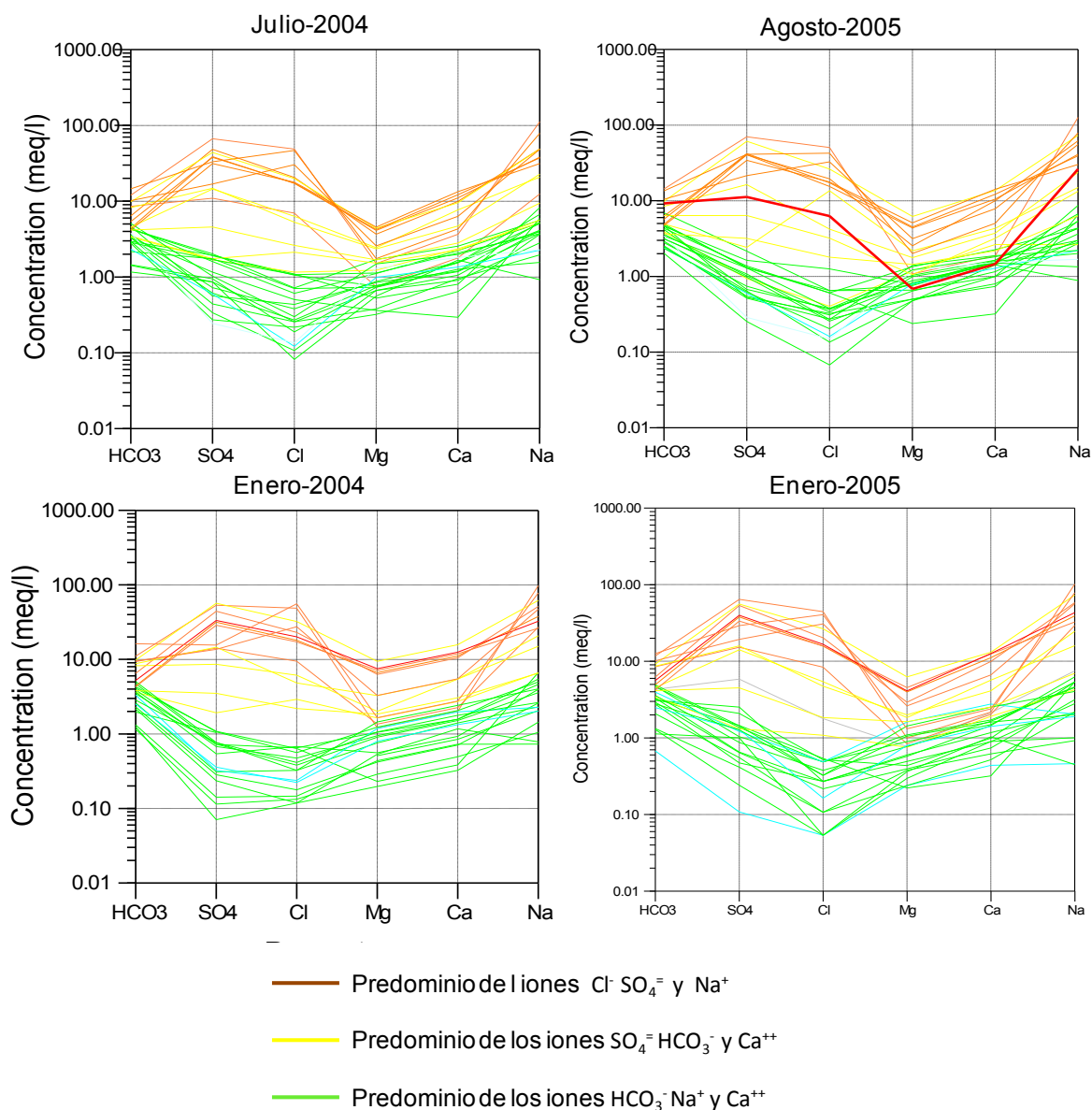


Figura 10.2 Diagrama Shoeller- Berkaloff indicando el predominio de los diferentes iones

### 10.1.2. Distribución espacial

Dado que no existen variaciones significativas en los contenidos químicos en los muestreos ejecutados, se seleccionó el correspondiente a enero de 2005 para valorar la variación areal de los diferentes componentes analizados. Se adjunta en anexo el mapa con los diagramas Stiff y los mapas correspondientes a todos los elementos y muestreos realizados.

La conductividad eléctrica (Figura 10.3) presenta sus mayores valores en el sector próximo al pedimento de flanco, con valores que varían entre 4000 y 8000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y en un corto tramo en dirección a la planicie alcanzan los 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en ésta los valores son siempre menores.

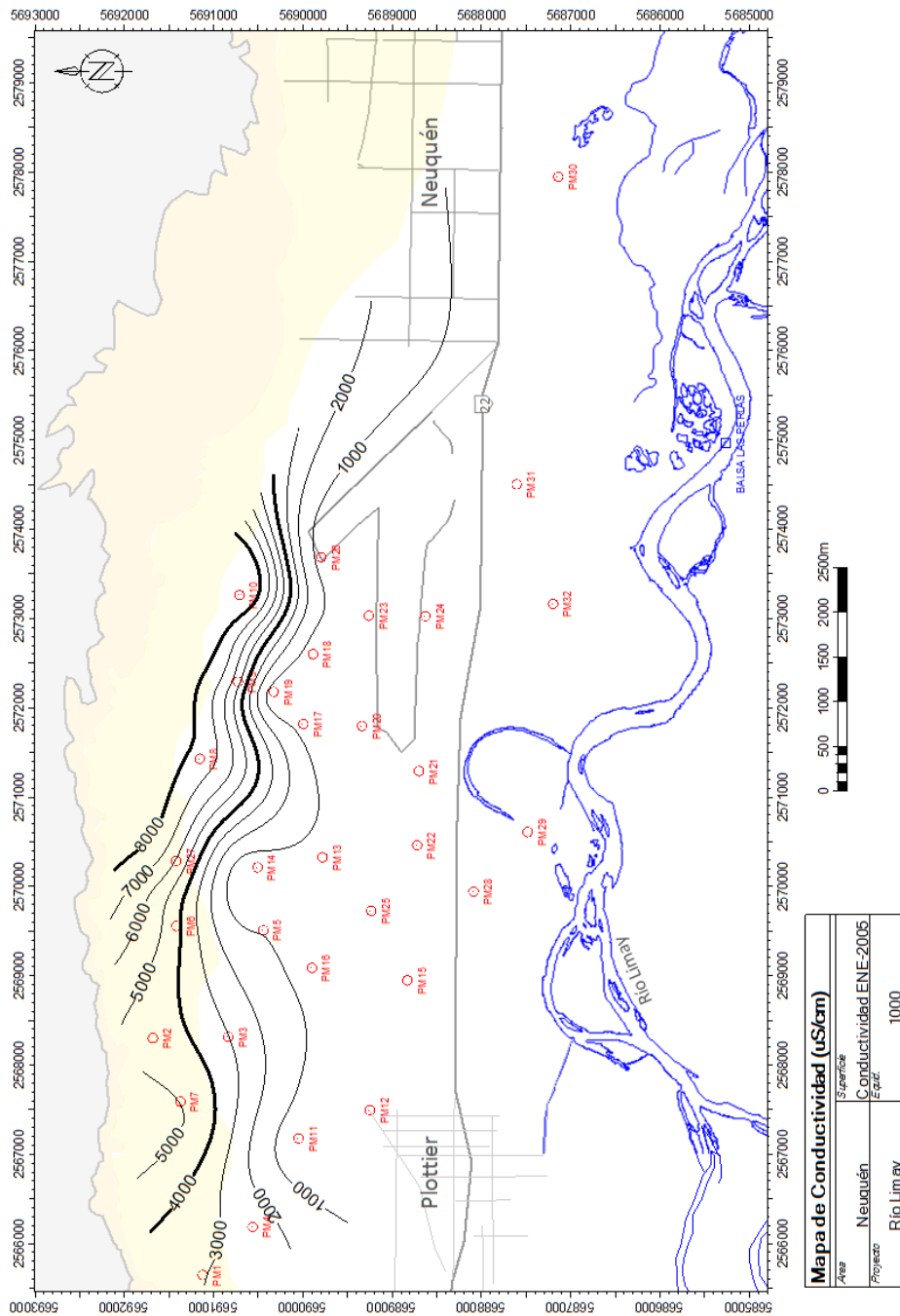


Figura 10.3 Conductividad eléctrica

Los valores de dureza (Figura 10.4) varían entre 400 y 200 mg/L, concentrándose los mayores en el sector próximo al pedimento de flanco. En la planicie los valores varían entre 26 y 200 mg/L

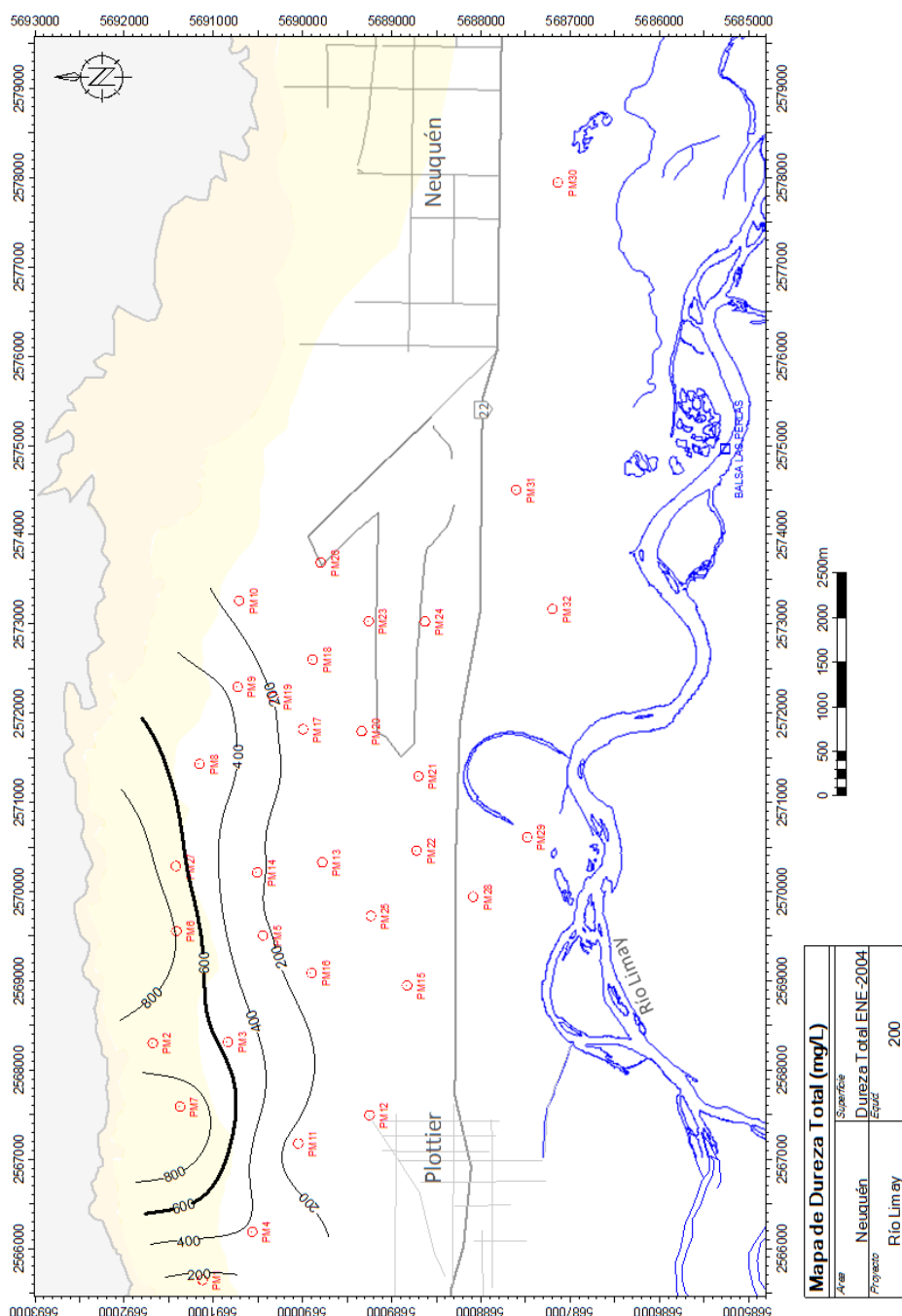


Figura 10.4 Dureza

La mayor concentración de cloruro (Figura 10.5) es en el sector cercano al pedimento de flanco con valores entre 1600 y 800 mg/L y hacia la planicie aluvial disminuyen con contenidos menores a 200mg/L.

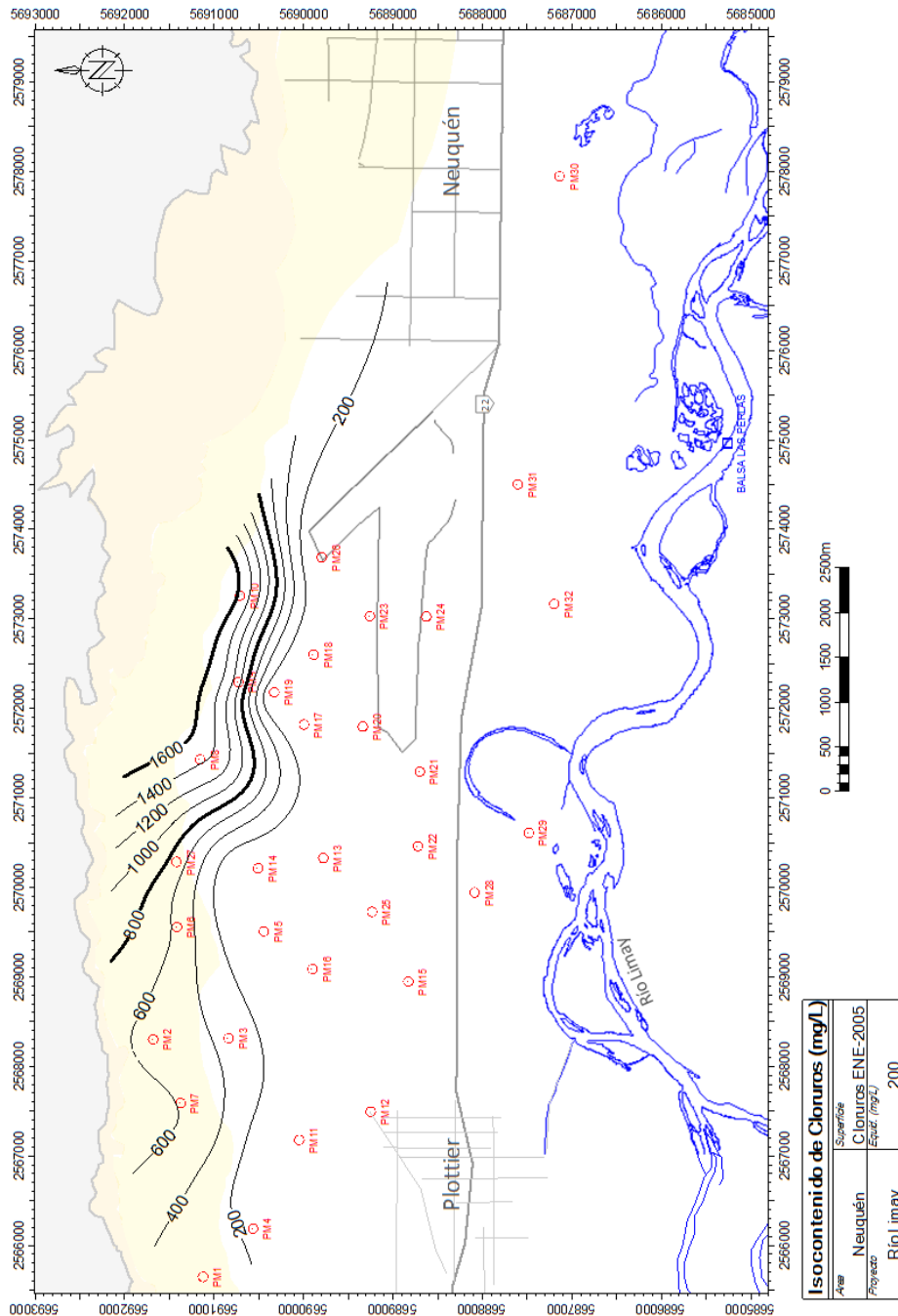


Figura 10.5 Cloruros

Los sulfatos (Figura 10.6) varían entre 2800 y 2000 mg/L, llegando a valores menores de 400 mg/L en la planicie aluvial.

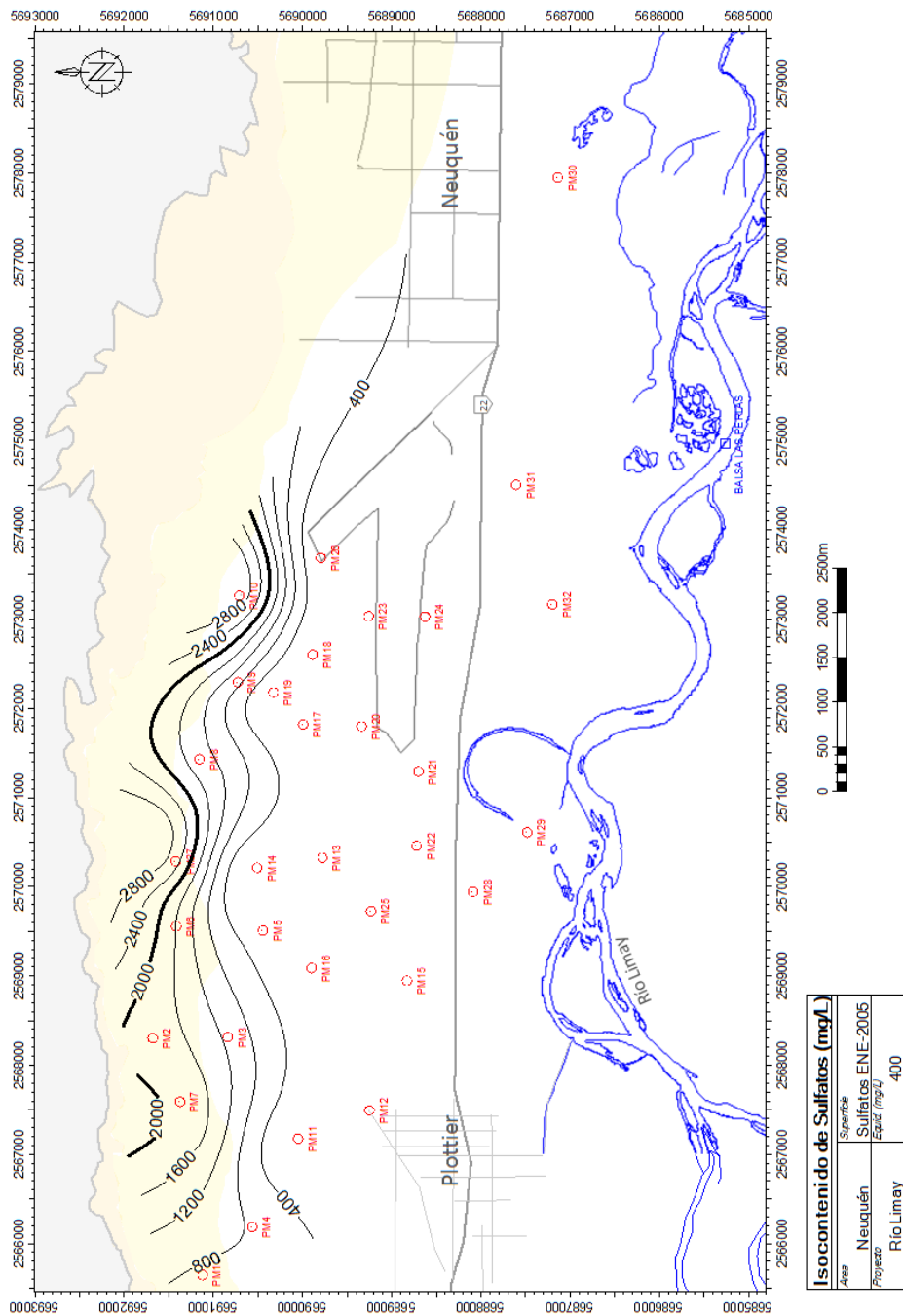


Figura 10.6 Sulfatos



Los bicarbonatos (Figura 10.7) presentan una distribución particular, concentrándose los mayores valores en el sector NE del área de estudio, con contenidos que varían entre 900 y 500 mg/L. En el NW los máximos alcanzan 500 mg/L y en la planicie aluvial varían entre 100 y 300 mg/L.

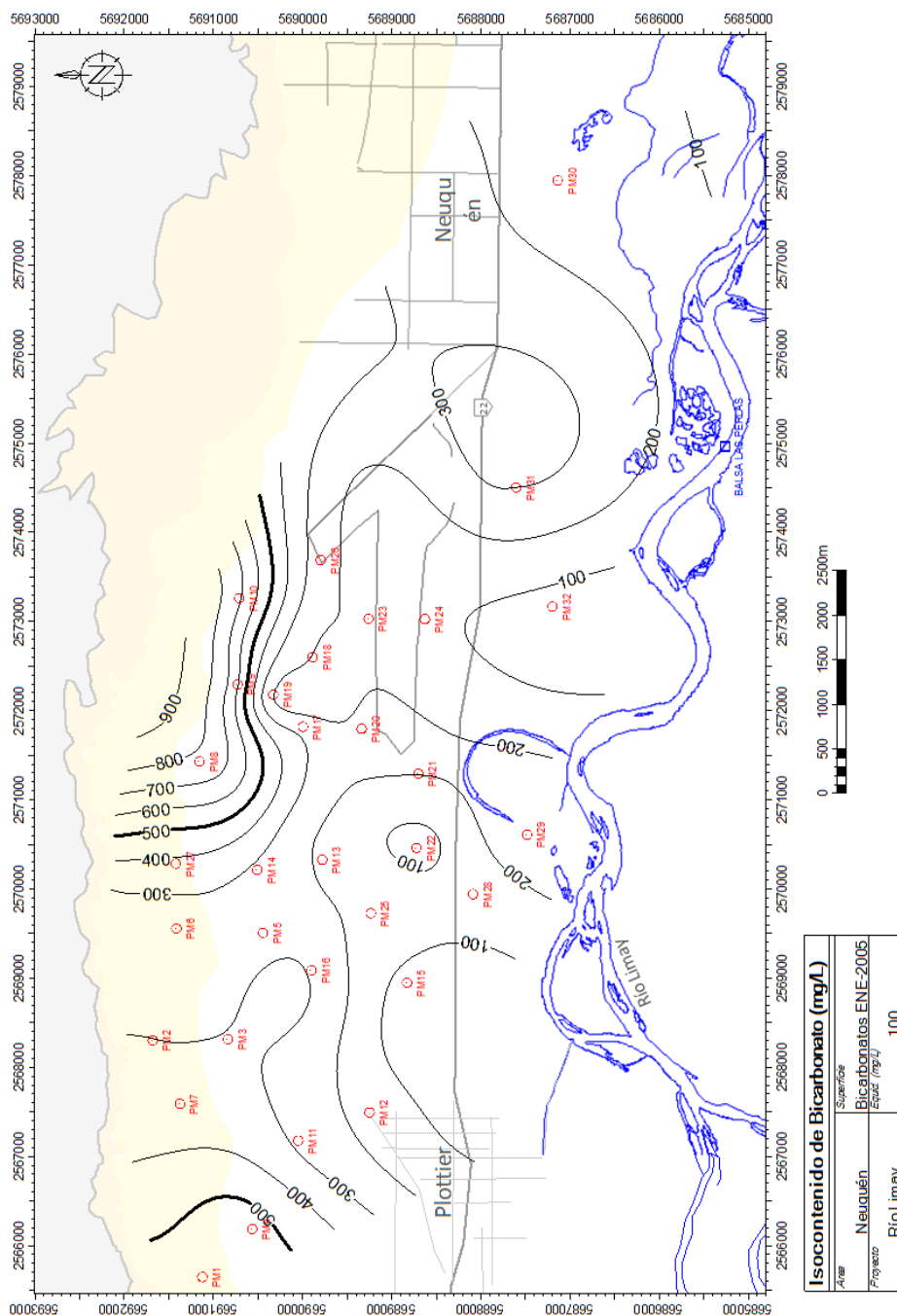


Figura 10.7 Bicarbonatos

El sodio (Figura 10.8) presenta características de distribución similares al bicarbonato, con valores variables entre 2800 y 1000 mg/L al norte y menores a 250 mg/L en la planicie.

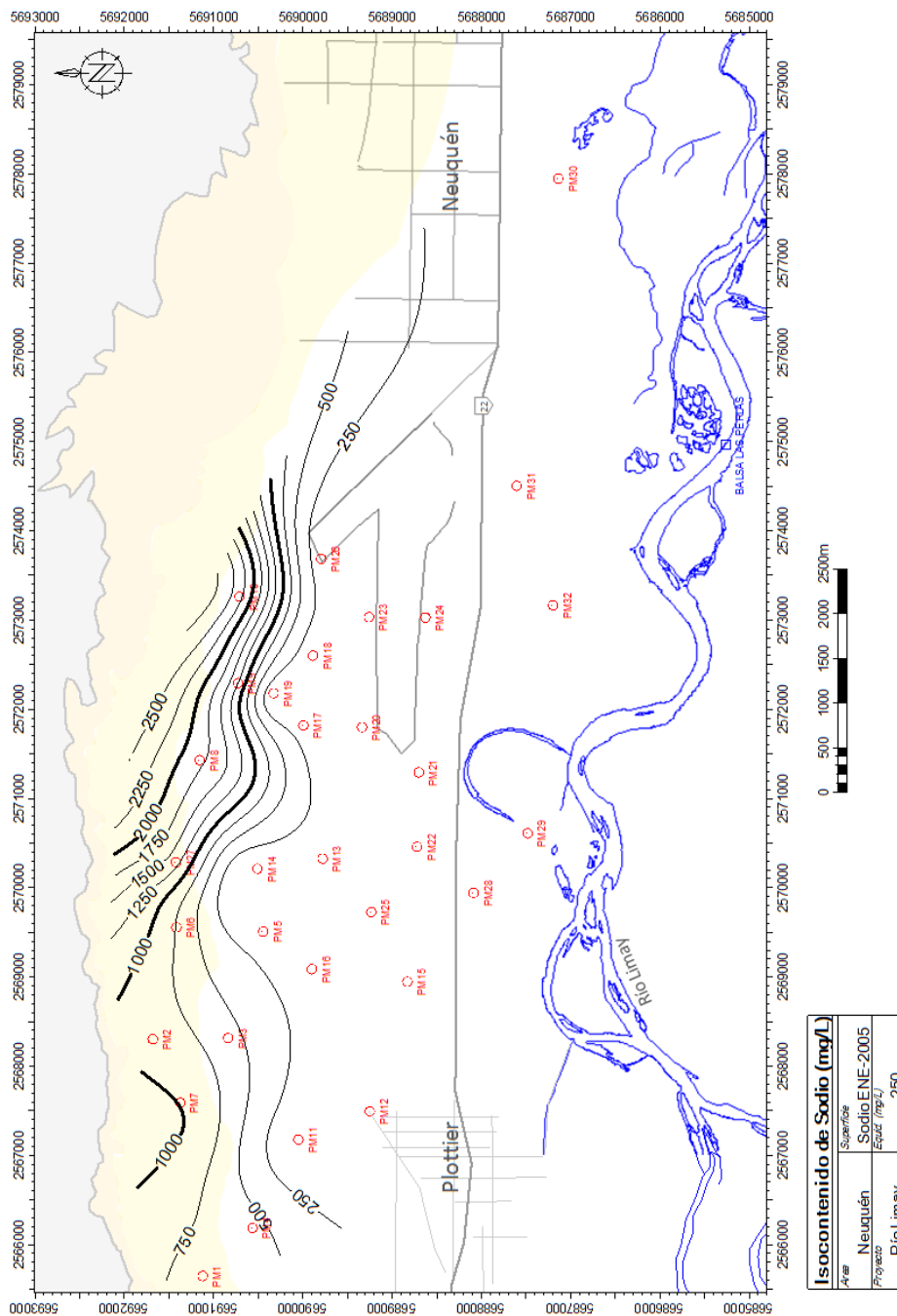


Figura 10.8 Sodio

La distribución espacial del calcio (Figura 10.9) y el magnesio (Figura 10.10) es semejante, concentrándose los mayores valores en el sector NW del área. El calcio presenta 200 mg/L en el área de pedimento de flanco y menos de 50mg/L en la planicie aluvial. El magnesio varía entre 60 y menos de 15 mg/L.

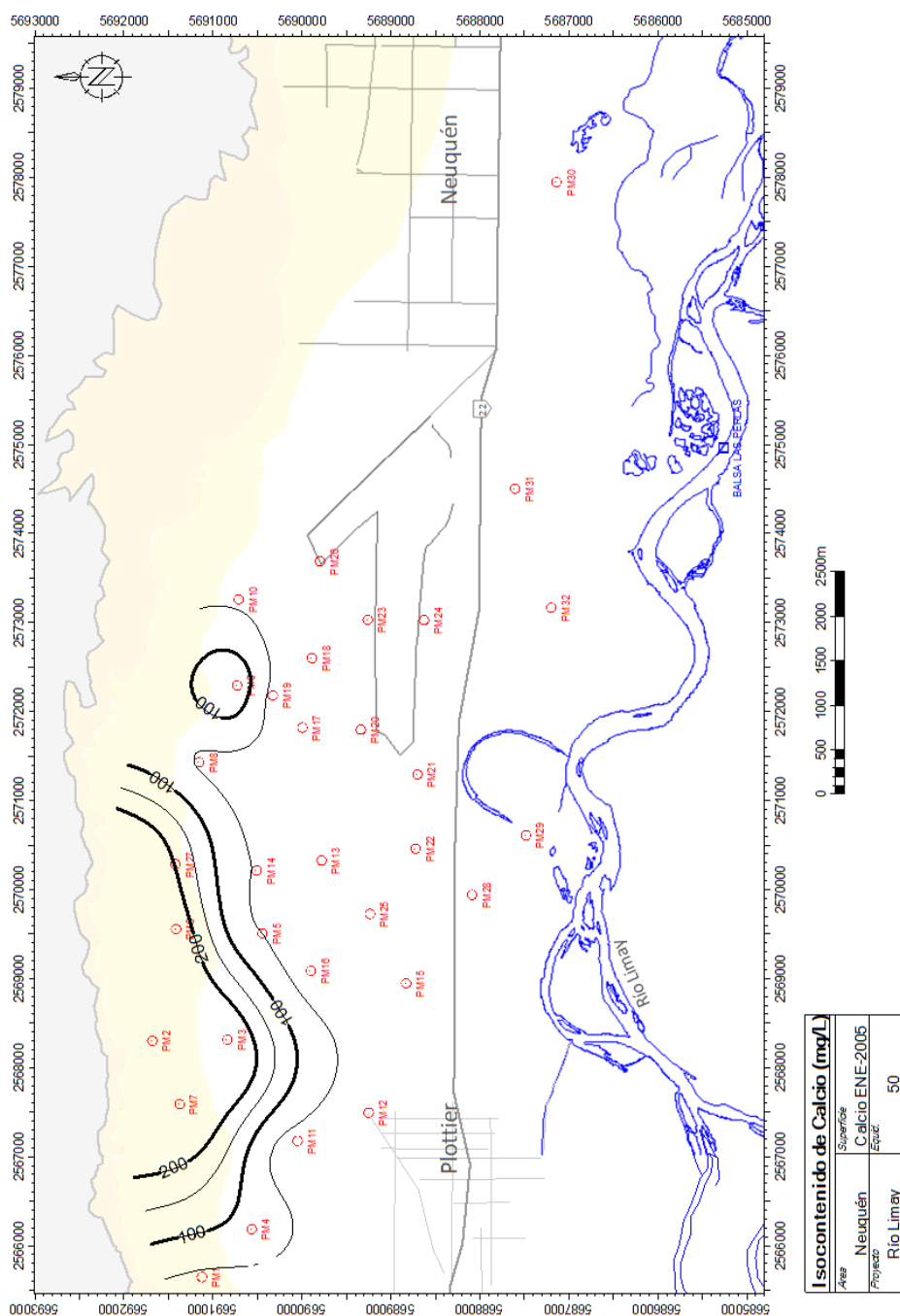


Figura 19.9 Calcio

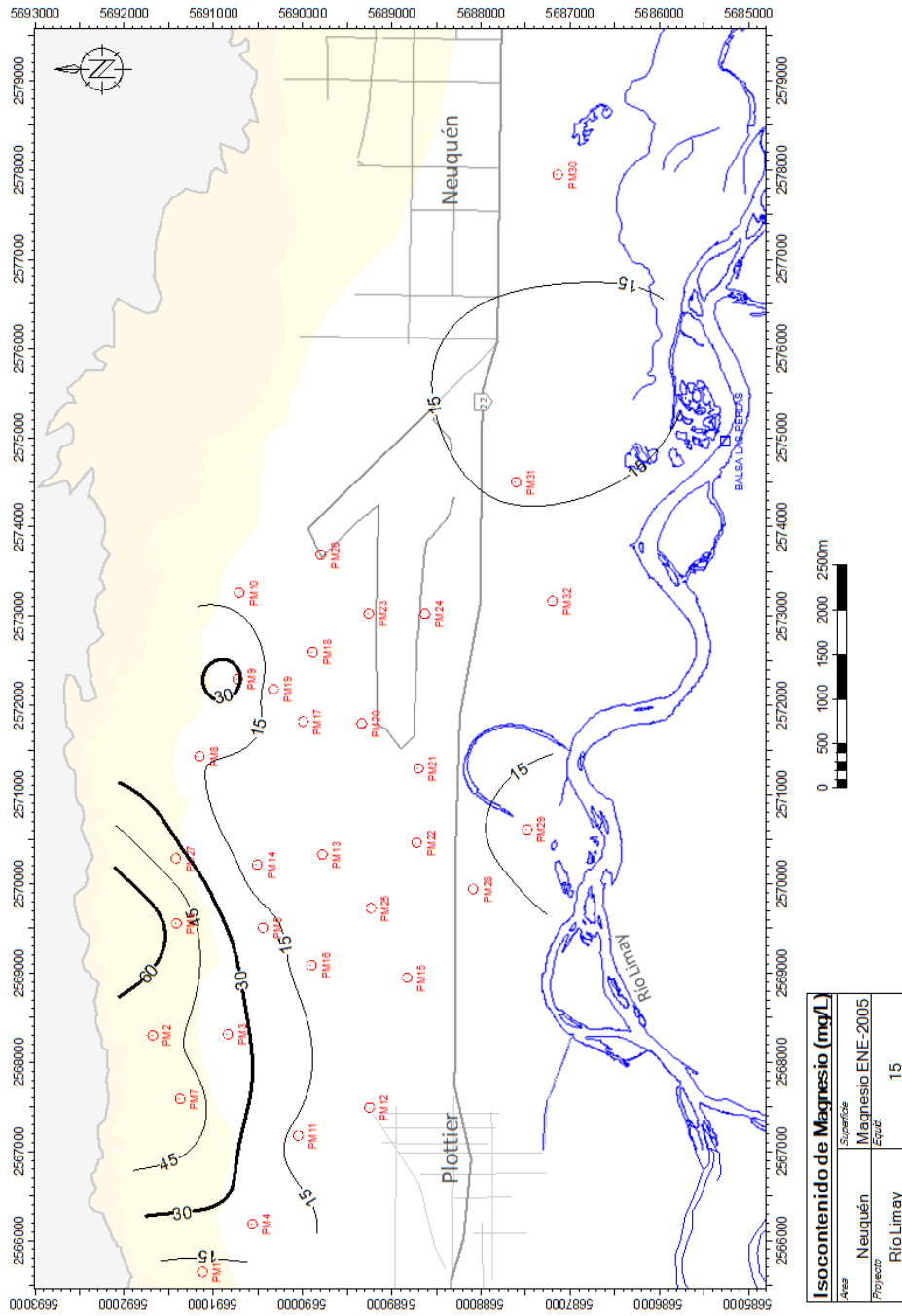


Figura 10.10 Magnesio

El nitrato (Figura 10.11) presenta una distribución aleatoria con valores que no superan los 50 mg/L

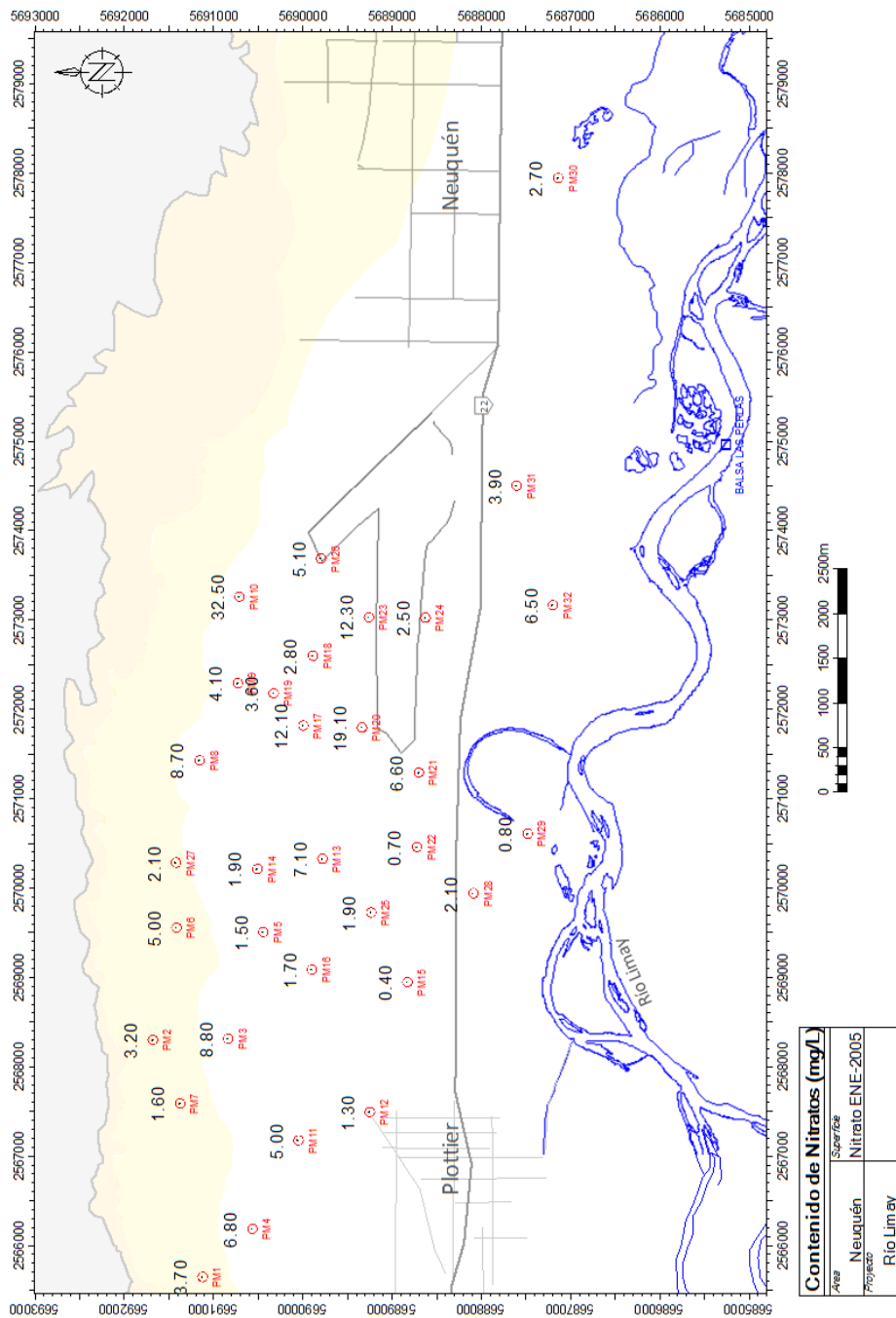


Figura 10.11 Nitrato

Los contenidos de manganeso (Figura 10.12) varían entre 0,002 y 1,3 mg/L. Presenta una distribución errática existiendo pozos con un mayor contenido en el área de pedimentos de flanco (PM8 y PM9) y en el sector este de la planicie aluvial (PM30 y PM31).

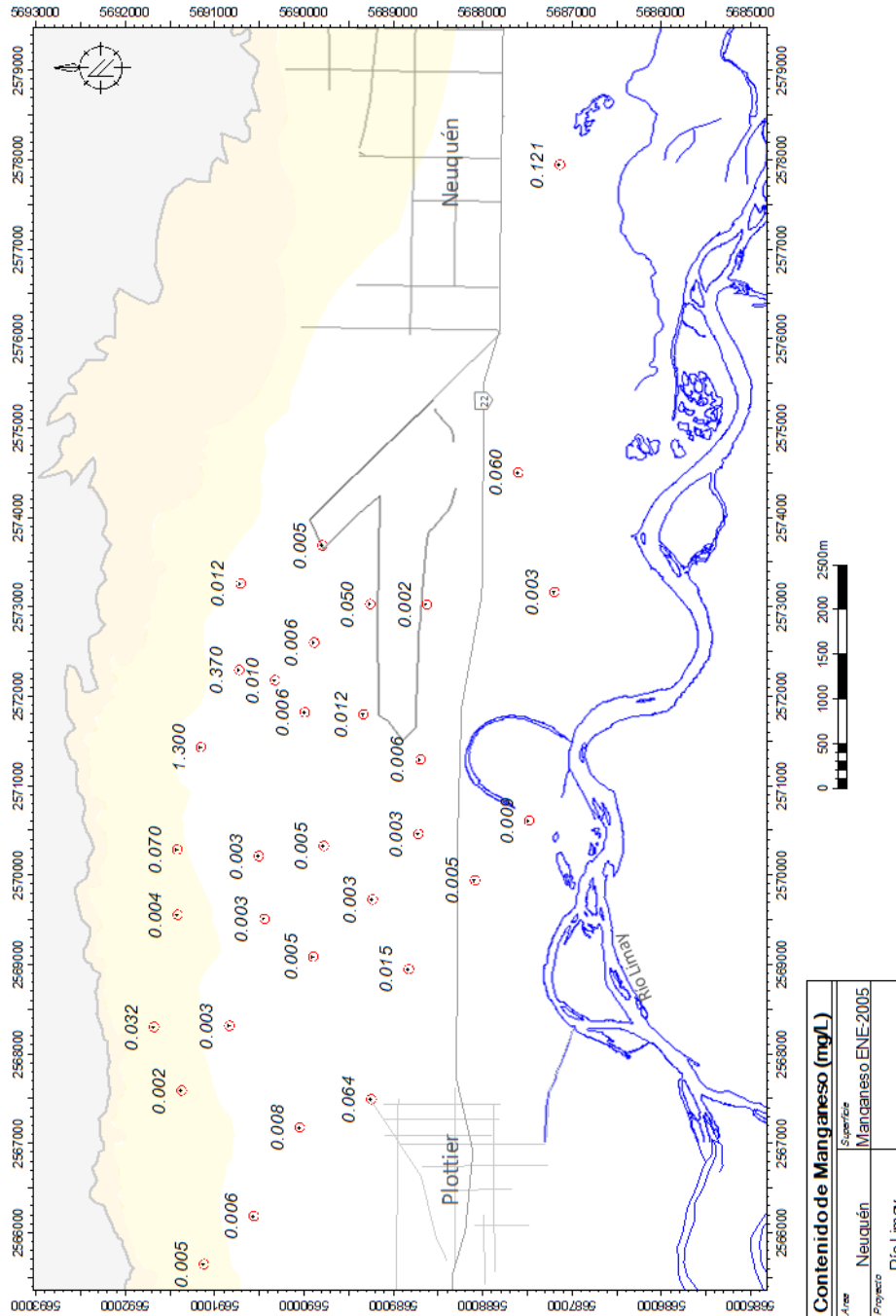


Figura 10.12 Manganeso

### 10.1.3. Zonación química

En función de estos resultados, tanto el análisis de los indicadores hidroquímicos (conductividad, TDS, dureza, pH) como de los elementos mayoritarios y minoritarios en las aguas subterráneas se diferenciaron tres ámbitos: zona de pedimento de flanco, zona de transición y zona de planicie aluvial. (Figura 10.13).

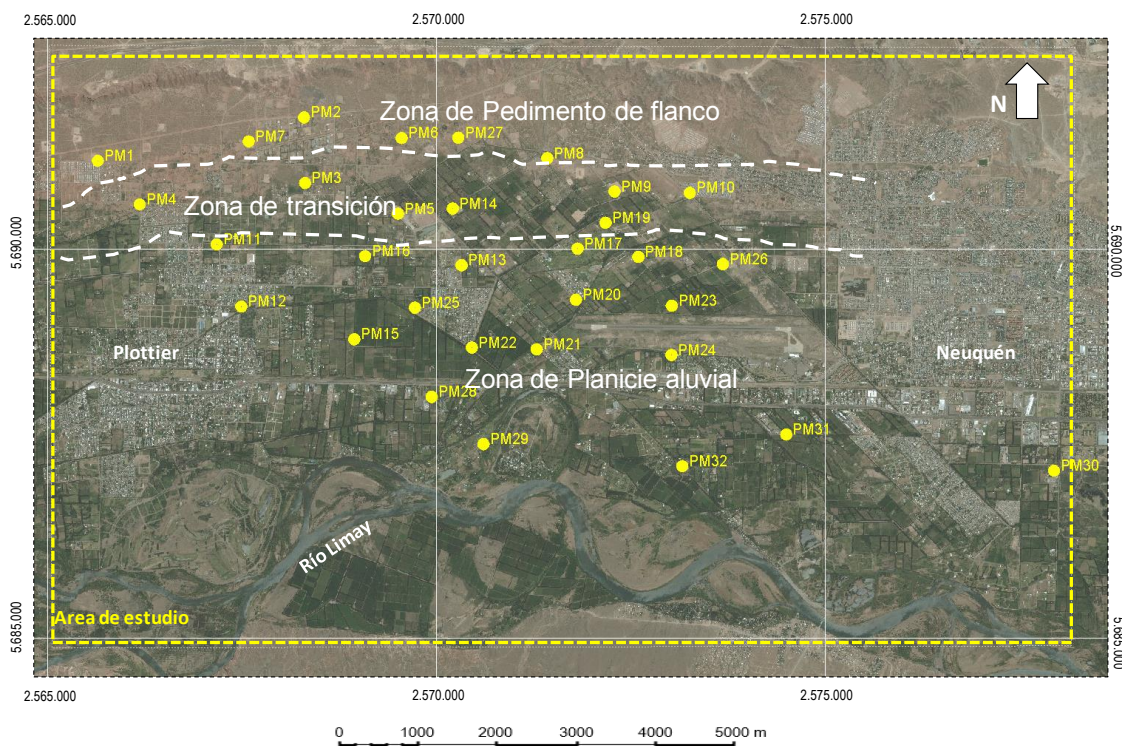


Figura 10.13 Mapa de zonación química

En general, en la zona de pedimento de flanco las aguas son predominantemente cloruradas-sulfatadas sódicas y de alto contenido salino. La zona de la planicie aluvial son de características bicarbonatadas sódicas - cálcicas, siendo aguas de menor salinidad y aptas para diferentes usos. Existe un sector de transición en donde se desarrolla una estrecha zona de interfase entre el agua salina del pedimento de flanco y el agua dulce del sector de la planicie aluvial, la cual contiene agua sulfatada-bicarbonatada cálcica.

#### *Zona de pedimento de flanco*

El agua en este sector es clorurada y/o sulfatada sódica, con valores de conductividad que oscilan entre 2500 a 13500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un STD que varía entre 1300 y 9700 mg/L y pH entre 7 a 8,3. En la tabla 10.1 se muestra la estadística del grupo de muestras.

Tabla 10.1 Estadística de las muestras de la Zona de pedimento de flanco

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media Aritm.	Desv. Estándar.	No. de muestras
pH (lab)		7	8.3	7.8	0.245	48
TSD	mg/l	1301	9750	4932.7	2088.5	48
Conduct.	uS/cm	2550	13550	5898.0	2409.4	48
HCO <sub>3</sub>	mg/l	255.1	992.6	498.8	205.4	48
SO <sub>4</sub>	mg/l	492.7	3360.7	1598.9	726.7	48
Cl	mg/l	222.4	1983.1	898.1	496.8	48
Ca	mg/l	29.3	284.6	154.0	83.1	48
Mg	mg/l	7	91.2	36.8	21.17	48
Na	mg/l	286.5	2907.1	1178.4	606.7	48
NO <sub>3</sub>	mg/l	0	34	8.39	9.55	48
SiO <sub>2</sub>	mg/l	8.9	27.2	15.6	4.48	48

Como criterio de clasificación en función de su dureza, se reconoce que se trata de aguas moderadamente duras a duras, ya que varían entre 100 y 1000mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

Los aniones predominantes son el SO<sub>4</sub><sup>-</sup> con valores que varían entre 400 y 3800 mg/L y el Cl<sup>-</sup> entre 200 y 2000 mg/L. Los cationes son el Na<sup>+</sup> y Ca<sup>++</sup> con valores que varían entre 280 y 3400 mg/L y 28 y 280 mg/L respectivamente.

Si se tienen en cuenta las características homogéneas de los resultados de los diferentes muestreos y para lograr una mejor visualización se utilizaron sólo los datos de los muestreos de enero y agosto de 2005 en la confección del Diagrama de Schoeller Berkaloff. (Figura 10.14)

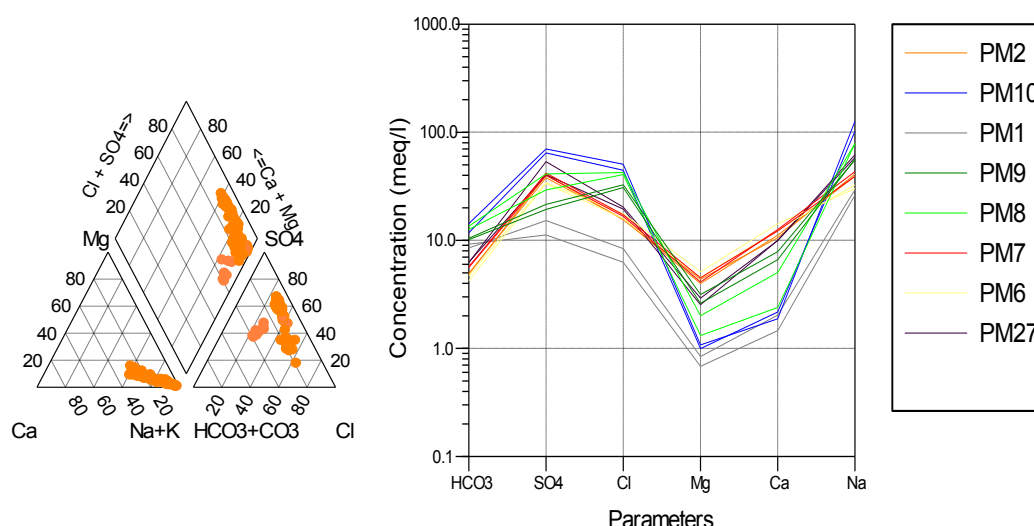


Figura 10.14 Diagramas Piper Hill y Schoeller Berkaloff de las muestras de la Zona de pedimento de flanco



Las concentraciones de los iones permanecen constantes o con muy poca variación, durante el tiempo que se realizó el estudio. En la figura 10.15 se muestran las variaciones temporales de conductividad,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$  de los dos pozos PM1 y PM10, que poseen las concentraciones extremas del grupo.

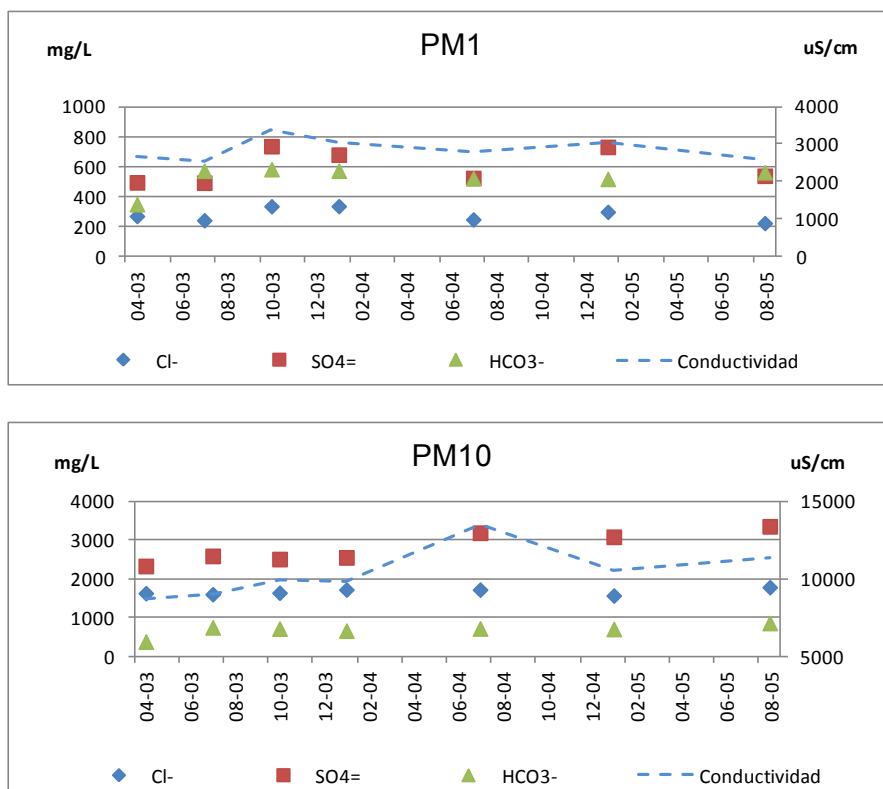


Figura 10.15 Variaciones de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , y Conductividad en función del tiempo en dos freáticos ejemplos.

### Zona de transición

Esta zona se caracteriza por presentar agua de tipo sulfatada bicarbonatada sódica con valores de conductividad que varían entre 400 y 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un STD entre 300 y 2500 mg/L y pH variable entre 6,5 y 8,4. En la tabla 10.2 se muestra la estadística del grupo de muestras.

Tabla 10.2 Estadística de las muestras de la Zona de transición

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media Aritm.	Desv. Estándar.	No. de muestras
pH (lab)		6.5	8.4	7.68	0.3275	32
TSD	mg/l	242	2500	1257.9	699.0	32
Conduct.	uS/cm	384	2870	1730.3	851.0	32
HCO3	mg/l	210.3	621	364.2	134.1	32
SO4	mg/l	12.6	787.9	345.5	270.4	32
Cl	mg/l	3.7	679.6	188.9	143.0	32
Ca	mg/l	21.5	154.2	77.6	37.1	32
Mg	mg/l	3.8	39.7	21.28	8.84	32
Na	mg/l	51.8	566.2	295.7	160.4	32
NO3	mg/l	0.5	47	9.0	10.83	32
SiO2	mg/l	10.5	26.4	16.07	4.374	24

Según su dureza se clasifican en aguas moderadamente duras a muy duras.

Los aniones  $SO_4^-$ ,  $HCO_3^-$  y  $Cl^-$  presentan valores máximos semejantes del orden de 700 mg/L. En cambio en los valores mínimos se observa el predominio del  $HCO_3^-$ , sobre los otros dos. El catión predominante es el  $Na^+$  que varía entre 50 y 560 mg/L. (Figura 10.16)

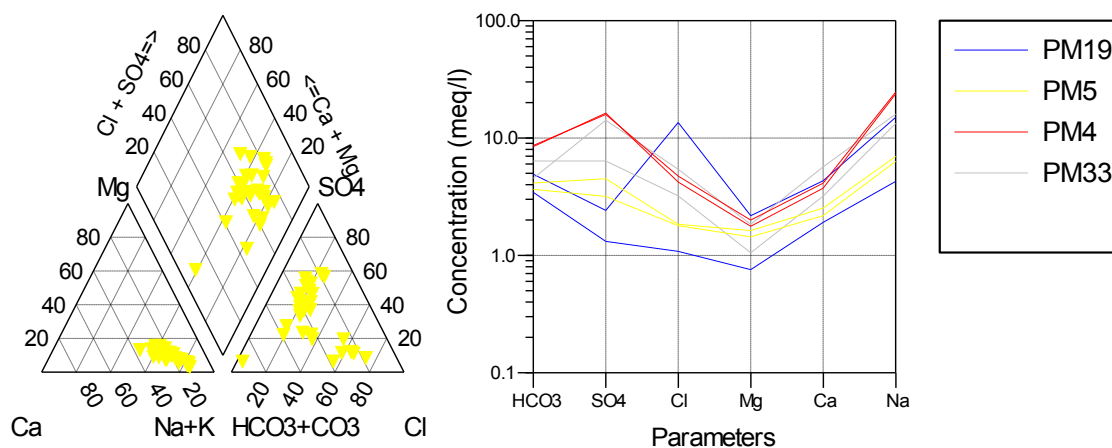


Figura 10.16 Diagramas Piper Hill y Schoeller Berkaloff de las muestras de la zona de transición

En esta zona se observa una disminución de la conductividad hacia el sector central de la planicie aluvial. El pozo de mayor salinidad es el PM4 ya que se encuentra más cercano a la zona de pedimento de flanco y el de menor salinidad el PM5 en transición con el sector de la planicie aluvial. (Figura 10.17)

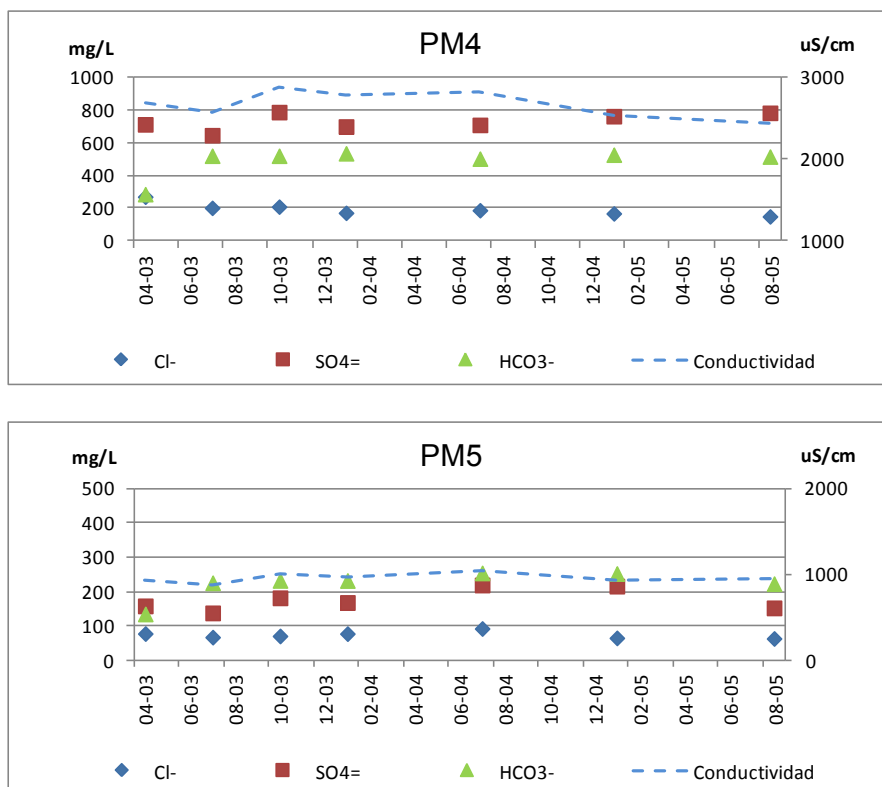


Figura 10.17 Variaciones de Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y Conductividad en función del tiempo en dos freáticos ejemplos.

*Zona de planicie aluvial*

En el tercer grupo se encuentran la mayor cantidad de pozos. El agua es de buena calidad, con características bicarbonatadas sódicas-cálcicas, (Figura 10.18) con valores de conductividad que oscilan entre 120 a 1000  $\mu$ S/cm, STD de 87 a 700 mg/L y pH de 6,8 a 8,25. En la tabla 10.3 se muestra la estadística del grupo de muestras

Tabla 10.3 Estadística de las muestras de la Zona de planicie aluvial

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media Aritm.	Desv. Estándar.	No. de muestras
pH (lab)		6.8	8.25	7.34	0.3454	102
TSD	mg/l	87	727	323.4	138.9	102
Conduct.	uS/cm	121.3	1001	474.5	189.9	102
HCO <sub>3</sub>	mg/l	57.3	422.5	195.0	73.2	102
SO <sub>4</sub>	mg/l	3.4	121.2	39.5	24.38	102
Cl	mg/l	0	38.8	12.45	8.17	102
Ca	mg/l	5.7	64.8	26.26	11.86	102
Mg	mg/l	2	30.4	9.23	4.91	102
Na	mg/l	10.3	199.4	78.4	41.1	102
K	mg/l	0.3	5.6	1.807	0.793	102
NO <sub>3</sub>	mg/l	0	37.7	4.99	6.13	102
SiO <sub>2</sub>	mg/l	3.3	27.8	14.45	4.57	102

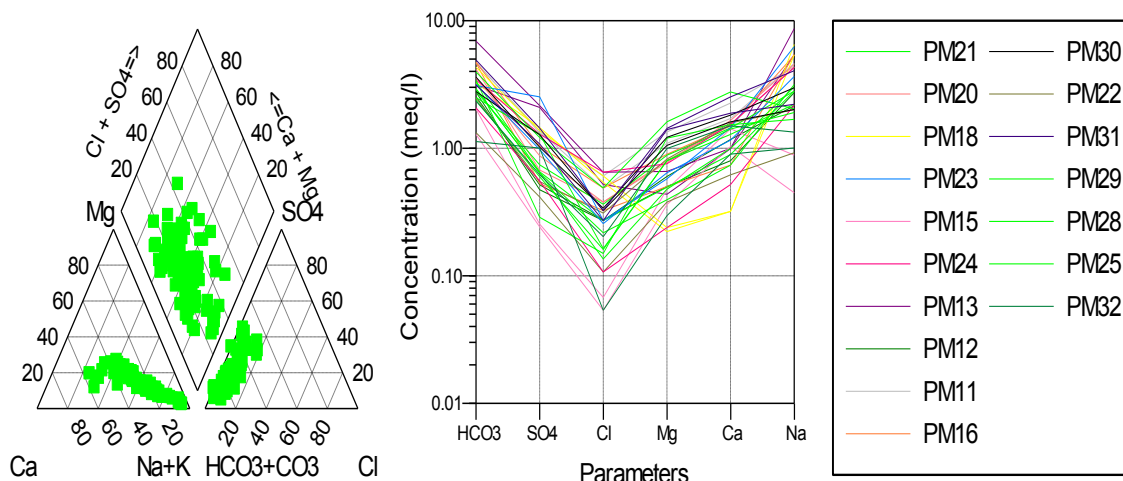
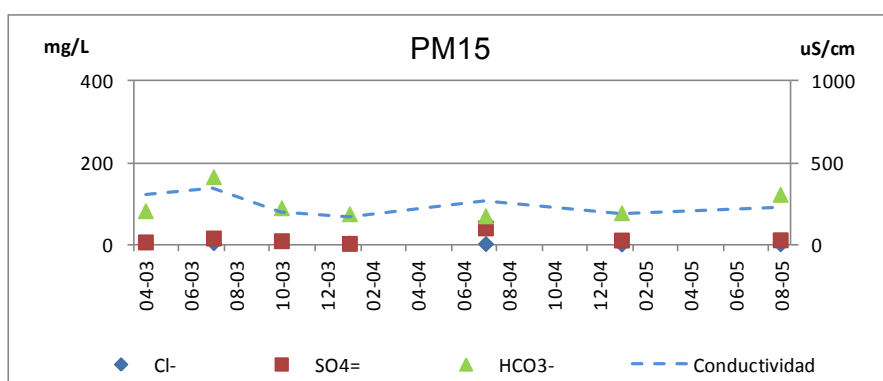


Figura 10.18 Diagramas Piper Hill y Schoeller Berkaloff de las muestras de la Zona de planicie aluvial

Respecto de la dureza esta zona presenta en su mayoría valores menores a 100 mg/L calificando el agua como blanda a ligeramente dura, aunque algunos pozos alcanzan 200 mg/L (PM29, PM30) lo que la convierte en moderadamente dura.

En cuanto a las variaciones temporales de los aniones principales y la conductividad, se observó escasa variabilidad, las concentraciones se mantuvieron dentro del mismo rango de valores, con algunas particularidades locales. Se presentan los pozos PM15 y PM21 a modo de ejemplo. (Figura 10.19)



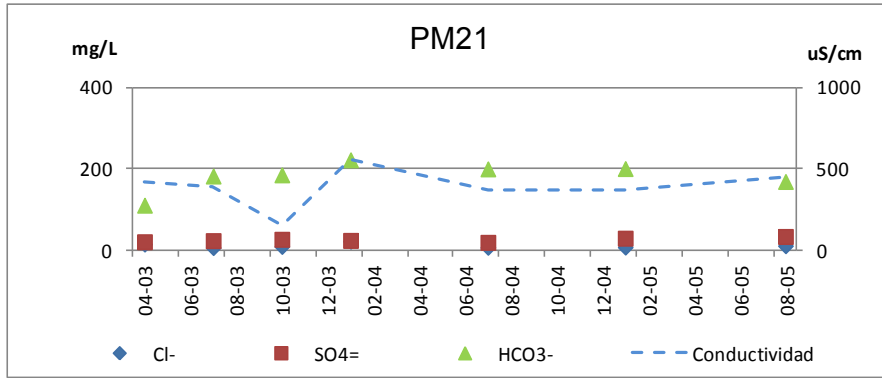


Figura 10.19 Variaciones de Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y Conductividad en función del tiempo en dos freáticos ejemplos.

El catión predominante en las tres zonas es el Na<sup>+</sup> y los valores tanto de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> como de SiO<sub>2</sub> se encuentran en muy bajas concentraciones entre 0 y 47 mg/L y entre 3 y 27 mg/L respectivamente. El NO<sub>2</sub><sup>-</sup> no supera valores de 0,08 mg/L.

### 10.2. Agua superficial

Para la caracterización del agua superficial se tuvo en cuenta el agua del río Limay, de los canales de riego y los canales de drenaje. El agua del río y del riego presentan prácticamente la misma composición, siendo aguas bicarbonatadas calco sódicas.

En las de drenaje se produce un aumento en los contenidos iónicos y como consecuencia de la conductividad, dando aguas sulfatadas cloruradas sódicas. (Figura 10.20) Respecto a su dureza son aguas blandas, ya que todas las muestras presentan valores cercanos a los 50 mg/L.

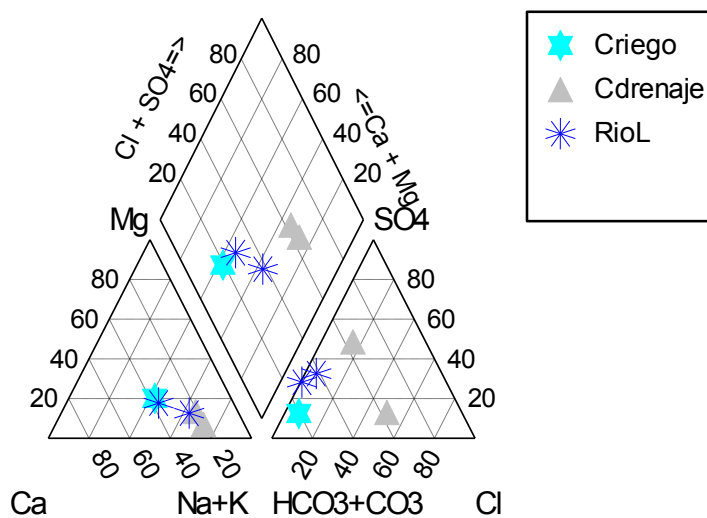


Figura 10.20 Diagrama Piper Hill. Agua superficial

Las características químicas del agua subterránea muestran una importante diferenciación espacial y homogeneidad en función del tiempo. El agua del río y el riego corresponden al mismo tipo de agua y el agua del canal de drenaje presenta un mayor contenido salino.

### 10.3. Mecanismos condicionantes

Para explicar los mecanismos que condicionan la calidad química del agua se utilizó el muestreo de 2005 por ser el más representativo:

En el diagrama de Piper Hill (Figura 10.21) se observan los tres tipos de agua que se pueden asociar a la dinámica del sistema subterráneo: el de la zona de pedimento de flanco, con aguas predominantemente cloruradas-sulfatadas sódicas y de alto contenido salino, la zona de la planicie aluvial de características bicarbonatadas sódicas – cálcicas y la estrecha zona de interfase la cual contiene agua sulfatada-bicarbonatada cálcica.

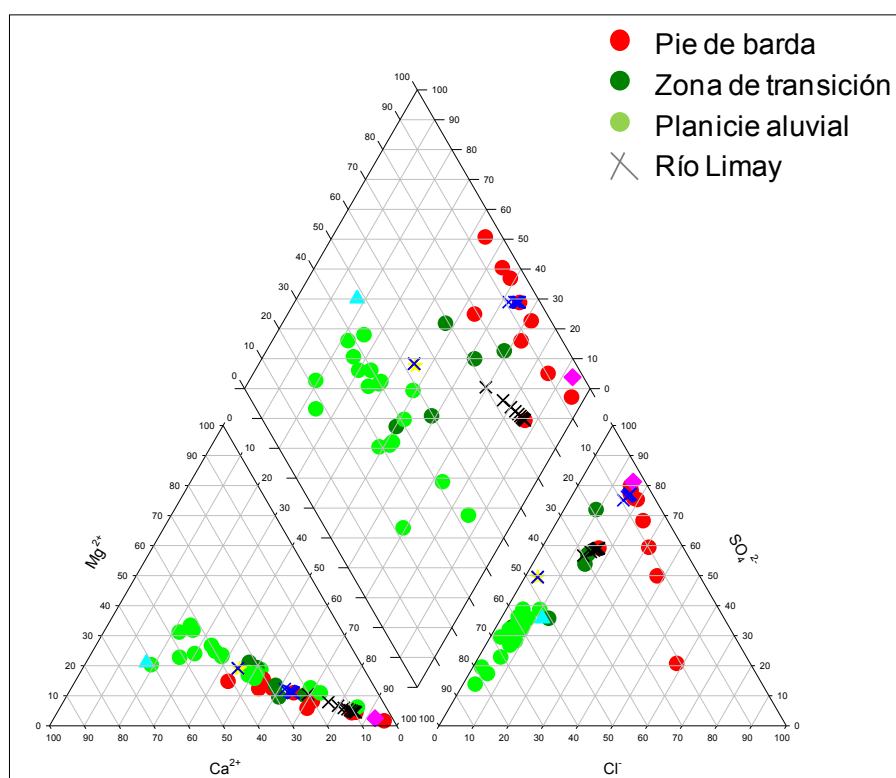


Figura 10.21 Diagrama de Piper Hill. Muestreo 2005

La infiltración del agua de riego subsaturada en calcita (Figura 10.22a) disuelve los carbonatos cálcicos presentes en la matriz de los depósitos conglomerádicos. Si la

disolución de carbonatos fuera el único proceso que determina la adquisición de iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{HCO}_3^-$  debería existir una relación 1:1 entre estos iones. No obstante, en el gráfico de  $\text{Ca}^{++}$  en función  $\text{HCO}_3^-$  se observa una tendencia al aumento de  $\text{HCO}_3^-$  por debajo de dicha relación (Figura 10.22b). Esto muestra que la ganancia de  $\text{Ca}^{++}$  (2,35 meq/L) es considerablemente menor que la de  $\text{HCO}_3^-$  (cercana a 7 meq/L), característica que evidencia una escasa disolución de carbonatos.

El mayor incremento de iones  $\text{HCO}_3^-$  respecto de  $\text{Ca}^{++}$  se debe a la existencia de procesos de disolución de  $\text{CO}_{2(g)}$ . Al producirse la infiltración del agua del río incorpora  $\text{CO}_{2(g)}$  que se encuentra en los espacios porales del suelo y sedimento principalmente en los sectores de la planicie aluvial donde existen los cultivos de frutales con desarrollo de raíces y presencia de materia orgánica en descomposición.

El  $\text{CO}_{2(g)}$  reacciona con el agua para dar  $\text{H}_2\text{CO}_3$  el cual se disocia mayormente en iones  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{H}^+$ , siendo parte de estos protones liberados consumidos por la disolución de carbonatos ( $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{++} + 2 \text{HCO}_3^-$ ). Dentro de los procesos descritos la disolución de  $\text{CO}_{2(g)}$  es el que aporta mayor ganancia de iones respecto del agua de riego (Figura 10.22c y d).

La importancia de la disolución de  $\text{CO}_{2(g)}$  también puede observarse en el gráfico de Piper donde las muestras de la zona de riego se desplazan hacia facies más bicarbonatadas respecto al agua del río y pedimento de flanco (Figura 10.21).

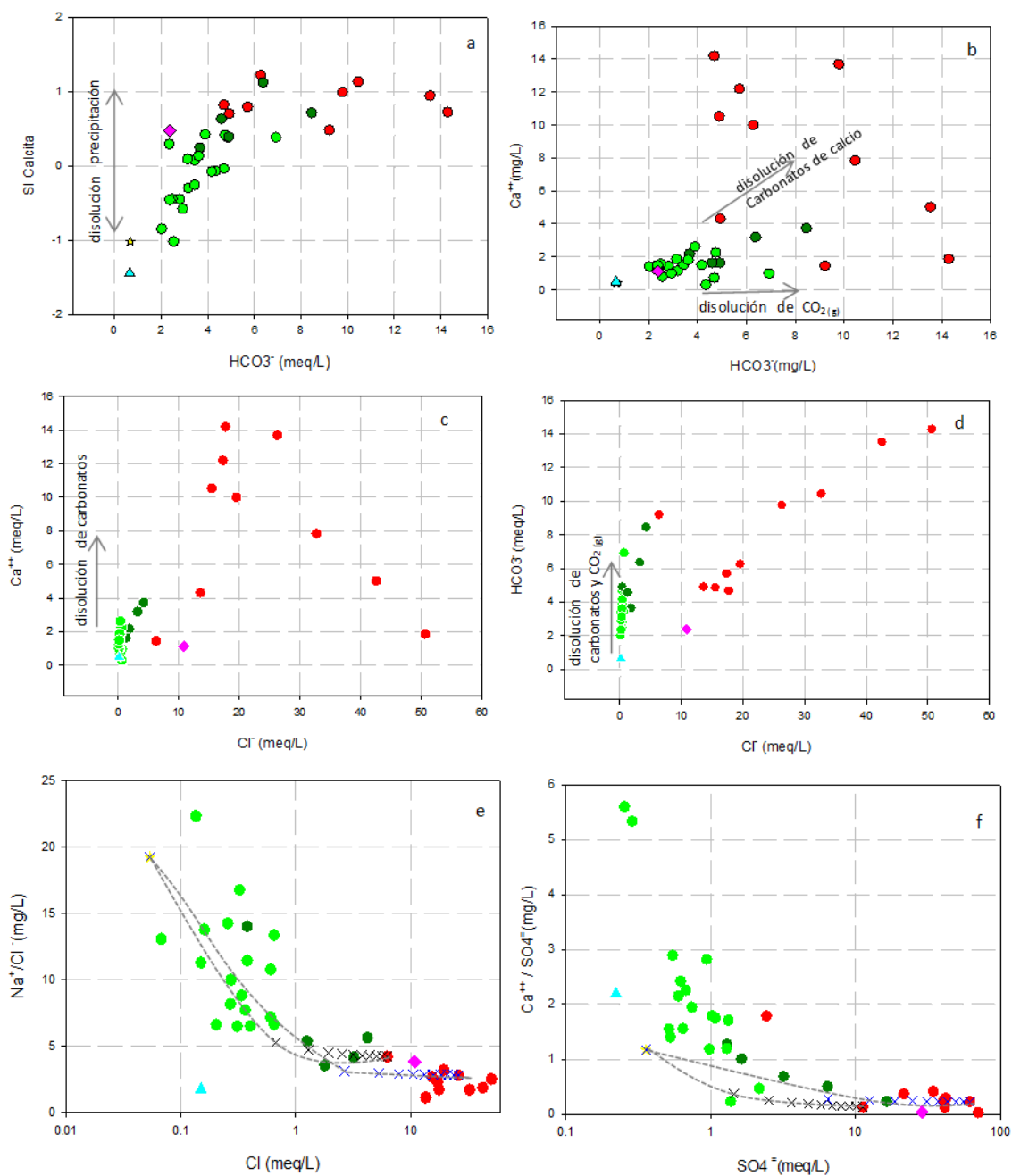


Figura 10.22: Gráficos de relaciones iónicas. La simbología de las muestras es igual a la Figura 10.21. En línea punteada se indican las mezclas entre dos muestras de agua subterránea del pie de barda y el río (cada 10% indicado con una cruz). Las flechas indican la tendencia hidroquímica de los procesos analizados.

Los bajos contenidos en  $\text{Cl}^-$  (menores a 0,65 meq/L) y  $\text{SO}_4^{2-}$  (entre 0,25 y 2,15 meq/L) pueden proceder de la evaporación del agua de riego. Los modelos hidrogeoquímicos realizados muestran que el enriquecimiento en dichos aniones se asocia a un factor de evaporación que varía entre 1,26 y 12,11.



La zona de interfase muestra contenidos iónicos intermedios entre el agua de la zona de planicie aluvial y la zona de pedimento de flanco. Esta característica se evidencia al considerar una mezcla entre el agua del río que recarga la planicie aluvial y la de pedimento de flanco, donde se observa que las muestras de la planicie central se ubican próximas a la línea de mezcla en las relaciones  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  en función de  $\text{Cl}^-$ , y  $\text{Ca}^{++}/\text{SO}_4^-$  en función de  $\text{SO}_4^-$  (Figura 10.22e y f).

La distribución de las muestras de la planicie aluvial, próximas a las líneas de mezcla, indican que dicha interfase contiene en su composición un mayor porcentaje de agua procedente del riego. En esta última relación considerada también puede observarse el enriquecimiento en  $\text{Ca}^{++}$ , producto de la disolución de carbonatos en el agua de la planicie aluvial, dado por un aumento en la relación  $\text{Ca}^{++}/\text{SO}_4^-$  asociado a valores poco variables de  $\text{SO}_4^-$ .

Las características del agua subterránea en la planicie aluvial se relacionan principalmente a procesos que ocurren durante la infiltración del agua de riego procedente del río Limay.

Los resultados obtenidos muestran que los procesos que condicionan la composición química del agua subterránea en la planicie aluvial son la disolución de  $\text{CO}_2(\text{g})$  atmosférico que produce un incremento de iones  $\text{HCO}_3^-$ , la disolución de carbonatos que proporciona al medio iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{HCO}_3^-$  y la evaporación del agua de riego proveniente del río Limay. Se reconoce una interfase entre el agua salina del pedimento de flanco y el agua dulce de la planicie aluvial en la que predominan contenidos iónicos similares al agua del río.

#### 10.4. Consideraciones acerca de la calidad del agua

El río y riego poseen agua apta para diferentes usos, el agua de drenaje muestra un importante aumento en el contenido salino restringiendo su uso para consumo humano.

El agua del pedimento de flanco presenta muy alta salinidad, y concentraciones iónicas que exceden los límites tolerables en las normas vigentes.

Se analizan las concentraciones de manganeso, arsénico, fluoruro, conductividad y relación calcio –sodio –magnesio (RAS) con el objeto de completar la caracterización de los dos ambientes.

##### 10.4.1. Contenidos de manganeso

Los altos contenidos reconocidos en el manganeso en algunos sectores condujeron a realizar algunas consideraciones particulares acerca de su comportamiento. Es uno de

los elementos metálicos más abundantes, siendo esencial en el metabolismo de las plantas y de los animales. La química del manganeso es similar a la del hierro ya que ambos metales participan en procesos redox en ambientes aeróbicos. En estos ambientes presenta tres posibles estados de valencia, +2, +3, +4, y puede formar una amplia variedad de óxidos de valencia mixta. La forma más común de manganeso disuelto es de  $Mn^{+2}$ . El  $MnOH$  hidróxido complejo se convierte en la forma principal por encima de pH 10,5, y las formas aniónicas serán más significativas a pH 12 o superior. El  $MnSO_4$  (aq) podría ser importante en soluciones en las que la actividad del sulfato es mayor que unos pocos cientos de miligramos por litro.

El límite superior recomendado para manganeso en el Código Alimentario Argentino es de 0.1 mg/L. Al encontrarse en cantidades apreciables en el agua de bebida produce sabor desagradable. En el área de estudio en general se encuentra dentro de los límites establecidos por el código exceptuando algunos pozos (PM8 y PM9, PM30 y PM31).

El origen de los tenores relativamente altos podrían estar relacionados a procesos de disolución de óxido de Mn en gravas y al aporte producido por la vegetación debido a que este elemento está presente en el metabolismo de las plantas. Los restos vegetales producen manganeso disponible para ser incorporados en la humedad del suelo. Esta característica sería coincidente con aquella indicada por Hem (1985) en la zona de río Ohio en Parkersburg, West Virginia donde se describen altas concentraciones de manganeso en depósitos de gravas y arenas producidas por la reducción de los óxidos y la liberación de  $Mn^{+2}$ .

#### 10.4.2. Arsénico (fondo natural)

El arsénico es un elemento natural presente en la mayor parte de las aguas subterráneas y su contenido está relacionado con ambientes geológicos muy diferentes: sedimentos asociados a filones mineralizados, formaciones volcánicas, sistemas hidrotermales actuales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias, etc. (Boyle et al., 1998; Kinniburgh et al., 2001).

Una de las características más destacadas del arsénico de origen natural en las aguas subterráneas, es que no siempre existe una relación directa entre el contenido en el agua y el contenido en el material que conforma el acuífero, por lo que pueden darse distintas situaciones. En los últimos años se advierte una tendencia general en países industrializados a reducir los límites máximos permitidos de arsénico en agua de bebida, debido al riesgo carcinogénico para el ser humano. La OMS(2003) en las últimas Guías de Calidad para el Agua Potable de 1993 reduce el valor guía de arsénico en agua de 0.05mg/L a un valor provisional de 0,01mg/L. El Código Alimentario Nacional (CAA,

2012) establece una concentración máxima de arsénico en agua de bebida de 0,01mg/L a partir de 2017.

En el análisis los contenidos de arsénico se asociaron a los distintos tipos de aguas determinadas. Las concentraciones de arsénico muestran un valor mínimo de 0.006 mg/L en el sector próximo al río y uno máximo de 0.08 mg/L en el sector del pedimento de flanco.

En el cuadro estadístico (Tabla 10.4) se muestran las diferencias según su distribución areal y en la figura 10.23 se puede observar la disminución de las concentraciones en el sector de planicie aluvial.

Tabla 10.4 Cuadro estadístico del Arsénico

Sector	Arsenico							
	N° de muestras	Media	Des estándar	Max	Min	Mediana	Percentil 2.3	Percentil 97.7
<b>Pedimento de flanco</b>	44	0.03	0.015	0.080	0.007	0.02	0.014	0.066
<b>Zona de transicion</b>	25	0.02	0.009	0.063	0.013	0.02	0.014	0.046
<b>Terraza aluvial</b>	62	0.02	0.004	0.040	0.006	0.02	0.007	0.020

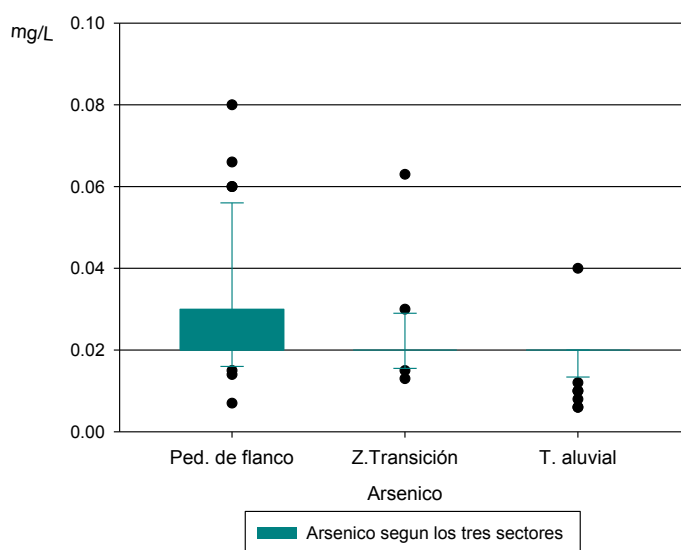


Figura 10.23 Diagrama de caja ( Box Plot) Arsénico

Se definió la línea de base ambiental para cada tipo de agua. En el sector de pedimento de flanco se calculó el valor de 0,02 mg/L como fondo natural de referencia y los valores de 0,014 mg/L y 0,066 mg/L como los umbrales inferior y superior respectivamente. En la zona de transición el fondo natural es 0,02 mg/L y el umbral inferior 0,014 y el superior 0,046 mg/L. El sector planicie aluvial presenta agua de mejor calidad con un valor de

fondo natural semejante a las otras zonas de 0,02 mg/L, pero con umbrales menores (0,007 mg/L y 0,02 mg/L). Los contenidos naturales de arsénico son muy bajos a pesar de encontrarse levemente por encima de los establecidos en la normativa nacional.

#### 10.4.3. Flúor (fondo natural)

El flúor también está normalmente presente en las aguas naturales subterráneas y es un elemento esencial, desde el punto de vista de la nutrición humana, ya que es un oligoelemento imprescindible para la formación de huesos y dientes. Sin embargo sólo la cantidad de la dosis consumida diferencia los efectos beneficiosos de los tóxicos.

En las aguas alcalinas y en las que tienen una temperatura elevada hay más posibilidad de mayores concentraciones de flúor (Hem, 1985). El Código Alimentario Nacional (2012) define los límites del fluoruro, en función de la temperatura promedio de la zona y teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida. Si se tiene en cuenta que la temperatura media de la zona estudiada (14,5°C), los límites tolerables para el fluoruro varían entre 0,8 mg/L y 1,5 mg/L.

Respecto de los contenidos de flúor, se observa una mayor diferenciación entre las tres zonas. El sector de mayor contenido en flúor (próximo al pedimento de flanco) coincide con el área de mayor salinidad, el valor máximo es de 5,72 mg/L y el mínimo es de 0,36 mg/L. En la zona de transición el valor mínimo es similar al anterior, en cambio el máximo es casi la mitad (3,04 mg/L). El área de la planicie aluvial presenta valores significativamente más bajos, con mínimos de 0,1mg/L y máximos de 1,5mg/L.

En el cuadro estadístico (Tabla 10.5) y la figura 10.24 se muestran las diferencias entre los distintos sectores.

Tabla 10.5 Cuadro estadístico del Fluoruro

Sector	Fluoruro							
	N° de muestras	Media	Des estándar	Max	Min	Mediana	Percentil 2.3	Percentil 97.7
Pedimento de flanco	91	1.74	1.076	5.720	0.360	1.485	0.502	4.792
Zona de transición	60	1.09	0.575	3.040	0.380	0.890	0.387	2.746
Terraza aluvial	178	0.52	0.356	3.310	0.130	0.440	0.170	1.398

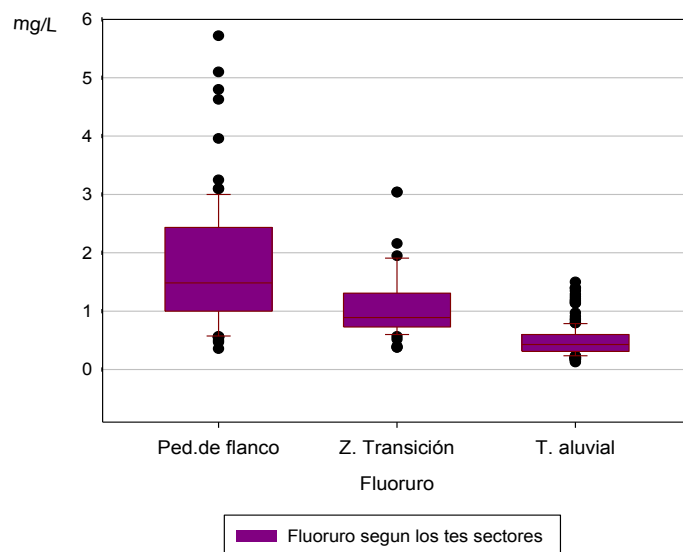


Figura 10.24 Diagrama de caja (Box Plot) Fluoruro

En el sector próximo al pedimento de flanco el fondo natural, establecido a partir de la mediana, es de 1,48 mg/L, el umbral inferior es de 0,5 mg/L y el superior de 4,79 mg/L. En la zona de transición el valor de la mediana es 0.89 mg/L y los umbrales están comprendidos entre los valores de 0,38 mg/L y 2,74 mg/L. Próximo al río el fondo natural se establece en 0,43 mg/L, el umbral inferior en 0,3 y el superior en 1,29 mg/L.

Una buena aproximación al establecimiento de línea de base ambiental de la calidad del agua en una zona, es definir fondos naturales para cada elemento. En la definición de la línea de base del arsénico, se pudo establecer un valor de fondo natural común para las tres zonas de 0.02 mg/L, con umbrales superiores e inferiores que varían según cada sector. En todos los casos se encuentran levemente por encima de los valores establecidos por la norma para el agua de bebida.

En la definición de la línea de base natural para flúor, es necesario contemplar los tres sectores tanto para el fondo natural como para establecer los límites extremos. Los valores se encuentran en general dentro del rango establecido por la norma vigente, exceptuando el sector próximo al río que muestra valores algo menores.

#### 10.4.4. Calidad de agua para riego

La calidad del agua para riego afecta no solo las características físicas y químicas del suelo sino también la productividad de los cultivos. Para la caracterización del agua subterránea para riego se utilizó la relación de absorción de sodio (SAR), utilizando como referencia enero de 2005 (Figura 10.25).

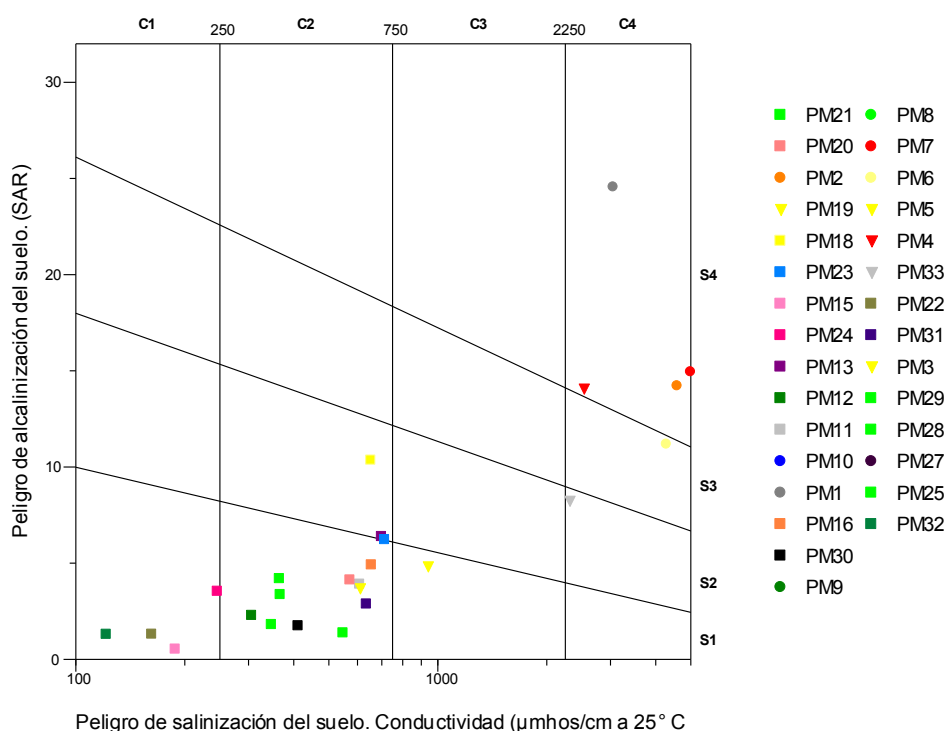


Figura 10.25 Caracterización de agua para riego.

La clasificación diferenció prácticamente dos grupos de aguas:

S1-C2 Las aguas de mayor aptitud para riego son las que pertenecen a la planicie aluvial, que se clasifican como bajas en sodio, y pueden usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar altas concentraciones de sodio intercambiable. Agua de salinidad media, puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar, en la mayoría de los casos las plantas moderadamente tolerables a las sales.

S4-C4 Las muestras que pertenecen a la zona de pedimento de flanco pertenecen a este grupo, son aguas con alto contenido en sodio, en general inadecuadas para riego. Pero podrían utilizarse, con una selección particular de cultivos, en suelos permeables de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.

## 11. MODELO CONCEPTUAL Y MODELO MATEMÁTICO

### 11.1. Modelo conceptual

El modelo geohidrológico presenta al acuífero freático, definido por un manto aluvial de gravas con un espesor medio de 10 m, apoyado en discordancia sobre los sedimentos de Grupo Neuquén. Limita al norte por el pedimento de flanco proximal y al sur por el río Limay.

La recarga se origina a partir de la precipitación y el riego, que está favorecida por una infiltración rápida. La salida se produce a través del uso consuntivo, la descarga superficial a través de una exigua red de drenaje y la descarga subterránea hacia la planicie de inundación del río. Además existe un flujo subterráneo lateral con dirección Este – Oeste, que se asume constante en el tiempo. (Figura 11.1)

La hidrodinámica del sistema muestra que el sentido general de escurrimiento es noroeste – sudeste con descarga variable hacia la planicie de inundación, dependiendo de los períodos de riego.

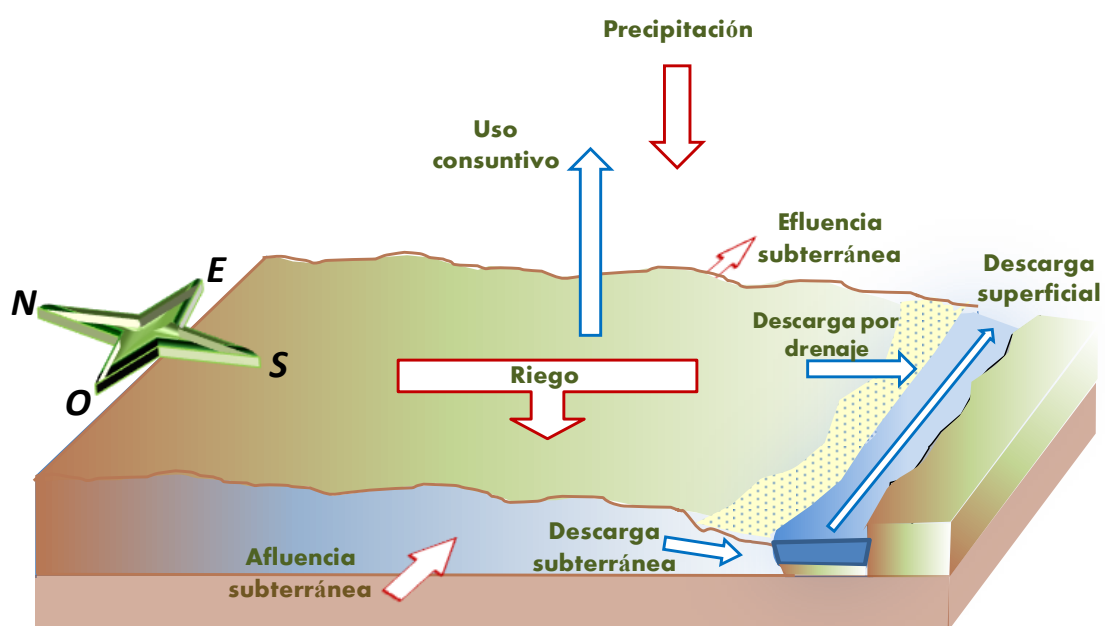


Figura 11.1 Esquema geohidrológico conceptual

Se plantea la fórmula del balance hidrológico en régimen permanente para un lapso anual (Figura 10.2). Esto es posible debido a que la variación de almacenamiento subterráneo es prácticamente nula considerando un año hidrológico entre dos períodos sin riego (abril 2003– marzo 2004, los niveles freáticos al comienzo y al final del período se encuentran a una altura hidráulica semejante).

El ingreso al sistema lo conforma la precipitación media anual ( $P$ ) que corresponde a 200 mm/año. La afluencia subterránea media ( $A_f \text{ subt}$ ) es del orden de 53mm/año. Se estimó a partir de los gradientes hídricos medidos en los mapas equipotenciales mensuales correspondientes a períodos de riego y no riego. Se utilizó una conductividad hidráulica media de 100 m/d, un espesor de 10 m, en una sección aproximadamente N-S, entre el pedimento de flanco y la planicie de inundación, (al oeste del área de estudio).

El volumen ingresado más importante lo constituye el riego. Se tuvieron en cuenta los meses de riego (septiembre a abril), considerándose un promedio de aplicación de 15 días al mes y el valor obtenido es de 1031 mm/año. Se estimó en base a la información obtenida de Lui (2001) de 1L/ha/seg distribuida a partir de la red de canales con turnos de provisión de agua alternantes de 7 u 8 días. El área de ingreso por riego es de 32 km<sup>2</sup>. El egreso del sistema lo satisfacen, el uso consuntivo ( $UC= 721$  mm/año) estimado de acuerdo a la metodología de Blanney Criddle para cultivos de pepita, por ser lo más abundantes en el área. Dicho valor es la cantidad que usan las plantas para crecer, desarrollarse y producir económicamente, más el agua que transpiran las plantas a través de las hojas y el agua que se evapora directamente del suelo. La efluencia subterránea ( $E_f \text{ subt}$ ) de 26 mm/año se estimó a partir de una conductividad hidráulica media de 100 m/d, espesor de 10 m y los gradientes hídricos medidos en los mapas equipotenciales correspondientes a períodos de riego y no riego, en una sección N-S, en el sector aluvional, en el extremo este del área de estudio.

La descarga superficial ( $S_{\text{sup}}$ ) es de 537 mm/año y está conformada por el agua que egresa a través de los canales de drenaje y el agua que descarga subterráneamente a la planicie de inundación y que sale del sistema superficialmente por el río; surge de la diferencia entre los ingresos y los egresos del sistema.

De esta forma el balance hidrológico queda planteado:



$$I - E = 0$$

$$(P + A_{\text{sub}} + \text{Riego}) - (UC + E_{\text{sub}} + S_{\text{sup}}) = 0$$

$$(200 \text{ mm/año} + 53 \text{ mm/año} + 1031 \text{ mm/año}) - (721 \text{ mm/año} + 26 \text{ mm/año} + 537 \text{ mm/año}) = 0$$

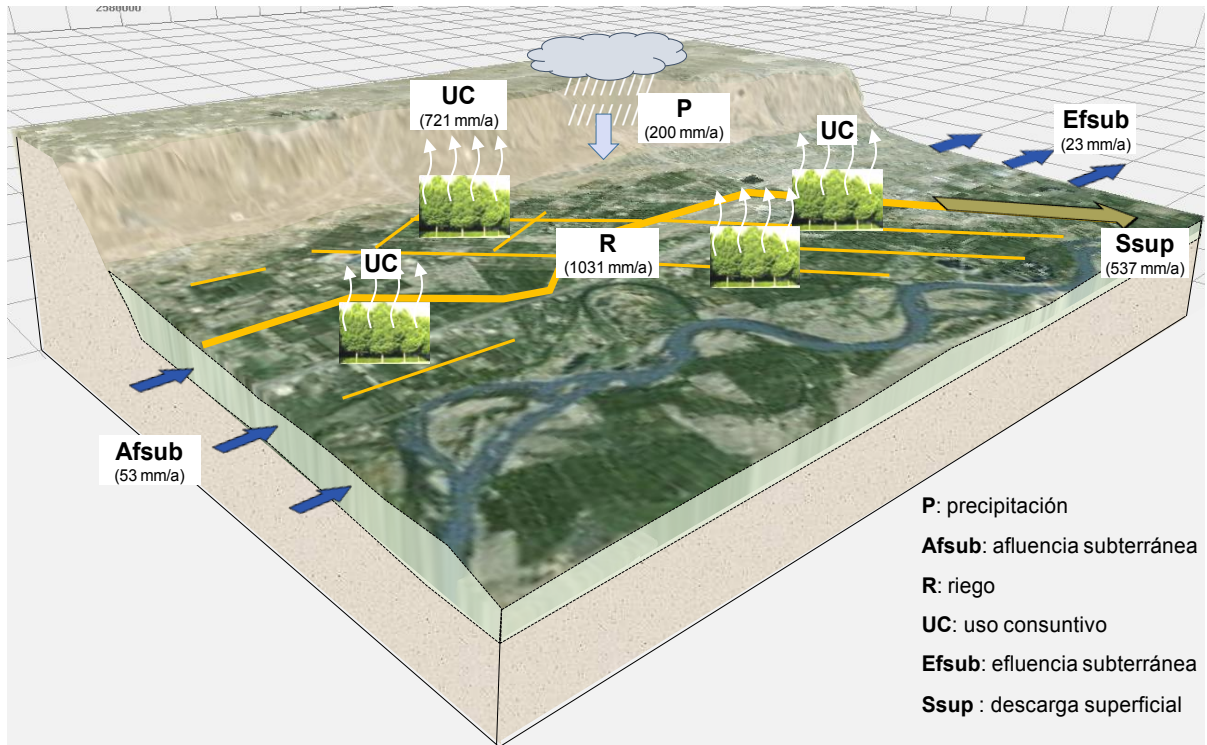


Figura 11.2 Balance Hidrológico

## 11.2. Modelo matemático

El modelo de flujo del agua subterránea, ha sido representado en un modelo matemático empleando el código de simulación USGS Modflow 2005, con la utilización de la plataforma de Visual Modflow Flex V.2015.1 (Waterloo Hydrogeologic) en diferencias finitas, bloque centrado, densidad de flujo constante y propiedades dentro de cada celda considerada como homogéneas.

### 11.2.1. Geometría de grilla

La geometría tridimensional se definió a partir de la discretización espacial de un área de 101 Km<sup>2</sup>, donde se diseñó una grilla uniforme ortogonal de coordenadas reales (Gauss Kruger – Inchauspe) con 70 columnas y 40 filas. En total resultaron 2800 celdas de 187 m por 193 m. Se definieron 2 capas, de geometría horizontal, desarrollándose el acuífero freático en la capa superior (layer 1) que corresponde a los depósitos aluviales cuaternarios. Se definieron celdas nulas al norte, en coincidencia con el pedimento de flanco proximal (Afloramientos del Grupo Neuquén) y al sur con de la traza del río Limay. (Figura 11.3)

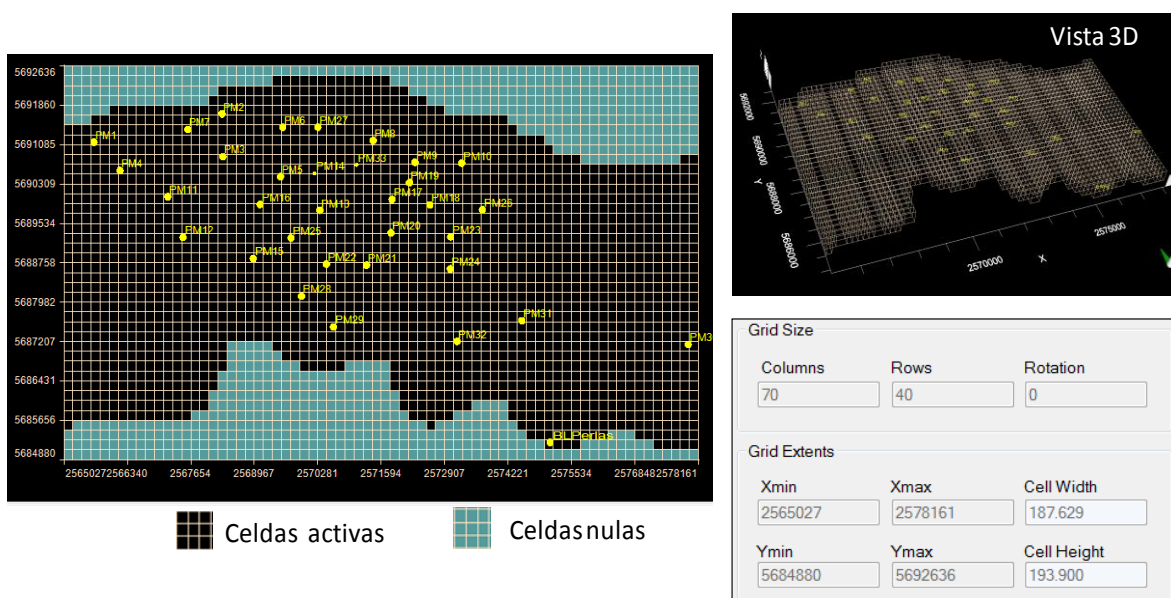


Figura 11.3 Estructura de la Grilla

### 11.2.2. Condiciones de borde

En función de los límites descritos en el modelo conceptual, desde el punto de vista hidráulico, se definieron las siguientes condiciones de borde: río, carga constante, recarga y evapotranspiración. (Figura 11.4)

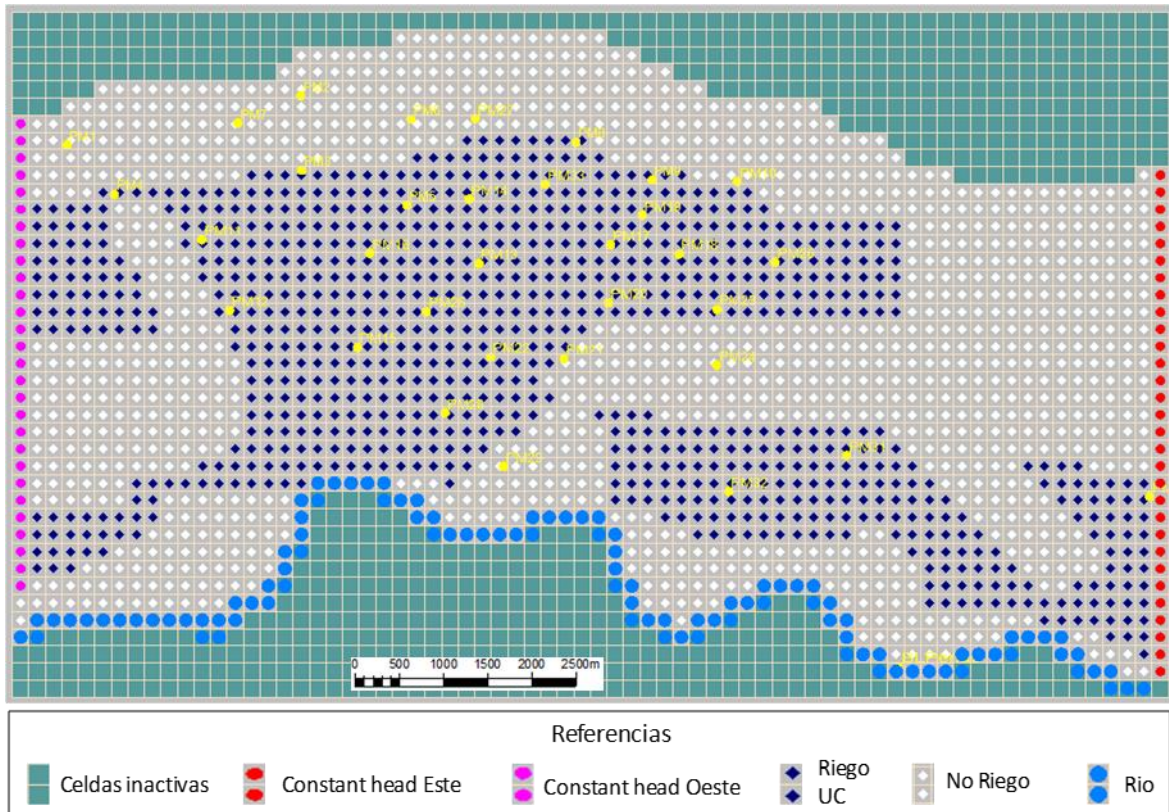


Figura 11.4 Condiciones de borde

El límite sur del modelo de flujo está dado por la traza del Limay al que se le asignó la condición Río (RIVER. Modflow River package). Los niveles o estadios del río (stages) se consideraron de tipo variable en el tiempo (transient) y se calcularon a partir de la información de altura de niveles obtenida de Balsa Las Perlas. El ancho del río se fijó en 200 m y la elevación del fondo del río (Riverbed Bottom) fue calculada tomando el nivel inicial del río y asumiendo una profundidad de agua de 5 m. El espesor de sedimentos de fondo de río (Riverbed Thickness) se estimó en 1 m y es por el que se produce la transferencia hacia o desde el agua subterránea (seepage layer) con una conductividad (Riverbed Conductivity) asignada en 100 m/d y la conductancia calculada por  $C=K*L*W/M$ ,

C: conductancia

L: longitud del río en la celda

W: ancho del río

K: conductividad hidráulica de los sedimentos del fondo del río

M: espesor de sedimentos del fondo

Los límites de **Carga Constante** (CH. Modflow Constat Head ) fueron definidos al oeste y este, en los extremos del área modelada. El CH oeste varía entre 275 msnm al norte y 273 msnm al sur y el CH este entre 264 msnm al norte y 263 msnm al sur.

La **Evapotranspiración** (EVT. Modflow Evapotranspiration package) fue ingresada en las celdas abarcadas por el área de riego y sus valores variables en el tiempo corresponden al uso consuntivo calculado según la metodología de Blanney Criddle.

La **Recarga** (RECHARGE. Modflow Recharge package) la constituyen el riego y la precipitación y se ingresaron en forma unificada. El área bajo riego se definió en función de las zonas de chacras interpretadas en la imagen satélite. (Figura 11.5)

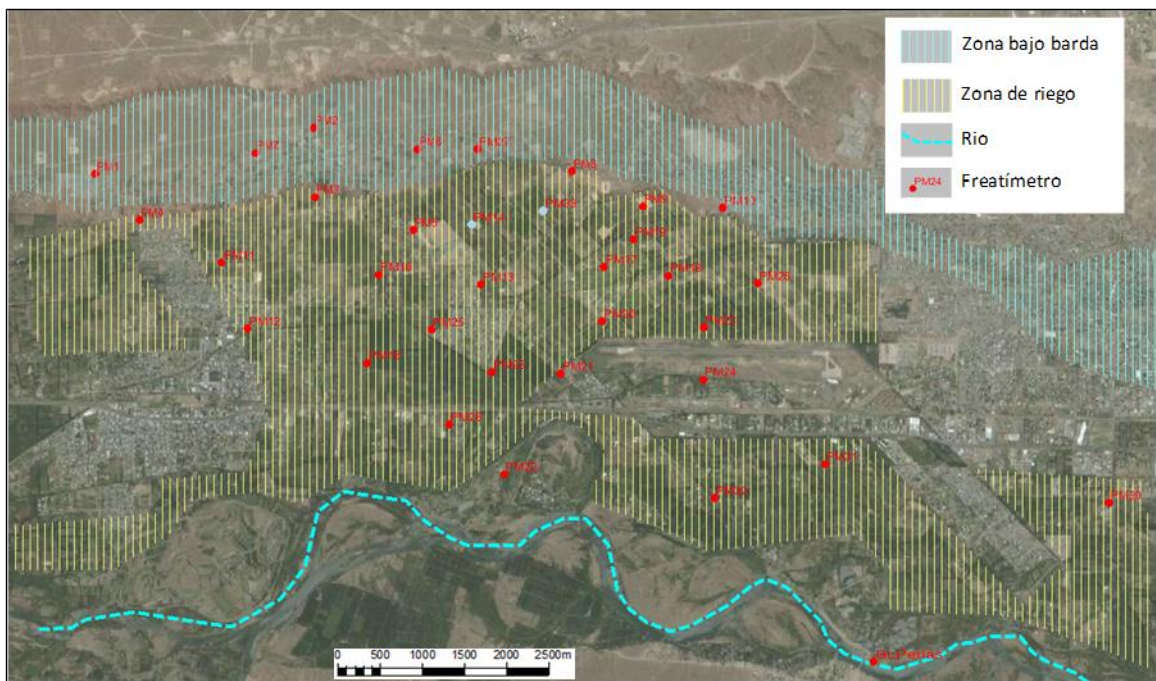


Figura 11.5 Definición de área afectada por el riego

### 11.2.3. Propiedades

La **conductividad** hidráulica (Conductivity) y el **almacenamiento** subterráneo (Storage) fueron asignados en forma diferencial para la zona de pedimento de flanco y para la

zona de la planicie aluvial de acuerdo a las características hidrogeológicas dominantes en cada una de estos sectores.

Para la planicie aluvial se definieron inicialmente valores de  $K_x=K_y=K_z=100$  m/d que fueron ajustados para la etapa de calibración del modelo con valores de  $K_x=170$ ,  $K_y=K_z=100$  m/día. En este mismo sector se definió el coeficiente de almacenamiento o porosidad efectiva en 25%

En el sector próximo al pedimento de flanco se definió la conductividad hidráulica con valores de  $K_x=K_y=K_z=5$  m/día, y 15% de porosidad efectiva. (Figura 11.6)

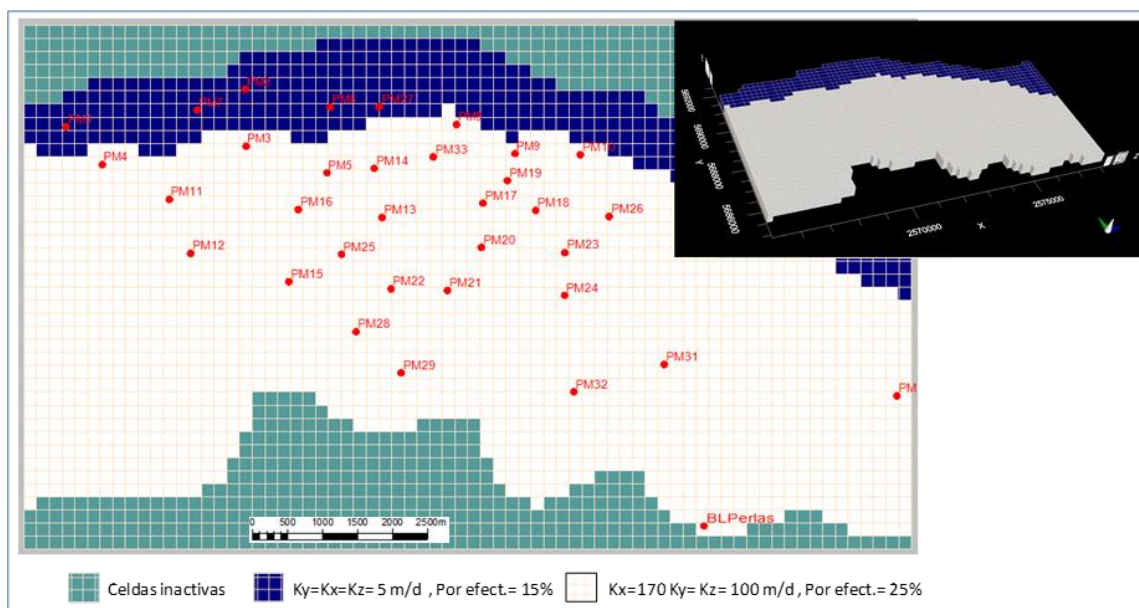


Figura 11.6 Distribución de propiedades

El modelo planteado en régimen permanente para un mes sin riego permitió ajustar el diseño de la grilla, celdas nulas, condiciones de borde y los valores de conductividad hidráulica.

Para el modelado en régimen transitorio se utilizaron como **niveles iniciales** (initial heads) los niveles freáticos correspondientes a abril de 2003. (Figura 11.7)

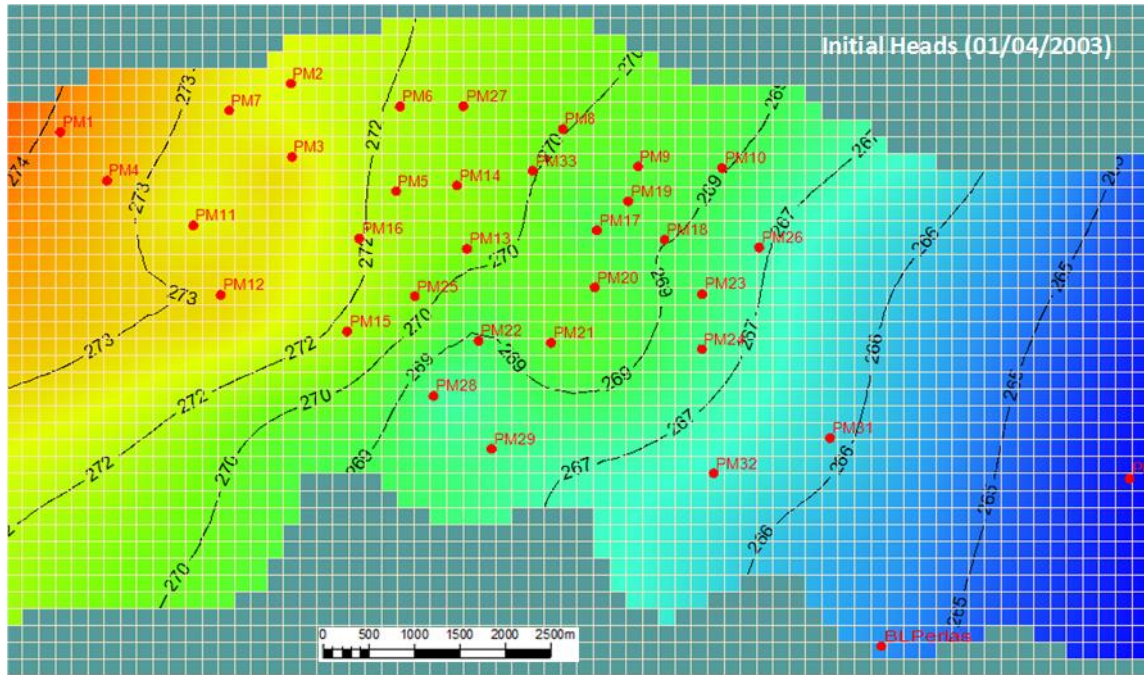


Figura 11.7 Niveles iniciales del modelo transitorio

El tiempo de simulación abarcó 1006 días, desde abril 2003 hasta diciembre 2005, y quedó definido en 33 períodos (stress periods) de 10 pasos cada uno.

Como puntos de control y calibración del modelo dinámico (observation points) se incorporaron los datos correspondientes a 33 pozos de registro freaticométrico mensual. (Período 2003-2005).

El ajuste se realizó bajo el modo de prueba y error, afectando las tasas de recarga por riego y usando como control las posiciones medidas en campo.

En la tabla 11.1 se presentan los datos mensuales ingresados al modelo.

Tabla 11.1 variables de ingreso y egreso al modelo transitorio

Fecha	t	Precipitacion	Riego	Uso Cons.	Z_Rio_arriba	Z_Rio_abajo
	dia	m/d	m/d	m/d	m	m
abr-03	30	8.54795E-05	0.000864	0.00089333	271.22	263.38
may-03	61	0.000263014	0	0.00024667	270.94	263.23
jun-03	91	0.000220274	0	0	269.9	262.68
jul-03	122	0.000420822	0	0.00024667	271.27	263.41
ago-03	153	3.28767E-05	0	0.00011667	271.95	263.77
sep-03	183	0.000243288	0.000432	0.00077667	270.47	262.99
oct-03	214	0	0.005616	0.00167667	269.25	262.34
nov-03	244	0.000460274	0.006912	0.00367	269.46	262.45
dic-03	275	1.9726E-05	0.007344	0.00527667	269.36	262.4
ene-04	306	0.000516164	0.00648	0.00540667	270.44	262.97
feb-04	335	0.002176438	0.003888	0.00388667	269.47	262.45
mar-04	366	0.001048767	0.003024	0.00243667	269.41	262.42
abr-04	396	0.002153425	0.000864	0.00089333	269.41	262.42
may-04	427	0.00028274	0	0.00024667	271.24	263.39
jun-04	457	0.000539178	0	0	271.25	263.4
jul-04	488	0.001022466	0	0.00024667	270.33	262.91
ago-04	519	6.57534E-06	0	0.00011667	271.35	263.45
sep-04	549	3.94521E-05	0.000432	0.00077667	270	262.74
oct-04	580	0.000897534	0.005616	0.00167667	269.29	262.36
nov-04	610	0.000555616	0.006912	0.00367	269.35	262.39
dic-04	641	6.57534E-05	0.007344	0.00527667	270.18	262.83
ene-05	672	0.000657534	0.00648	0.00540667	270.28	262.89
feb-05	700	6.90411E-05	0.003888	0.00388667	269.64	262.55
mar-05	731	0	0.003024	0.00243667	269.5	262.47
abr-05	761	0	0.000864	0.00089333	269.61	262.53
may-05	792	0.001781918	0	0.00024667	270.12	262.8
jun-05	822	0.000322192	0	0	270.64	263.07
jul-05	853	6.57534E-06	0	0.00024667	271.41	263.49
ago-05	884	0.000858082	0	0.00011667	271.14	263.34
sep-05	914	0.000128219	0.000432	0.00077667	270.49	263
oct-05	945	0.001249315	0.005616	0.00167667	269.28	262.35
nov-05	975	0.000358356	0.006912	0.00367	270.5	263
dic-05	1005	0.00182137	0.007344	0.00527667	271.49	263.53

#### 11.2.4. Resultados

El resultado de la calibración se verificó para los diferentes meses analizados, comparando los niveles freáticos medidos con los calculados.

La zona a considerar en el análisis de ajuste corresponde al área de mayor densidad de pozos de control ya que el sector suroeste carece de datos de freaticimetría.

Las Figuras 11.8 y 11.9 muestran los mapas equipotenciales realizados con los datos medidos y los calculados en los pozos de observación, para mayo y agosto de 2003.

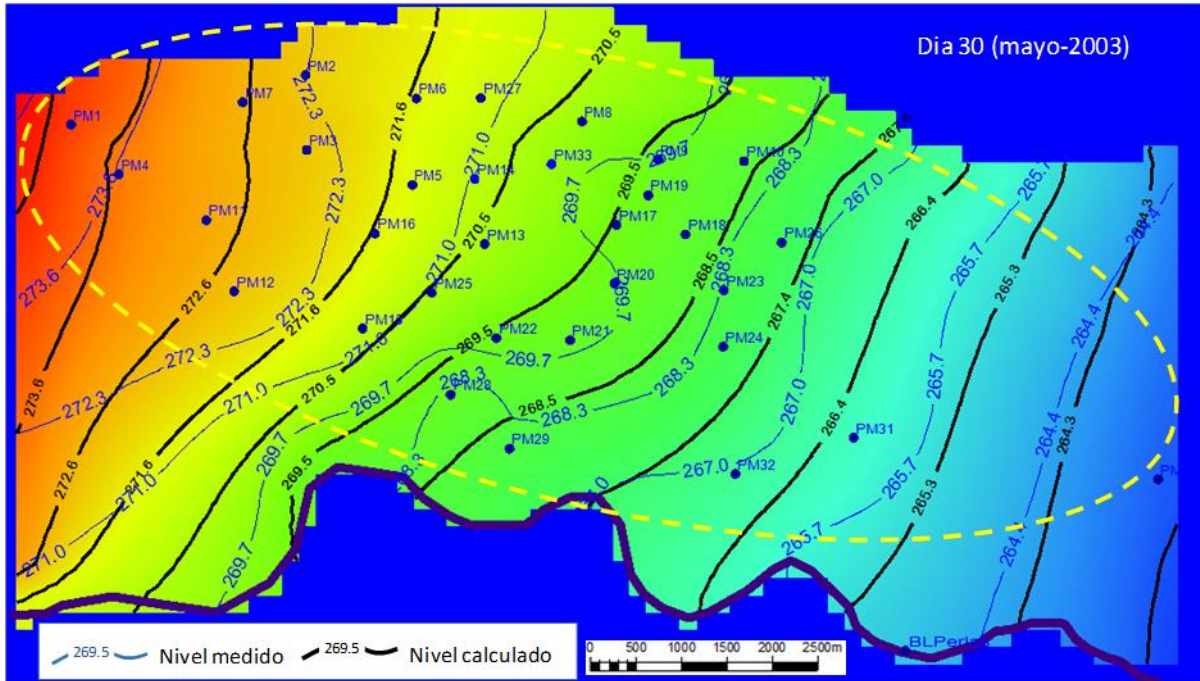


Figura 11.8 Nivel medido vs. Nivel calculado. Mayo 2003

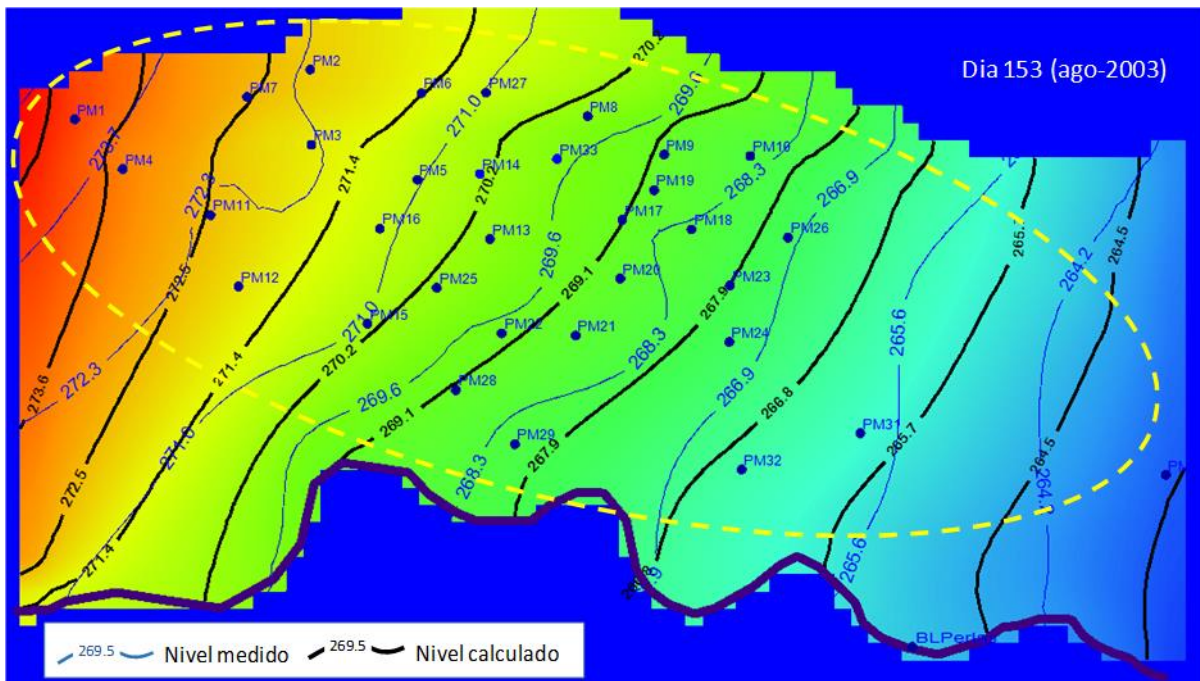


Figura 11.9 Nivel medido vs. Nivel calculado. Agosto 2003



El ajuste global del modelo matemático en estado transitorio se muestra en el gráfico de correlación entre los niveles medidos y calculados en todos los pozos de observación para el período abril 2003- diciembre 2005. Presenta un ajuste aceptable, con un valor de RMS de 3.43%. (Figura 11.10)

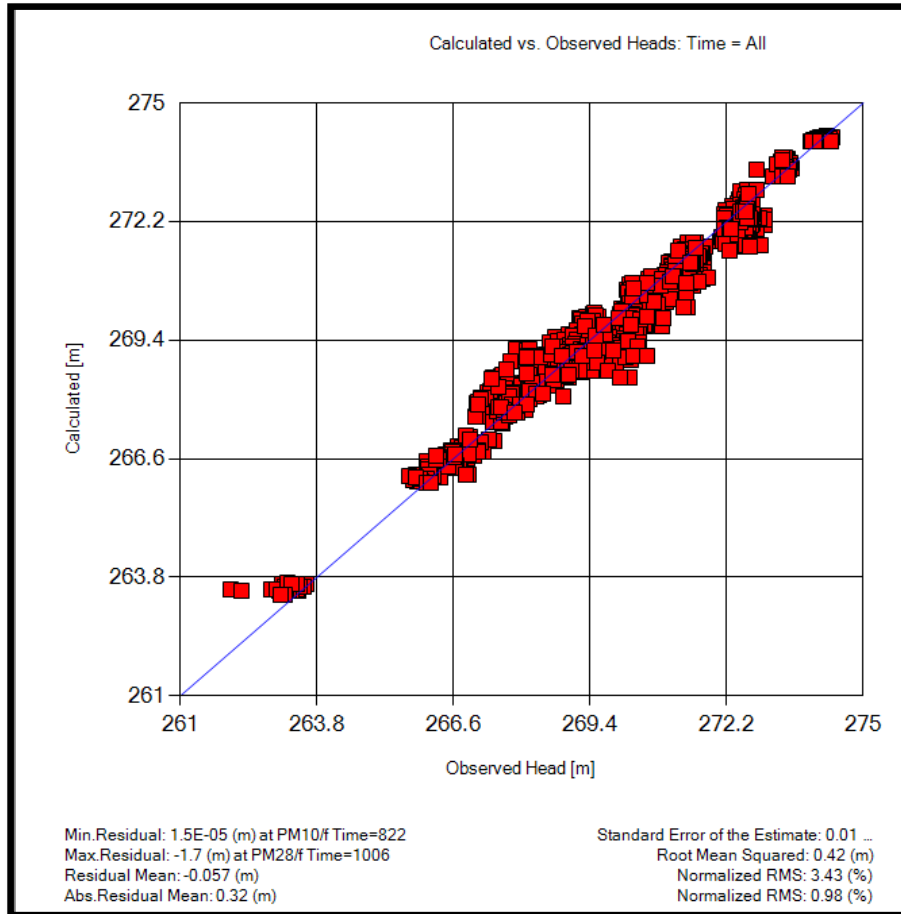


Figura 11.10 Niveles calculados vs observados de todo el período simulado

El análisis pozo a pozo revela un ajuste satisfactorio de los niveles calculados en función de los medidos en la mayoría de los puntos de observación.

La Figura 11.11 muestra la evolución de los niveles calculados en relación con los medidos a lo largo del período de simulación de 1005 días. Se observa que el modelado consiguió replicar la variación de los niveles, tanto en amplitud como en secuencia, los ascensos y descensos producidos por períodos de riego y no riego.

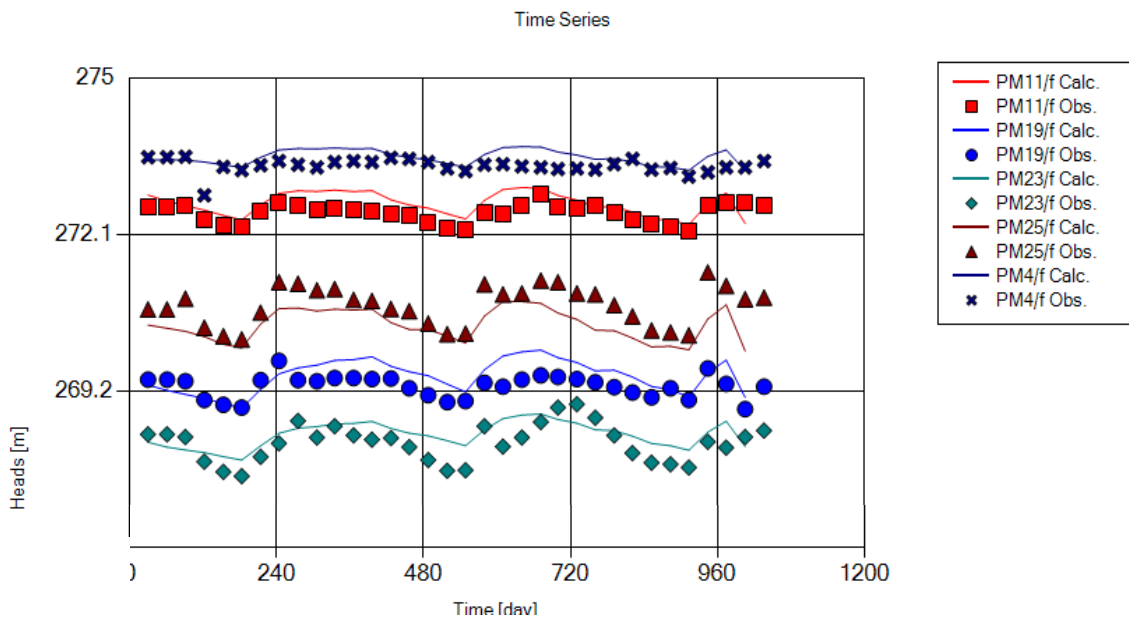
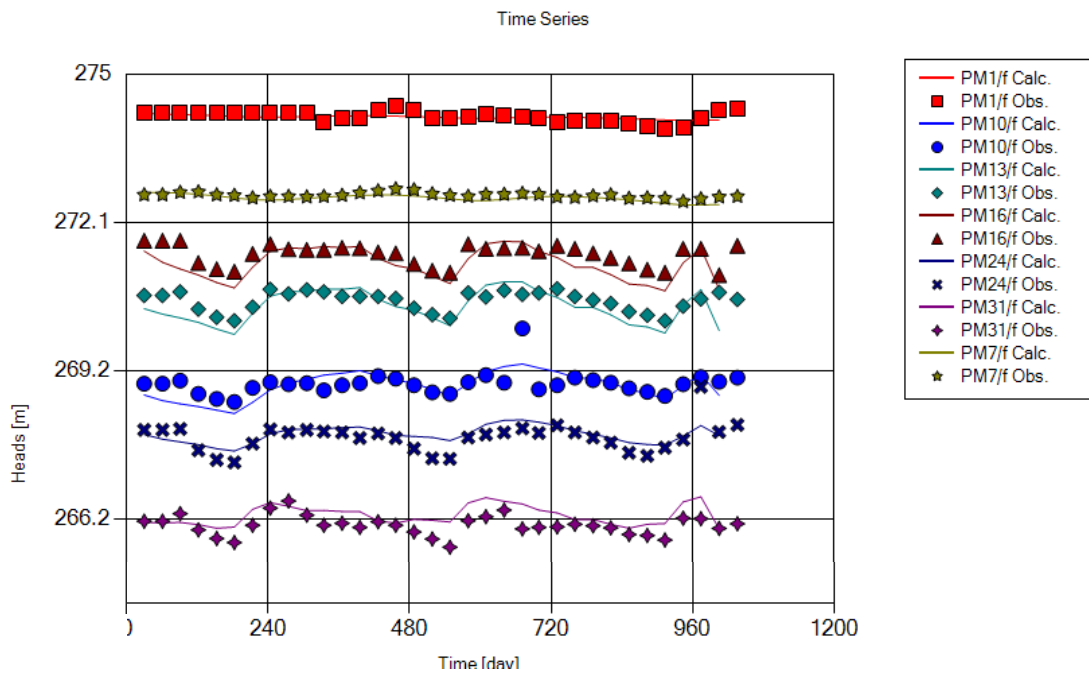


Figura 11.11 Evolución de niveles calculados en relación con los medidos a lo largo del periodo de simulación de 1005 días en pozos con ajuste típico.

En un grupo reducido de pozos los niveles calculados resultaron menores que los medidos en todo el período analizado, aunque los ciclos de ascensos y descensos, en general, se vieron reflejados (Figura 11.12).

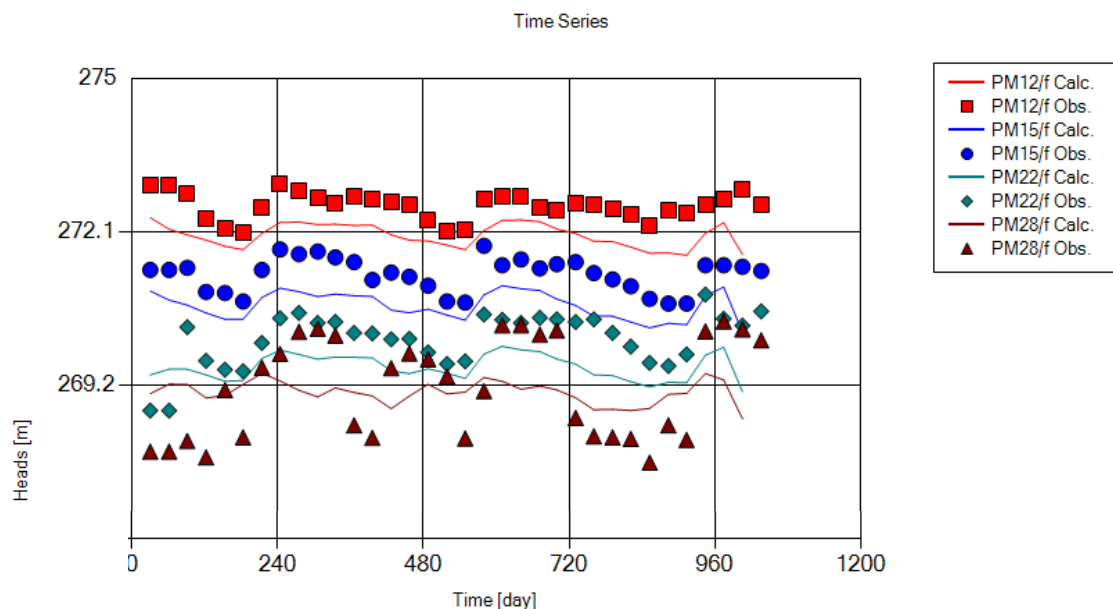


Figura 11.12 Evolución de niveles calculados en relación con los medidos a lo largo del período de simulación de 1005 días en pozos con menor ajuste.

En relación a la zona próxima al río, los mapas equipotenciales derivados del modelo matemático muestran que en los meses de riego el acuífero tiende a descargar en la planicie aluvial del río Limay. (Figura 11.13)

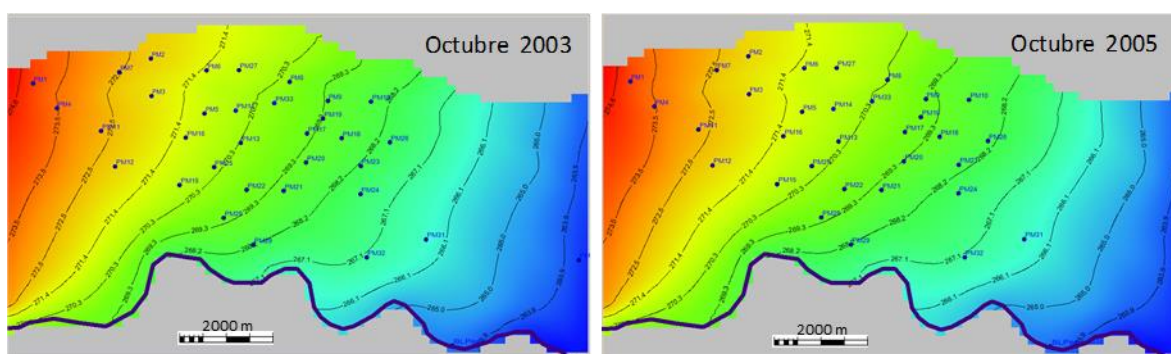


Figura 11.13 Mapas equipotenciales característicos de mes con riego.

En cambio en los períodos en que descienden los niveles freáticos a causa de la falta de riego, el sentido del flujo subterráneo tiende a ser paralelo a la dirección de escurrimiento del río Limay. (Figura 11.14)

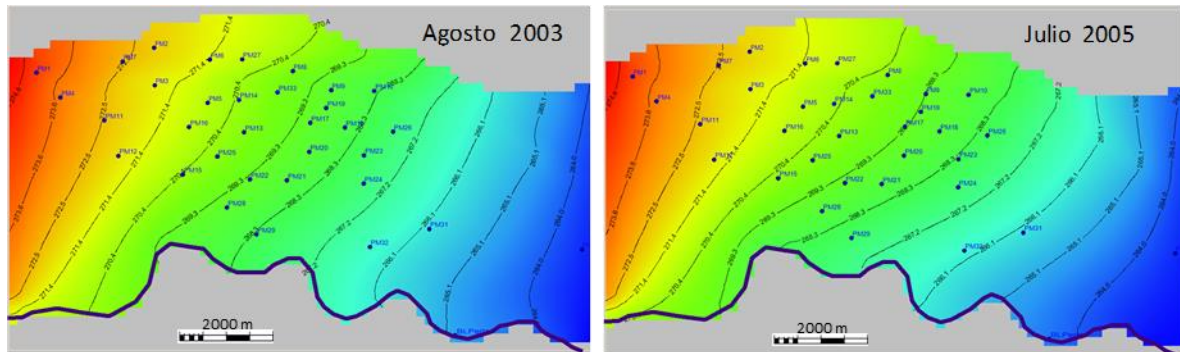


Figura 11.14 Mapas equipotenciales característicos de meses sin riego.

#### 11.2.5. Balance de masas

En el balance de masa se consideró el período 12, step 10, correspondiente al día 396 en la simulación dinámica. Este período tiene en cuenta un ciclo en el que la diferencia de almacenamiento es prácticamente nula. El volumen involucrado en este ciclo anual es tanto de entrada como de salidas de  $44 \text{ Hm}^3$ , el 90 % del ingreso lo constituyen el riego más la precipitación y el 10% restante la afluencia subterránea. El egreso está formado en un 52% por el uso consuntivo, un 44% por la salida superficial (riego + drenaje) y el 4% por la efluencia subterránea.

## 12. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

Con la intención de proyectar situaciones hipotéticas en las que el área de estudio tuviera diferentes condiciones de riego se consideraron dos situaciones, una sin riego y otra con el riego aumentado un 50%. La geometría de la grilla, las propiedades hidráulicas y las condiciones de borde, exceptuando la recarga y el uso consuntivo se consideraron similares al modelo matemático original.

### 12.1. Escenario sin riego

Se corrió el modelo planteando la recarga exclusivamente compuesta por los excesos hídricos estimados a partir del 23% de la precipitación total, según se definiera en el capítulo de Hidrometeorología.

En este escenario las características del ambiente serían diferentes, existiendo una vegetación rala y escasa y el proceso predominante sería la infiltración de tipo rápida en los sedimentos gruesos aluviales.

De acuerdo a este modelo conceptual, el modelo matemático fue parametrizado considerando el cese del riego y la recarga únicamente por excesos de la precipitación, el flujo lateral con niveles constantes y el nivel del río variable según las alturas registradas en la estación de balsa Las Perlas.

En un período de 2830 días con punto de partida el 01/04/2003 y final 30/12/2010, se observó una tendencia a la profundización de los niveles. Existe una diferencia que varía entre 0,60 y 1,40 m entre los niveles medidos en el período con registro (abril 2003 – diciembre 2005), con riego y los estimados por el modelo.

Sin embargo en la tendencia de disminución de los niveles puede verse que aproximadamente a partir del segundo año, existe una estabilización en la profundización especialmente en los pozos del sector central. Las mayores diferencias de nivel se registraron en el mismo sector (el más afectado por el riego actualmente). Los pozos próximos al pedimento de flanco muestran escasas variaciones lo que indicaría que se encuentran influenciados principalmente por el flujo lateral. Los pozos próximos al río muestran también escasas variaciones debido al control como nivel de base de descarga, que ejerce el curso de agua. (Figura 12.1)

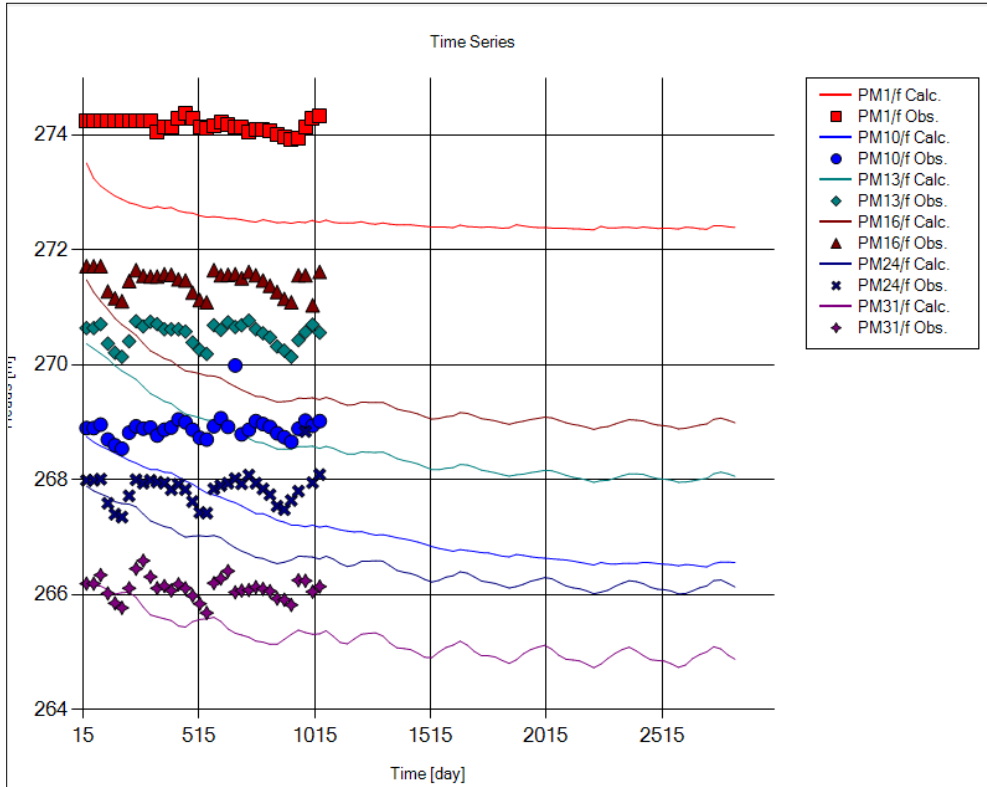


Figura 12.1 Evolución de niveles freáticos. Escenario sin riego

En las figuras 12.2 (marzo 2004) y 12.3 (marzo 2005), se muestran las posiciones hipotéticas que alcanzarían los niveles freáticos al primer y segundo año sin riego.

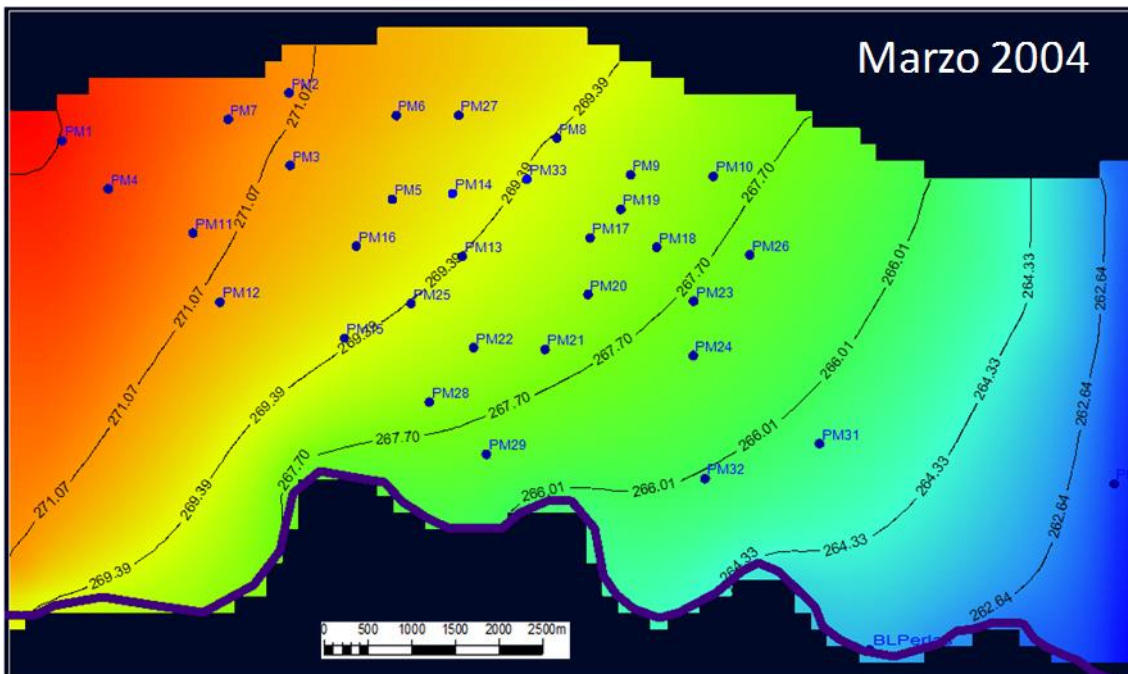


Figura 12.2 Mapa equipotencial hipotético al primer año sin riego

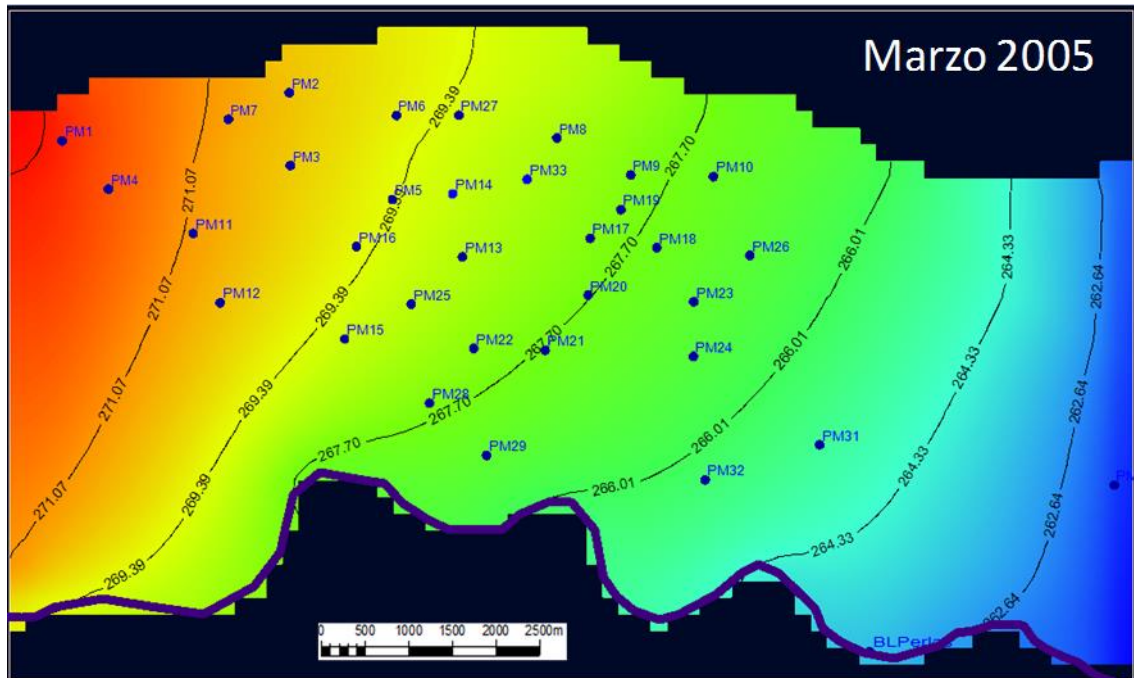


Figura 12.3 Mapa equipotencial hipotético al segundo año sin riego

Para visualizar el impacto que tendría la falta de riego sobre la profundización de los niveles se confeccionaron mapas residuales que surgen de la diferencia entre los valores calculados en el escenario sin riego y los calculados con el modelo original. En las Figuras 12.4 y 12.5 se puede observar que al primer año la profundización en la zona central variaría entre 0,6 y 1,5 m y al cabo del segundo año aumentarían hasta alcanzar valores de 1,8 m.

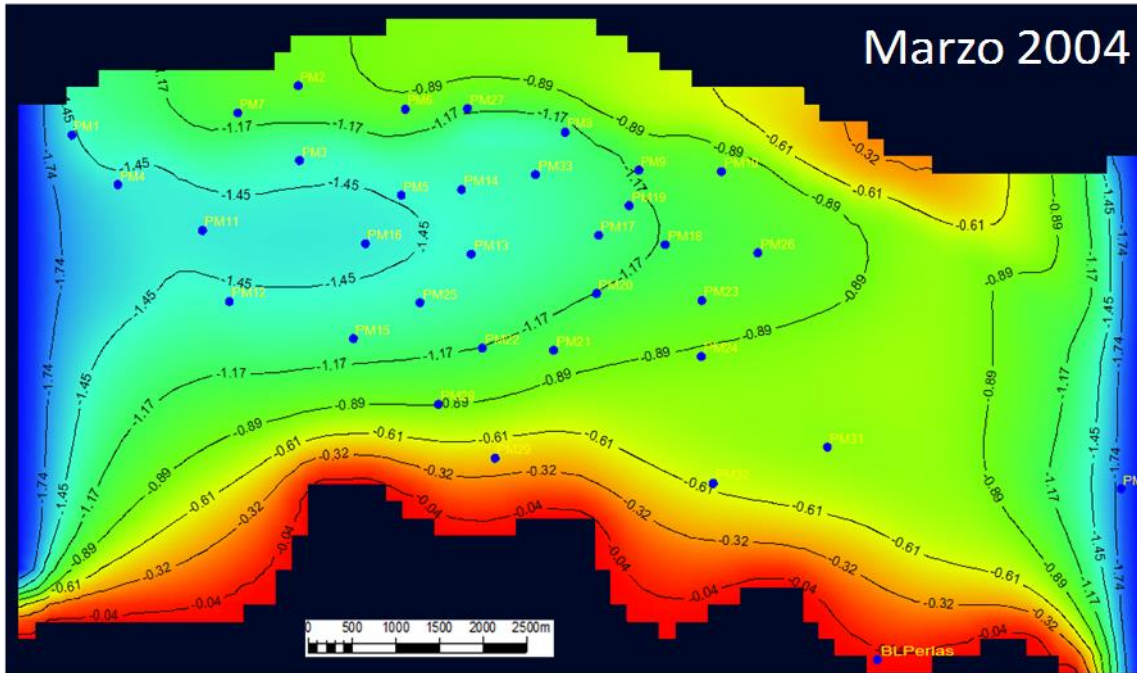


Figura 12.4 Mapa de diferencia entre el modelo matemático original y el escenario sin riego al primer año.

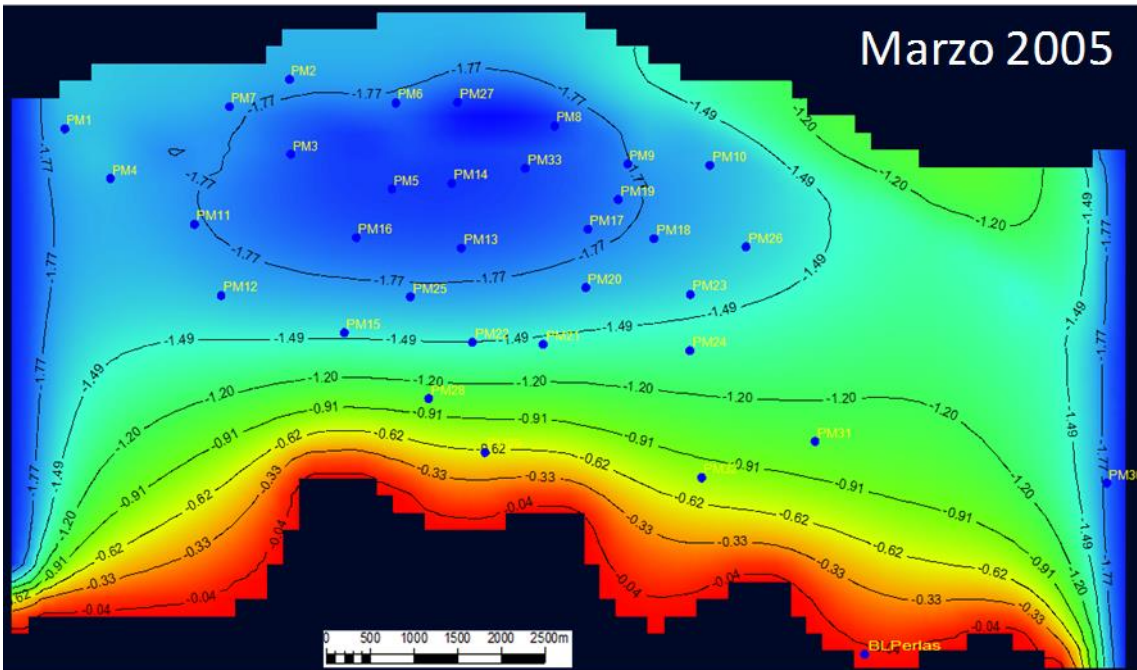


Figura 12.5 Mapa de diferencia entre el modelo matemático original y el escenario sin riego al segundo año.

Un escenario sin riego como el simulado puede asimilarse a la situación previa al establecimiento de cultivos a principios del siglo pasado. En este caso la vegetación rala con muy escaso uso consuntivo se encontraría asociada a niveles freáticos a mayor



profundidad con una descarga subterránea de menor significación hacia la planicie aluvial del río. Por otra parte una disminución futura de los volúmenes de riego como consecuencia del reemplazo de los cultivos por otro uso de la tierra, como podría ser la expansión de la urbanización, podría significar una profundización de los niveles freáticos y un deterioro de la calidad del agua.

## 12.2. Escenario con un aumento del 50% en el volumen regado

Se modeló el área de estudio considerando el volumen de riego aumentado en un 50 %, manteniendo la misma distribución temporal de la recarga que el modelo matemático original. El período abarcado en este escenario comprende desde abril 2003 a diciembre 2005.

En las figuras 12.6 y 12.7 se observan los resultados en el primer y segundo año en el que se aplicó el aumento del volumen de riego. Los mapas equipotenciales muestran las direcciones de flujo predominantes y acentúa la relación influente del acuífero sobre la planicie de inundación del río.

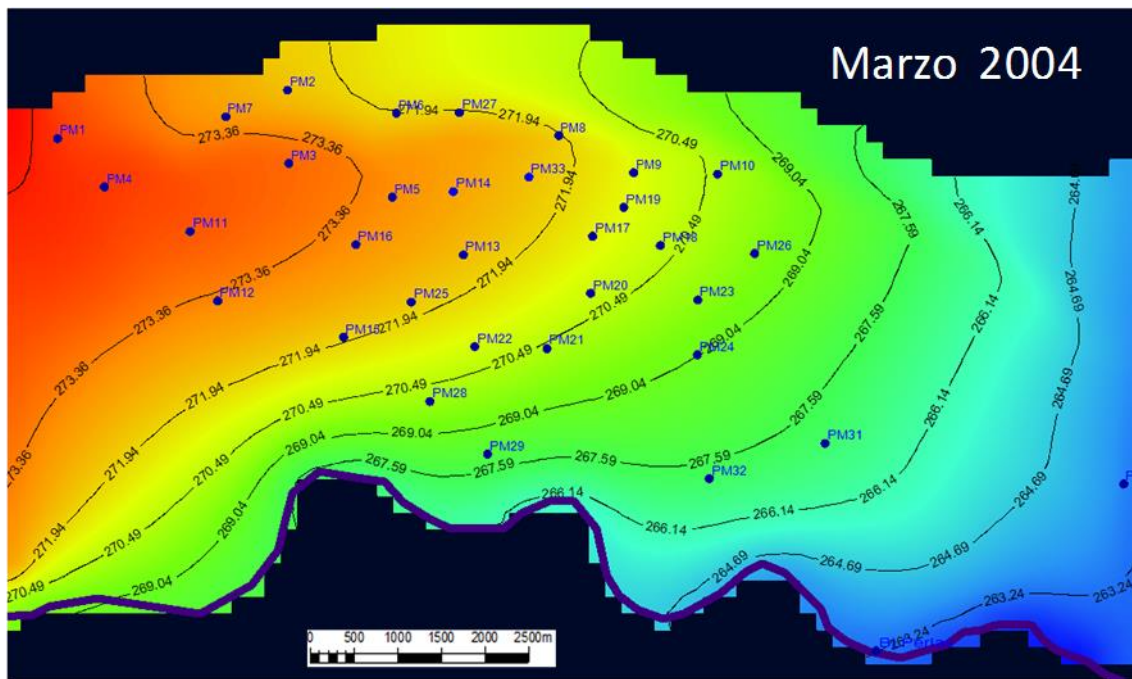


Figura 12.6 Mapa equipotencial hipotéticos al primer año con riego aumentado un 50%

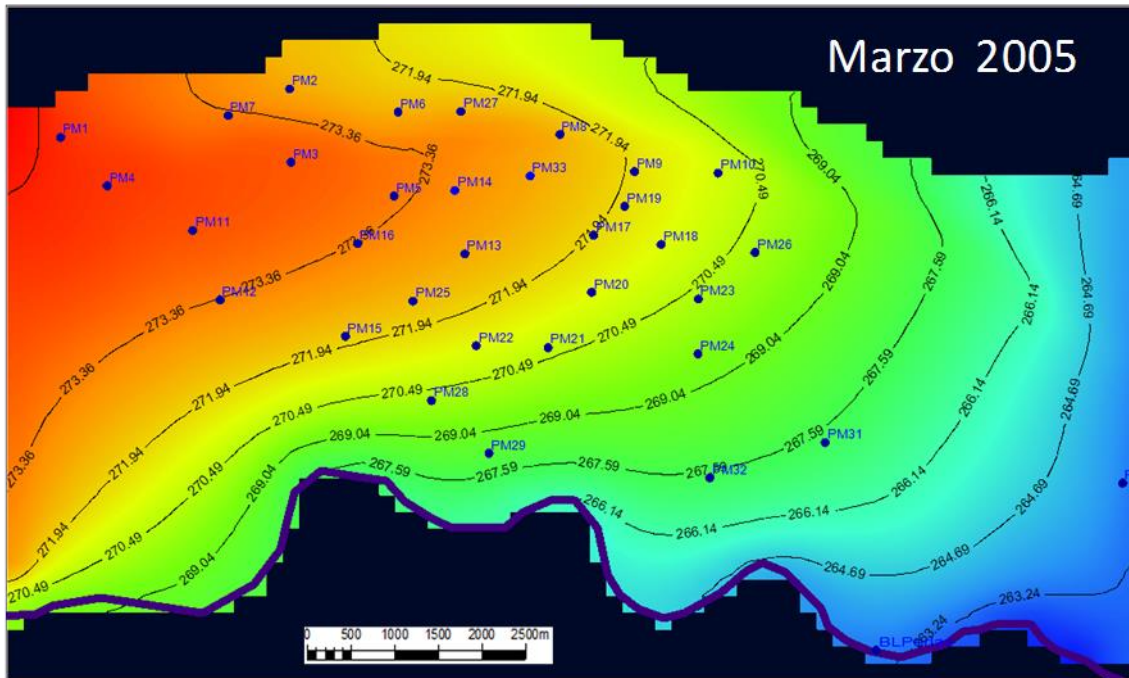


Figura 12.7 Mapas equipotenciales hipotéticos al segundo año con riego aumentado un 50%

Las diferencias entre los valores calculados en el modelo original y los correspondientes al volumen de riego aumentado indican ascensos que varían entre 0,20 m en los sectores próximos al río y al pedimento de flanco y 1,50 metros en el sector cultivado.

En el segundo año se observa que continúa el aumento de los niveles freáticos, alcanzando valores aproximados de 2 metros. (Figuras 12.8 y 12.9)

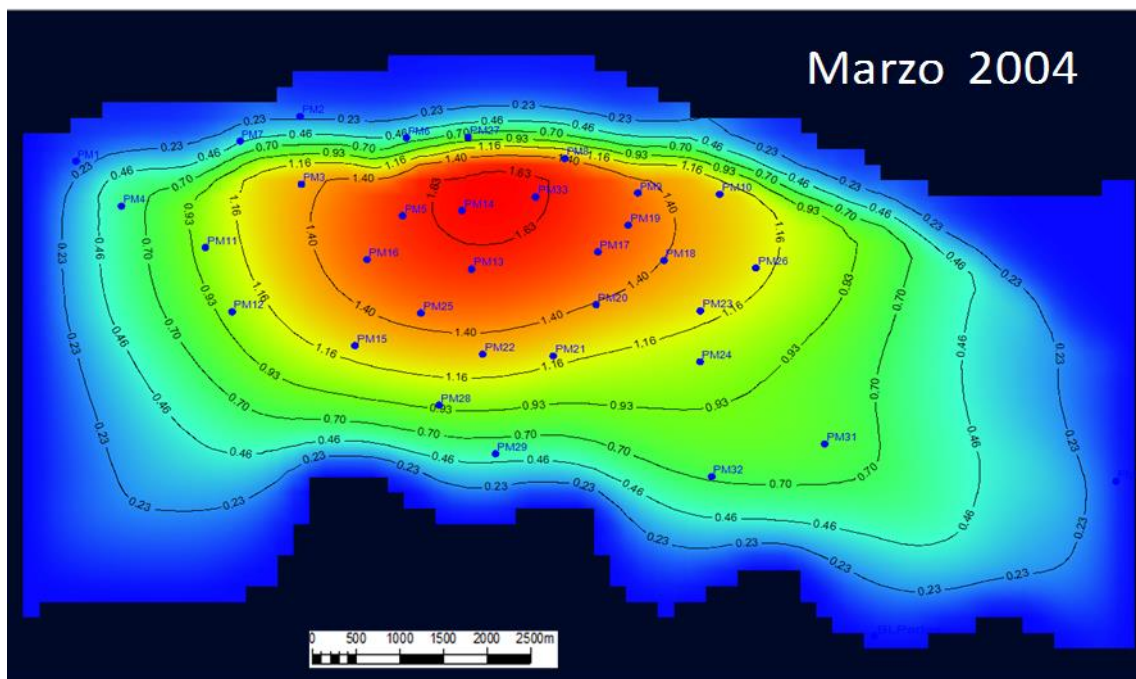


Figura 12.8 Mapa de diferencia entre el modelo matemático original y el escenario con riego aumentado un 50% al primer año.

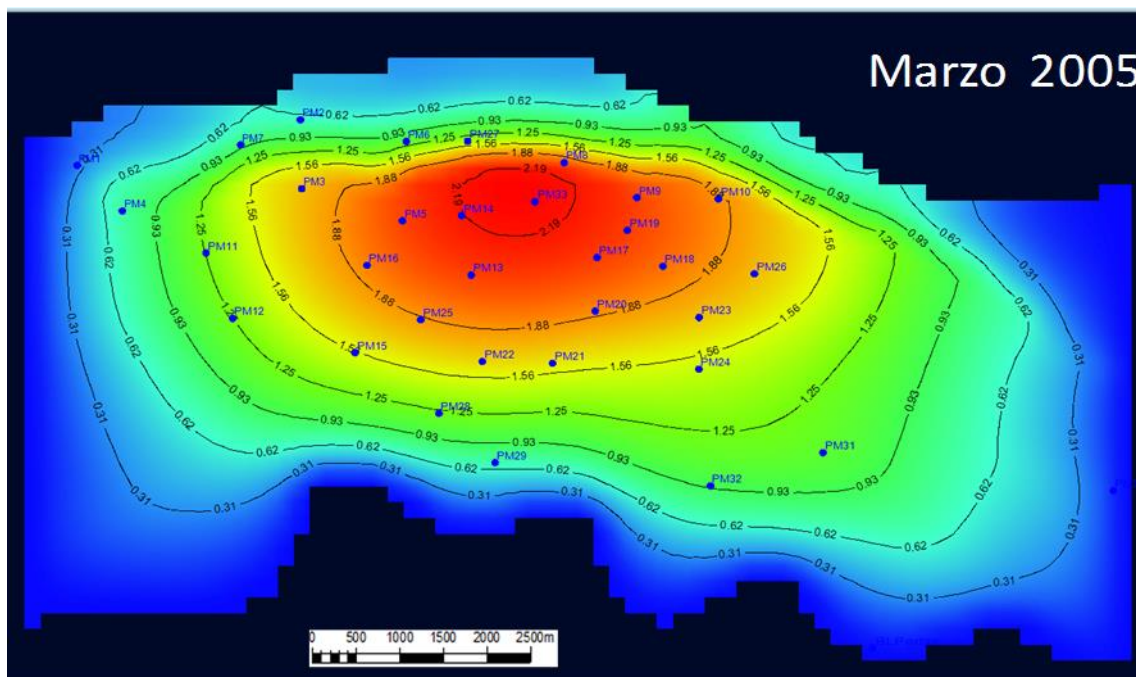


Figura 12.9 Mapas de diferencia entre el modelo matemático original y el escenario con riego aumentado un 50% al segundo año.

Este escenario de un incremento en el volumen de agua aportada por el riego lleva a una situación de niveles freáticos a escasa profundidad, con posibles anegamientos en los sectores más bajos de la planicie aluvial y problemas por una sobresaturación de

agua en el suelo que puede afectar el crecimiento de los cultivos. Esta simulación también posibilita reconocer un mayor volumen de descarga subterránea hacia la planicie aluvial del río Limay.

### 13. EXTRAPOLACION DE LOS RESULTADOS

El reconocimiento de los procesos y modificaciones que ocurren en el sistema subterráneo, en un área particular como es la llanura aluvial del río Limay, en donde el acuífero freático se encuentra fuertemente influenciado por el riego, permiten definir herramientas que puedan ser utilizadas en zonas con características similares.

En nuestro país existen un gran número de ríos que presentan llanuras aluviales restringidas arealmente, desarrolladas en clima árido, conformadas por sedimentos aluvionales de alta conductividad hidráulica capaces de sustentar un acuífero somero.

La región del Alto Valle del Río Negro, en la confluencia de los Ríos Limay y Neuquén es una zona donde se desarrollan este tipo de acuíferos condicionados en su funcionamiento directamente por las particularidades del riego.

La existencia de acuíferos libres a escasa profundidad pueden degradar el recurso suelo, comprometiendo la sustentabilidad del agrosistema frutícola (Galeazzi et al., 2007)

El conocimiento de las modificaciones producidas por las dotaciones y turnados de riego en las variaciones de los niveles freáticos y en la calidad del agua en un sector particular facilita la extrapolación de los resultados obtenidos a sitios con condiciones hidrogeológicas semejantes, pero con menor información acerca de las condiciones hidrodinámicas y hidroquímicas del agua subterránea.

## 14. CONCLUSIONES

El riego, a partir de agua superficial, en la llanura aluvial del sector inferior del río Limay, desde principios del siglo pasado fue la base para el desarrollo socioeconómico asociado principalmente al cultivo de frutas. Ello lleva a que las condiciones hidrológicas naturales en general y del comportamiento del recurso hídrico subterráneo se vean afectadas por la actividad antrópica.

En el sistema de agua subterránea se reconoce una unidad somera y una profunda. El primer caso, incluye a la capa freática directamente relacionada con las condiciones climáticas actuales y con las modificaciones introducidas por el uso del suelo. La unidad profunda, en la que no se detectan dichos cambios, se asocia a la secuencia geológica que caracteriza a la Dorsal Huincul (Engolfamiento Neuquino), que abarca a diversos ambientes sedimentarios y litologías (Triásico – Cretácico Superior).

Desde el punto de vista hidrogeológico, en la unidad profunda, se reconoce un basamento (acuífugo) y un relleno sedimentario, con alternancia de depósitos marinos y continentales (secuencia de unidades acuíferas, acuitardas o acuícludas). Sólo es posible plantear las características generales, obtenidas en forma indirecta de los depósitos del Grupo Neuquén (Cretácico Superior). Se identificaron a partir de la interpretación de perfilajes de pozos petroleros y hasta una profundidad de 500 m, cuatro unidades acuíferas: Unidad I (30 a 40 m de espesor), Unidad II (de 40 a 50 m de espesor), Unidad III (aproximadamente 50 m de espesor) y Unidad IV (50 m de espesor) que se desarrollan entre una base de baja permeabilidad y las unidades más próximas a la superficie del Grupo Neuquén. Las salinidades del agua varían entre 1480 y 2450 ppm de NaCl equivalente, lo cual significan contenidos salinos totales superiores a dichos valores. La información obtenida de dos pozos realizados con fines hidrogeológicos en el Grupo Neuquén, hasta una profundidad del orden de 100 m indicó niveles positivos respecto de la unidad somera, por lo que no existirían posibilidades de transmisión vertical desde el acuífero freático hacia los niveles profundos dado la diferencia de carga hidráulica existente. En una primera aproximación se reconoció un flujo subterráneo regional desde el pedimento de flanco hacia el río Limay. La salinidad del agua verificada en las 2 perforaciones supera los 2g/L.

La unidad somera (acuífero freático) se desarrolla en su mayor extensión en sedimentos aluviales cuaternarios, que presentan un espesor medio de 10 m, formados por gravas y arenas sueltas, que pasan transicionalmente a sedimentos más finos, arena, limo y arcilla, hacia el norte del área de estudio. Los límites están dados por el suelo en superficie y por los niveles de escasa permeabilidad del Grupo Neuquén en profundidad.

Hacia el norte limita con el pedimento de flanco (Grupo Neuquén) y al sur con el río Limay que conforma un límite hidrológico.

Los rasgos geomorfológicos se asocian a procesos hidrológicos particulares que afectan al acuífero freático. Se reconocieron: un pedimento de flanco proximal, caracterizado por altas pendientes topográficas que condicionan un predominio del escurrimiento superficial esporádico en relación con eventos de lluvias intensas; un pedimento de flanco distal, en el cual el escurrimiento superficial se asocia a procesos subordinados de infiltración; y la planicie aluvial, en donde el relieve llano y la presencia de sedimentos gruesos, favorecen el predominio de la infiltración y evapotranspiración.

Las profundidades de los niveles freáticos son variables, los más cercanos al pedimento de flanco distal, superan los 6 m desde el nivel del terreno. Los ubicados en la planicie aluvial, se sitúan entre 1,5 y 3 m, mientras que en las proximidades del río se encuentran a alrededor de 2 m. Las fluctuaciones de los niveles freáticos son particulares para cada una de las zonas indicadas. En el primer caso muestran una escasa variación (0,20 m) a lo largo del año. Las mayores oscilaciones se registran en la planicie aluvial (entre 0,60 y 1,30 m)

En la mayor parte del área (planicie aluvial) existe un ciclo de ascenso y descenso de los niveles freáticos esencialmente asociado a la operación del riego. Existe un período primaveral, en donde los niveles freáticos alcanzan su menor profundidad (septiembre-octubre). Posteriormente un ciclo de máxima demanda de la evapotranspiración y crecimiento vegetativo de los cultivos con niveles algo más deprimidos (noviembre - enero). Luego asociado a la cosecha en que disminuye el riego, se produce leve ascenso (enero - abril). Finalmente influye el período sin riego (mayo - agosto) en el cual se profundizan los niveles freáticos, por efecto de la descarga subterránea. En la planicie de inundación las variaciones freáticas (mayores a 1 m) se relacionan con las variaciones en el nivel del río Limay. El flujo subterráneo es en sentido noroeste – sudeste con descarga variable hacia la planicie aluvial del río Limay, dependiente de los períodos de riego y no riego.

La principal recarga se origina a partir del riego (1031 mm/año) siendo de menor magnitud la vinculada a las precipitaciones (200 mm/año), todo ello esta favorecido por una infiltración rápida. La salida se produce a través del uso consuntivo (721mm/año), el drenaje por canales y la descarga al río (537mm/año). Existe un flujo lateral con dirección Este (53 mm/año) – Oeste (26mm/año), que se asume constante en el tiempo.

Según las características químicas se definen tres zonas en función de los contenidos químicos y a su vez se reconocen que estas características tienen un comportamiento

relativamente homogéneo en el tiempo que demandó el estudio: una zona de pedimento de flanco, con aguas de mayor salinidad (superior a 2 g/L) cloruradas sulfatadas sódicas; una zona de transición con aguas sulfatadas bicarbonatadas cálcicas y una correspondiente a la planicie aluvial con aguas de baja salinidad (menor a 500 mg/L) tipo bicarbonatadas sódicas cálcicas.

El agua del río y del riego presentan prácticamente la misma composición, siendo aguas bicarbonatadas calco sódicas. El agua de los canales de drenaje es sulfatada clorurada sódica.

Los procesos que condicionan la composición química actual del agua subterránea en la planicie aluvial se relacionan con el aporte del agua de riego del río Limay. Dichos procesos son la disolución de  $\text{CO}_{2(g)}$  atmosférico que produce un incremento de iones  $\text{HCO}_3^-$ , la disolución de carbonatos que proporciona al medio iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{HCO}_3^-$  y la evaporación del agua de riego.

Los contenidos de manganeso, varían entre 0,002 y 1,3 mg/L, y en general se encuentra dentro de los límites aceptables para distintos usos. Se definió como fondo natural del arsénico 0.02 mg/L, y del flúor 0,89 mg/L, que es algo superior que lo normado para agua de bebida en el primer caso mientras que son aceptables para el segundo. En la calificación de agua para riego se obtuvieron dos tipos, una apta (zona planicie aluvial) y otra inadecuada (pedimento de flanco).

En base al modelo conceptual planteado para el acuífero freático, se formuló el modelo matemático. Ello permitió, además de la simulación de distintos escenarios, ajustar los parámetros geohidrológicos, definiendo la conductividad hidráulica y el coeficiente almacenamiento para el pedimento de flanco y la planicie aluvial de acuerdo a las características hidrogeológicas y a los datos de ensayos. Para el sector de la planicie aluvial se definieron inicialmente valores de  $K_x=K_y=K_z=100$  m/d que fueron ajustados para la etapa de calibración del modelo con valores de  $K_x=170$ ,  $K_y=K_z=100$  m/día. En este mismo sector se definió el coeficiente de almacenamiento o porosidad efectiva en 25%. En el sector próximo al pedimento de flanco se definió la conductividad hidráulica con valores de  $K_x=K_y=K_z=5$  m/día, y 15% de porosidad efectiva.

Se plantearon dos escenarios hipotéticos para conocer la reacción de la capa freática, reconociéndose el sensible equilibrio que existe entre el comportamiento del agua subterránea y el uso del suelo y del agua. La simulación de un escenario sin riego puede asimilarse a la situación previa a la instalación del riego a principios del siglo pasado o a una disminución futura de los volúmenes. En esta situación se reconoce la profundización de los niveles freáticos y una restringida descarga subterránea hacia la



planicie aluvial del río y posiblemente un deterioro de la calidad química del agua. Otro escenario supone un incremento en el volumen de agua aportada por el riego y ello lleva a una situación de niveles freáticos a escasa profundidad, con anegamientos en los sectores más bajos de la planicie aluvial, saturación de agua en el suelo y un mayor volumen de descarga subterránea hacia la planicie aluvial del río Limay.

El conocimiento de los procesos y modificaciones producidos por el riego en el funcionamiento y calidad del agua subterránea constituyen herramientas fundamentales para el manejo de los recursos hídricos, especialmente en las áreas que dependen de esta actividad para su desarrollo socioeconómico. Se plantea la posibilidad de la extrapolación de los resultados obtenidos a otras áreas llanas de clima árido, con condiciones hidrogeológicas semejantes que carezcan de información de las particularidades hidrodinámicas e hidroquímicas, en especial de la capa freática, pero que presenten la posibilidad de desarrollarse a partir de la incorporación del riego.

## 15. BIBLIOGRAFIA

Allen R. Pereira L., Raes D. y M. Smith 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de cultivos. Estudio FAO riego y drenaje 56. Roma

Álvarez MP 2010. Investigación geohidrológica en un sector de Península Valdés, Provincia de Chubut. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata

Álvarez, María del Pilar, M. M. Trovatto, M. A. Hernández y N. González. 2012. Groundwater flow model, recharge estimation and sustainability in an arid region of Patagonia, Argentina". Environmental Earth Sciences, Springer Berlin / Heidelberg. Vol. 66 n° 7. P 2097 – 2108. ISSN: 1866-6280.

Archie, G.E. 1942. The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining some reservoir characteristics. Trans. AIMME. 146: 54-62

Arregui C., Carbone O. y R. Martínez 2011. El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano – medio) en la cuenca neuquina. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires Asociación Geológica Argentina. Pág. 77-90. ISBN978-987-22403-3-2

Arregui C., Carbone O. y F. Sattler 2011. El Grupo Lotena (Jurásico medio – Tardío) en la cuenca neuquina. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires Asociación Geológica Argentina. Pág. 91-98. ISBN978-987-22403-3-2

Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro. AIC [www.aic.gov.ar](http://www.aic.gov.ar)

BDHI 2015. Base de Datos Hidrológica Integrada – Subsecretaría de Recursos Hídricos. Sistema Nacional de Información Hídrica. Secretaría de Obras Públicas. [http://www.hidricosargentina.gov.ar/sistema\\_sistema.php](http://www.hidricosargentina.gov.ar/sistema_sistema.php) (Visto 1-11-2015)

Bardini O., G. Schachner, P. Castellarini, C. Arregui y J. Quinteros. 2005. Entrampamientos del Yacimiento Río Neuquén. VI Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Simposio Las Trampas de Hidrocarburos en las Cuencas Productivas Argentinas. Editores: Kozlowski E., Vergani G. y A. Boll. Mar del Plata, Argentina. Pág. 299- 316

Blaney H. y Criddle W, 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Tech. Paper 96.p.48

Boyle D.R., Turner R.J.W., Hall G.E.M. 1998. Anomalous arsenic concentrations in groundwaters of an island community, Bowen Island, British Columbia. Environ. Geochem. and Health, 20, 199-212.

Bracaccini O. 1970. Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de Mendoza y Neuquén, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 25(2):275-284 Buenos Aires

Bustanza J.,Gonzalez M., Neme M. y Rubio 2011. Recursos Hídricos superficiales. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina. Pág. 841- 850. .ISBN978-987-22403-3-2

Campos Hernández, V.; Kruse, E.; Tosi, L.; Teatini, P.; Mazzoldi, A.; Nieto Yabar, D.; Rizzetto, F. 2009. Evaluación preliminar del ascenso de los niveles freáticos en el area de Trujillo (Perú). . Congreso. Actas I Congreso Nacional de Agua. Lima (Perú).

Campos, V.; Kruse, E.; Tosi, L.; Mazzoldi, A.,Teatini, P. 2008. Ascenso de los niveles freáticos en el centro arqueológico Chan Chan (Perú). Investigaciones Preliminares. Congreso. IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. ALHSUD. Quito (Ecuador). 2008.

Carbone O., Franzese J.,Limeres M., Delpino D., R. Martinez 2011. El Ciclo Precuyano (Triásico tardío - Jurásico temprano) en la cuenca neuquina. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén. Relatoria del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires Asociación Geológica Argentina. Pág. 63-76. .ISBN978-987-22403-3-2

Carrica JC 1993. Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos 4: 243-248. Mendoza

Carrica JC 2009. Cálculo de la recarga en zonas áridas y semiáridas. En: Carrica, J., Hernández, M. y Mariño, E. (eds.), Recarga de acuíferos. Aspectos generales y particularidades en regiones áridas, Amerindia 71-80.

Cazau L. y M. Uliana 1973. El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina. V Congreso Geológico Argentino. Asociación Geologica Argentina Actas 3. Córdoba. Pág.131 -163.

Código Alimentario Argentino. 2012. N°18.284, art. 982 (Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007) Capítulo XII. Bebidas Hídricas Aguas y Aguas gasificadas

Cogliati M. 2005. Análisis climático de eventos con viento intenso en Neuquén. Boletín Geográfico N°26. Boletín del Departamento de Geografía de la Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Comahue. Pág.11-20 ISSN2313-903X <http://revela.uncoma.edu.ar/htdoc/revela/index.php/geografia/issue/view/19>

Colombino J. y M. Luengo 2011 Regiones Hidrogeologicas Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina. Pág. 833 - 841.

Custodio E. y Llamas R., 1983. Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, S.A.- Plató, 26- Barcelona-6. Tomo II, Sección18. ISBN 84-282-0281-8 Barcelona. España.

DINREP 2015. Informes Sintéticos de caracterización Socio Productiva. Neuquén 2015. Dirección Nacional de Relaciones Económicas con las Provincias –Subsecretaría de Relaciones con Provincias. Secretaría de Hacienda. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. <http://www2.mecon.gov.ar/hacienda/dinrep/Informes/InformesSinteticos.php> (Visto 1-11-2015)

Doorenbos J. y W. Pruitt 1977. FAO Guielines for predicting. Irrigation and drainage paper 24. Rome

Foster, S. y Shah, T. 2012. Groundwater resources and irrigated agriculture. Perspective papers. Global Water Partnership, Stockholm, Suecia.

Galeazzi J, Pesan P., Muñiz J., Signorelli V.,y J. Quiroga 2007. Reconocimiento de la dinámica freática mediante monitoreo de un área piloto del Alto Valle del Río Negro. XXI Congreso Nacional del Agua (CONAGUA 2007) Tucumán

Garduno H y Foster S 2010. Sustainable groundwater irrigation—approaches to reconciling demand with resources. World Bank/GWP GW-MATE Strategic Overview Series SO-4 (Washington DC, USA).

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. Versión on –line ISSN : 1853-0400.

Garrido A. 2011. El Grupo Neuquén (cretácico tardío) en la cuenca neuquina. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina. Pág. 231- 244. .ISBN978-987-22403-3-2

González Díaz, E, y J. A. Ferrer 1986. Relevamiento y Priorización de Áreas con Posibilidad de Riego. Expte 181. Estudio Regional de Suelos. Geomorfología de la Provincia del Neuquén. Consejo Federal de Inversiones. 111 Páginas. Buenos Aires.

González Díaz E. e I. Tommaso 2011. Geomorfología Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina. Pág. 421- 441 .ISBN978-987-22403-3-2

González Díaz, E. y E. Malagnino 1984. Geomorfología de la Provincia de Río Negro. 9° Congreso Geológico Argentino. Relatorio 1-159 Buenos Aires

González Uriarte, M., 1985. Geomorfología del área interfluvial de los cursos inferiores de los ríos Colorado y Río Negro (Pcia. De Buenos Aires). Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses Actas 713-730.

Halcrow Sir William and Partners Ltd., 2002. Plan Maestro de Saneamiento Pluvioaluvional. Municipalidad de Neuquén. Volumen I, II y III.

Harbaugh, A.W., 2005, MODFLOW-2005. the U.S. Geological Survey modular groundwater model -- the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

Healy, RW, y Cook, PG. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10(1), 91-109.

Hem, J. D. 1967. Chemical Geohydrology. Proc. Nat. Symposium on Ground-water Hydrology. AWRA. San Francisco.

Hernández MA, González N, Sánchez RA 2002 Mecanismos de recarga de acuíferos en regiones áridas. Cuenca del Río Seco, Provincia de Santa Cruz. Argentina. XXXII IAH Congress - VI Congreso ALHSUD. Mar del Plata, Ed. CD Rom y Libro de Resúmenes

Hernández MA, González N, Hernández L 2010 Procesos de recarga de acuíferos en regiones áridas de Argentina. Rev. Latinoamericana Hidrogeología 7: 71-78

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INDEC], 2010. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos.asp> (Visto 1-5-2015)

IRN 2015 Inventario de Recursos Naturales Provincia de Neuquén Programa de Asistencia técnica para al desarrollo del sector minero Argentino <http://www.mineria.gob.ar/estudios/irn/neuquen/p-neuquen.asp> (Visto 1-11-2015)

Katchikian, A. 2011 Registros de Pozo. Principios y Aplicaciones. Primera edición: el autor. Buenos Aires, Argentina. Pág.184. ISBN 978-987-33.1118-5

Kinniburgh D.G., Smedley P.L. (eds.) 2001. Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh. Volume 1: Summary. Department for International development (UK) Technical Report WC/00/19. ISBN 0852723849 British Geological Survey.

Kruse, E. y Zimmermann, E. 2002 Hidrogeología de Grandes Llanuras. Particularidades en la Llanura Pampeana (Argentina). Workshop. Groundwater and Human Development. XXXII IAH Congress. Publicación Workshop: Hidrogeología de Grandes Llanuras: 2025 - 2038. ISBN 987-544-063-9. 2002. Mar del Plata.

Kruse E.; Laurencena P. 2005 "Aguas superficiales. Relación con el régimen subterráneo y fenómenos de anegamiento." Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Editores: de Barrío R., Etcheverry R, Caballe M. y E. Llambías Cap. XIX: 313 – 326. La Plata. Argentina

Landriscini G., Preiss O., Rivero I y B. Avella 2015 Neuquén, ciudad intermedia y nodo regional. Trayectoria e impacto reciente de los hidrocarburos de reservorios no tradicionales. Mundo Urbano. Universidad de Quilmes. Categoría: Numero 45 Urbared <http://www.mundourbano.unq.edu.ar/index.php/ultimo-numero/258-articulo-graciela> (Visto 1-6-2015)

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). Pag.145-184. Buenos Aires.

Llamas, M R y Martinez-Santos P 2005 Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts. ASCE Journal Water Resources Planning & Management 131: 337-341.

Llambias, J y A. Sato 2011 Ciclo Gondwanico: La Provincia Magmatica Choiyoi en Neuquén. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina. Pág. 53- 62. .ISBN978-987-22403-3-2

Lui Eduardo 2001 Prefactibilidad del Proyecto de dinamización productiva del valle inferior del río Limay. Programa de Servicios Agrícolas Provinciales. PROSAP. Programa de Desarrollo y Rehabilitación de área irrigadas. Informe final Pág.110

LR Senergy 2013 Interactive Petrophysics Versión.4.1.2013.268 (Update 5) U.K

Manzano M., Custodio E. y P. Nieto 2003. El fondo natural de la calidad del agua subterránea. I Seminario Hispano- Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Rosario 607-617.

Marizza M., Galeazzi J., Vives L. y Nittmann J. 2009 Modelación del flujo subterráneo en un área piloto del alto valle de Río Negro (Argentina) Aportes de la Hidrogeología al Conocimiento de los Recursos Hídricos, Tomo II, Mariño, E. y Schulz, C.J. (Editores), ISBN 978-987-1082-36-7, Ed. Amerindia Nexa Di Napoli, Santa Rosa, pp. 497-504

Martínez S. J. 2009 Subsecretaria de Recursos Hídricos. Cuenca del río Limay. Cuenca Nº 63. [http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias\\_i8/63.pdf](http://www.hidricosargentina.gov.ar/documentos/referencias_i8/63.pdf) (Visto 1-11-2015)

Mases, E. 2014 Origen y Evolución del riego en Neuquén Capital – 1912/1920 Boletín del Departamento de Historia. Número 6 Pag. 5-36 Facultad de Humanidades Universidad Nacional del Comahue.

<http://revela.uncoma.edu.ar/htdoc/revele/index.php/boletin/article/view/784> (Visto 1-5-2015)

Mendez,V. Zanettini J.y Zappettini E. 1987 Aspectos geológicos del Orógeno Andino Central de la República Argentina. 10° Congreso Geológico Argentino. Actas 1:181-184

OMS (Organización Mundial de la salud) OMS, 2006: Arsenic in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza)

(WHO/SDE/WSH/03.04/75).[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_12.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_12.pdf) (Visto 1-2-2015)

ORSEP 2015 Organismo Regulador de Seguridad de Presas Secretaria de Obras Públicas. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. <http://www.orsep.gob.ar/presas.php> (Visto 1-7-2015)

Ortiz Maldonado, G. y Carmona, V. 2008. Comportamiento y clasificación de riesgo freático Lavalle, Mendoza, Argentina. Rev. FCA UNCuyo. Tomo XL. N° 2. 25-40. Mendoza – Argentina.

Pereira, C. 2010. Comportamiento del nivel freático en el área bajo riego del tercio inferior del río Atuel Cuenca del Río Atuel, Mendoza – Argentina. Maestría en Riego y Drenaje. Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo – INA – INTA. Mendoza

Piper Hill A. 1944 Agraphic procedure in the geochemical interpretation of wáter – analysis. Transactions of the American Geophysical Union, 25: 914:923

Plummer L.N., Prestemon, E.C., Parkhurst, D.L. 1991. An interactive code (NETPATH) for modelling NET geochemical reactions along a flow PATH. US Geol Surv Water Resour Invest 4078, 227 pp.

Primo L. y O.Gonzalez, 1973. Relevamiento de las aguas subterráneas de la Cuenca Neuquina y su posible utilización en proyectos de recuperación secundaria. En Segundo Simposio de Recuperación Secundaria de Petróleo y Gas, I.A.P., Y.P.F., Facultad de Ingeniería del Petróleo de Cuyo.

Ramos Víctor, Folguera Andrés y García Morabito E. 2011. Las Provincias Geológicas del Neuquén. Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquen. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Editores Hector Leanza, Carlos Arregui, Osvaldo Carbone, Juan Danieli y Jorge Valles. Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina. Pág. 317-326. .ISBN978-987-22403-3-2



Raymer, L.L., Hunt, E.R. y Gardner, J.S. 1980. An improved Sonic Transit Time-Porosity Transform. Trans. SPWLA Annual Logging Symposium.

Rodríguez, L, Cello, P, Vionnet, C.2006 Modeling stream-aquifer interactions in a shallow aquifer, Choele Choel Island, Patagonia, Argentina. Hydrogeology Journal April Volume 14, ISSUE 4, PP 591-602

Rodríguez M.F, Leanza H. M. Salvarredy Aranguren 2007. Hoja Geologica 3969-II Neuquén Provincias del Neuquen, Río Negro y La Pampa. Programa nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1:250000. Boletín N° 370. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales.

Rolleri E.O.1976Sistema de San Barbara. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 1:240-255. Buenos Aires

Sala J.M. 1983 La problemática de la investigación geohidrológica en grandes llanuras con escasa información. Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras. Olavarría. H;G:LI/72/TRA Comité internacional para el programa Hidrológico Internacional. Pág. 1173-1191

Sánchez M., Gómez J. y S. Heredia 2006. Sedimentología y Paleoambientes del Subgrupo Río Colorado (cretácico superior), Grupo Neuquén, en las bardas de la ciudad de Neuquén y alrededores. Revista de la Asociación Geológica Argentina 61 (2) Pág. 236-25

Schlumberger, 2015. Petrel E&P software platform. Versión 2015.2 (64 bit). Build date Aug 25 2015, Build N° P656313-I1490

Schlumberger, 1986. Principios/ Aplicaciones de la Interpretación de Registros. Educational Services. Argentina

Schlumberger, 1989. Log Interpretation Charts. Educational Services. Printed in U.S.A

Smedley P.L., Kinniburgh D.G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry, 17, 517-568.

Schoeller, H.1962. L'aside carbonique des eaux souterraines. Bull. BRGM, 2aserie, III:1:1-32. Paris.

Schoeller, H.1962. Les eaux souterraines. Ed. Masson. Paris.

Smith, A., Pollock, D. and Palmer, D., 2009. Ord River Irrigation Area annual groundwater elevation and water-table depth 1995 to 2008. CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship. Rev. A.

Stipanovic P., Baulfés O. y Martínez C. 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nord-patagónico y regiones adyacentes. Revista Asociación Geológica Argentina, 23(2): 367-388, Buenos Aires.

Stinco L., 2001. Introducción a la caracterización de reservorios de hidrocarburos. Empleo de técnicas de subsuelo en la evaluación de formaciones. Asociación Geológica Argentina. Serie "B" (Didáctica y complementaria) N° 25. ISSN 0328-2759. Buenos Aires. Argentina.

Thorntwaite, C. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Reprinted from The Geographical Review, 38 (1): 55-94

Thorntwaite C.W. Y Mather J.R. (1955). Instruction and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. Climate Crewel Inst. of Technology. 10(3).

Todd D. y Mays L., 2005. Groundwater Hydrology. Edit. John Wiley & Sons, Inc. Third Edition. Printed in the United States of América.

Tujchneider O, Paris M. D'elía M. y M Pérez 2002. Modelo de gestión de los recursos hídricos subterráneos en el centro-oeste de la Provincia de Santa Fe (Argentina) Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.2, p. 91-102

US Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkalisols. USDA Handbook 60, US Government Printing. Office, Washington, DC.

Waterloo Hydrogeologic, 2015 .Aquachen Versión 2014,2 Division of Nova Metrix Ground Monitoring (Canada) Ltd. Trial Version

Waterloo Hydrogeologic, 2015 Visual Modflow Flex Versión.2015.1 64 Bit. Division of Nova Metrix Ground Monitoring (Canada) Ltd. Trial Version

Wilderer, P., 2010. Treatise on wáter science. IWA Publishing. Elsevier.

Winderbaum S. 2012 Temas y Problemas. Ediciones Pido la Palabra Neuquén Pag.96



## **Anexos**

## **Balance Hidrológico diario 2000 – 2010**

**2000**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1	1	2.9			0.0			0.6			0.0			0.1			1.0		
2		3.4			0.0			0.4			0.0			0.1			0.9		
3		2.1			0.0			0.3			0.0			0.1			0.8		
4		1.2			0.0			0.2			0.0			0.1			0.8		
5		0.7			0.0			0.1			0.0			0.1			0.7		
6		0.4			0.0			0.1			0.0	1		0.9			0.6		
7		0.2			0.0			0.1	10		1.4			0.1			0.6		
8		0.1	2		2.0			0.0			1.7			0.1	2		0.6		
9		0.1			0.0			0.0			1.4			0.1			0.6		
10		0.0	2		2.0			0.0			1.1			0.0			0.6		
11		0.0			0.0	2		2.0			0.9			0.0			0.5		
12		0.0			0.0			0.0			0.7			0.0	1		0.5		
13		0.0			0.0			0.0			0.6	3		0.8	13		0.5		
14	10	2.9			0.0			0.0			0.4	28	10.4	0.8			1.1		
15	1	2.9			0.0			0.0			0.4	14	13.2	0.8			1.0		
16		2.3			0.0			0.0			0.3	8	7.2	0.8			1.0		
17		1.3			0.0			0.0			0.2			1.5			1.0		
18		0.7			0.0			0.0			0.2			1.5			1.0		
19		0.4			0.0			0.0			0.1	4	0.2	0.7			0.9		
20		0.2			0.0			0.0			0.1			1.5			0.9		
21		0.1			0.0			0.0			0.1			1.4	5		0.5		
22		0.1			0.0			0.0			0.1			1.4			1.0		
23		0.0			0.0			0.0			0.1			1.3			1.0		
24		0.0			0.0			0.0			0.1			1.2			1.0		
25		0.0	2		2.0			0.0			0.0			1.2			0.9		
26		0.0	4		2.3			0.0			0.0			1.1	1		0.5		
27	1	1.0	5		2.3			0.0			0.0			1.0			0.9		
28		0.0			1.5			0.0			0.0			0.9			0.9		
29		0.0			1.0			0.0	2		1.0		2	0.7	5		0.5		
30		0.0						0.0			0.2			0.9	1		0.5		
31		0.0						0.0			0.0		3	0.6					
13	0.0	23.0	15	0.0	13.1	2	0.0	3.9	12	0.0	11.1	63	31.0	21.8	28	0.0	23.4		
Reserva:	0.0		Reserva:	1.9		Reserva:	0.0		Reserva:	0.9		Reserva:	11.1		Reserva:	15.7			
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		1.0			0.3			1.2	13		1.4			0.0			0.0		
2		1.0			0.3			1.0	42	34.4	1.4	1		1.0			0.0		
3		1.0			0.3			0.9	3	1.6	1.4			0.0			0.0		
4		0.9			0.2			0.8			2.8			0.0			0.0		
5	1	0.5	5		0.7			0.7			2.7			0.0			0.0		
6	17	9.3	10		0.7			0.6			2.5	3		2.1			0.0		
7	3	2.5			1.3	2		1.0			2.2			0.3			0.0		
8	3	2.5			1.3	8		1.0			1.8			0.2			0.0		
9	1	0.5			1.2	11	2.2	1.0			1.5			0.1			0.0		
10	1	0.5			1.2			2.1			1.2			0.1			0.0		
11		1.1			1.1			2.0			0.9			0.1			0.0		
12		1.1			1.0			2.0			0.7			0.0			0.0		
13		1.1			0.9	1		1.1			0.6			0.0			0.0		
14		1.0			0.8	4		1.1			0.4			0.0			0.0		
15		1.0	1		0.8			2.1	5		1.6			0.0			0.0		
16		1.0	1		0.8			2.0			1.2			0.0			0.0		
17		1.0			0.8			1.8			0.9			0.0			0.0		
18		0.9			0.8			1.6			0.7			0.0			0.0		
19		0.9			0.7	1		1.2			0.5			0.0			0.0		
20		0.8			0.6			1.4			0.4			0.0			0.0		
21		0.8	2		0.8			1.2			0.3			0.0			0.0		
22		0.8	14		0.8			1.0			0.2			0.0			0.0		
23		0.7	21	19.8	0.8			0.9			0.2			0.0			0.0		
24		0.7			1.7			0.7			0.1			0.0			0.0		
25		0.6			1.7			0.6			0.1			0.0			0.0		
26		0.6			1.7			0.5			0.1			0.0			0.0		
27		0.5			1.6			0.4			0.0			0.0			0.0		
28		0.5			1.5			0.3			0.0			0.0			0.0		
29		0.4	1		0.9			0.2			0.0			0.0			0.0		
30		0.4			1.4			0.2			0.0			0.0			0.0		
31		0.4			1.3			0.0			0.0			0.0			0.0		
26	15.1	23.4	55	19.8	30.0	27	2.2	32.5	63	36.0	27.7	4	0.0	4.0	0	0.0	0.0		
Reserva:	3.2		Reserva:	8.4		Reserva:	0.7		Reserva:	0.0		Reserva:	0.0		Reserva:	0.0			
<b>TOTALES ANUALES</b>			Precipitación Anual: 308 100.0 %			Exceso Anual: 104.1 33.8 %													
			Evapotranspiración Real Anual: 213.9			69.4 %													

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
 Estación de Evapotranspiración: Neuquen

**Balance Hidrológico Diario**

**2001**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.0			0.1			0.0			0.1			1.7			0.6		
2		0.0			0.0			0.0			0.1			1.6			0.5		
3		0.0			0.0			0.0			0.1			1.4			0.5		
4		0.0			0.0			0.0			0.0			1.2			0.4		
5		0.0			0.0			0.0			0.0			1.0			0.4		
6		0.0			0.0			0.0			0.0			0.9			0.3		
7		0.0			0.0			0.0			0.0			0.8			0.3		
8		0.0			0.0			0.0			0.0		1	0.9			0.3		
9		0.0			0.0			0.0			0.0		8	0.9			0.2		
10		0.0			0.0			0.0			0.0		8	0.0	0.9	1	0.6		
11		0.0			0.0	1		1.0			0.0		1	0.1	0.8		0.3		
12		0.0			0.0			0.0			0.0			1.7		3	0.6		
13		0.0			0.0			0.0	1		1.0			1.6		2	0.5		
14		0.0			0.0			0.0			0.0		10	5.9	0.8		0.5		
15		0.0			0.0			0.0			0.0		10	9.2	0.8		0.5		
16		0.0			0.0			0.0			0.0		1	0.2	0.8		0.4		
17		0.0			0.0			0.0	3		1.2				1.5		0.4		
18		0.0			0.0			0.0			0.3				1.5		0.4		
19		0.0			0.0			0.0	2		1.2				1.4		0.4		
20		0.0			0.0	9		1.8			0.4				1.4		0.3		
21		0.0			0.0	3		1.8			0.3		1		0.7		0.3		
22		0.0			0.0			2.2			0.3				1.3		0.3		
23		0.0			0.0			1.6			0.2				1.2		0.3		
24		0.0			0.0			1.2			0.2				1.1		0.2		
25		0.0			0.0			0.9			0.1		2		0.7		0.2		
26		0.0			0.0			0.7			0.1				1.1		0.2		
27		0.0			0.0			0.5			0.1				1.0		0.2		
28		0.0			0.0			0.4			0.1				0.9		0.2		
29		0.0			0.0			0.3		14	1.0				0.8		0.2		
30	3	2.8			0.2			0.2		1	1.0				0.7		0.1		
31		0.1			0.1			0.1			0.7				0.7				
3 0.0 2.9			0 0.0 0.1			13 0.0 12.6			21 0.0 8.1			42 15.4 33.8			6 0.0 10.6				
Reserva: 0.1			Reserva: 0.0			Reserva: 0.4			Reserva: 13.4			Reserva: 6.1			Reserva: 1.5				
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1	2	0.5			1.3			0.1			2.7			0.0			0.0		
2		0.2			1.2			0.1			2.6			0.0			0.0		
3		0.2			0.7			0.1			2.4			0.0			0.0		
4		0.2	4		0.7			0.1			2.1			0.0			0.0		
5		0.2	4	1.5	0.7			0.1			2.1			0.0			0.0		
6		0.2			1.4	1		1.0	3		1.4			0.0			0.0		
7		0.2			1.4			0.1			2.1			0.0			0.0		
8		0.1			1.3			0.0			1.8			0.0			0.0		
9		0.1			1.3			0.0			1.4		19	2.1			0.0		
10		0.1			1.2			0.0			1.2		13	9.9	2.1		0.0		
11		0.1			1.1			0.0			0.9			4.2			0.0		
12	2	0.5			1.1			0.0			0.7			3.8			0.0		
13	1	0.5			1.0			0.0			0.6		1	2.2			0.0		
14		0.3			0.9			0.0			0.4			2.8			0.0		
15	3	0.5			0.8			0.0			0.3			2.0			0.0		
16	4	0.6			0.8			0.0			0.2			1.4			0.0		
17		0.7			0.7			0.0			0.2			0.9			0.0		
18	6	0.6			0.6			0.0			0.1			0.6			0.0		
19		1.0			0.6			0.0			0.1			0.4			0.0		
20	15	7.5			0.6			0.0			0.1			0.3			0.0		
21		1.2			0.5			0.0			0.1			0.2			0.0		
22		1.2			0.4			0.0			0.1			0.1			0.0		
23	4	1.1	0.6		0.4			0.0			0.0			0.1			0.0		
24	1	0.4	0.6		0.3	4		1.2			0.0			0.0			0.0		
25		1.2			0.3			0.4			0.0			0.0			0.0		
26		1.2			0.2	22	3.8	1.3			0.0			0.0			0.0		
27		1.2			0.2	1		1.3			0.0			0.0			0.0		
28		1.2			0.2	7	5.4	1.3			0.0			0.0		9	2.8		
29	1	0.6			0.2	23	21.7	1.3			0.0			0.0		2	2.8		
30	2	0.6			0.1	2	0.7	1.3			0.0			0.0		9	2.9		
31	1	0.6			0.1			0.0			0.0			0.0		4	2.9		
42 9.0 17.9			8 1.5 22.4			60 31.6 10.4			3 0.0 21.7			33 9.9 23.1			24 0.0 11.4				
Reserva: 16.6			Reserva: 0.7			Reserva: 18.7			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 12.6				
<b>TOTALES ANUALES</b>																			
Precipitación Anual: 255 100.0 % Exceso Anual: 67.4 26.4 %																			
Evapotranspiración Real Anual: 175.0 68.6 %																			
Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa																			
Estación de Evapotranspiración: Neuquen																			

**Balance Hidrológico Diario**

**2002**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		4.8			0.0			3.0			1.7			0.0			0.8		
2		3.3			0.0			2.1			1.3			0.0			0.7		
3		2.0			0.0			1.4			1.0			0.0			0.6		
4		1.1			0.0			1.0			0.8			0.0			0.6		
5		0.6			0.0			0.6	3		1.4			0.0			0.5		
6		0.3			0.0			0.4			0.9			0.0			0.5		
7		0.2			0.0			0.3			0.7			0.0			0.4		
8		0.1			0.0			0.2			0.6			0.0	4		0.6		
9		0.1			0.0			0.1			0.4			0.0			0.6		
10		0.0			0.0			0.1			0.3			0.0			0.6		
11		0.0			0.0			0.1			0.3			0.0			0.5		
12		0.0			0.0			0.0			0.2			0.0			0.5		
13		0.0			0.0			0.0			0.2	2		0.8			0.4		
14		0.0			0.0			0.0			0.1	4		0.8			0.4		
15		0.0			0.0			0.0			0.1	11		0.8			0.4		
16		0.0			0.0			0.0			0.1	4		0.8			0.3		
17		0.0	3		2.5	5		1.9			0.1			1.5			0.3		
18		0.0			0.2	21	4.2	1.8			0.0			1.5			0.3		
19		0.0			0.1			3.6			0.0			1.4			0.3		
20		0.0			0.1			3.3			0.0			1.3			0.2		
21		0.0			0.0			2.8			0.0			1.2			0.2		
22		0.0			0.0			2.2			0.0			1.1			0.2		
23	3		2.8		0.0			1.7	1		1.0			1.0			0.2		
24		0.1			0.0			1.2			0.0	2		0.7			0.2		
25		0.0			0.0			0.9			0.0	5		0.7			0.2		
26		0.0			2.3			0.7			0.0			1.3			0.1		
27		0.0	25	5.0	4.5	39	20.9	1.6			0.0			1.2			0.1		
28		0.0			3.9			3.2			0.0			1.1			0.1		
29		0.0						3.0			0.0			1.0			0.1		
30		0.0						2.6			0.0			0.9			0.1		
31		0.0						2.1			0.0			0.8					
3 0.0 15.6			28 5.0 13.6			65 25.1 41.8			4 0.0 11.4			28 0.0 20.0			4 0.0 11.0				
Reserva: 0.0			Reserva: 9.4			Reserva: 7.5			Reserva: 0.0			Reserva: 8.0			Reserva: 1.1				
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1	4				0.0			0.1			0.0			0.2			0.0		
2		0.4			0.0			0.1			0.0			0.1			0.0		
3		0.3			0.0			0.1			0.0			0.1	3		2.6		
4		0.3			0.0			0.1			0.0			0.1			0.2		
5		0.3			0.7			0.1			0.0			0.0			0.1		
6		0.3	1		0.7			0.0			0.0			0.0			0.1		
7		0.2	4		0.4			0.0			0.0			0.0	1		1.0		
8		0.2			0.4			0.0			0.0	1		1.0			0.0		
9		0.2			0.3	1		1.0			0.0	2		2.0			0.0		
10		0.2			0.3			0.0			0.0			0.0			0.0		
11		0.2			0.3			0.0			0.0			0.0			0.0		
12		0.2			0.2			0.0			0.0			0.0			0.0		
13		0.1			0.2			0.0	4		1.6			0.0			0.0		
14		0.1			0.2	1		1.1	7		1.6			0.0			0.0		
15		0.1			0.2	2		1.1			1.8			0.0			2.8		
16		0.1			0.2	1		1.1			1.5			0.0	3		0.1		
17		0.1			0.1			0.1			1.1			0.0			0.1		
18		0.1			0.1			0.1			0.9			0.0			0.0		
19		0.1			0.1			0.1	24	6.5	1.7			0.0			0.0		
20		0.1			0.1			0.1	3	1.3	1.7			0.0			0.0		
21		0.1			0.1			0.1			3.4			0.0			0.0		
22		0.1			0.1			0.1			3.2			0.0			0.0		
23		0.1			0.1			0.0			2.8			0.0			0.0		
24		0.1	1		0.8			0.0			2.3			0.0			0.0		
25		0.1	2		0.9			0.0			1.8			0.0			0.0		
26		0.0			0.2			0.0			1.3			0.0			0.0		
27		0.0			0.2			0.0			1.0			0.0			0.0		
28		0.0			0.2			0.0			0.7			0.0			0.0		
29		0.0			0.2			0.0			0.5			0.0			0.0		
30		0.0			0.1			0.0			0.4	1		1.0			2.9		
31		0.0			0.1			0.0			0.3			0.0	10		3.0		
4 0.0 4.8			8 0.0 7.6			5 0.0 5.7			38 7.8 29.6			4 0.0 4.6			17 0.0 12.9				
Reserva: 0.3			Reserva: 0.7			Reserva: 0.0			Reserva: 0.6			Reserva: 0.0			Reserva: 4.1				
<b>TOTALES ANUALES</b>										Precipitación Anual: 208 100.0 %		Exceso Anual: 37.9 18.2 %							
										Evapotranspiración Real Anual: 178.6		85.9 %							

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
 Estación de Evapotranspiración: Neuquen



**Balance Hidrológico Diario**

**2003**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1	24	8.1	2.9			0.0			0.0			1	1.5			0.0			0.1
2			5.6			0.0			0.0			2.5			0.0				0.1
3			4.5			0.0			0.0			2.1			0.0				0.1
4			3.0			0.0			0.0			1.7			0.0				0.1
5			1.8			0.0			0.0			1.4			0.0			1	0.6
6			1.0			0.0			0.0			1.1			0.0				0.1
7			0.6			0.0			0.0			0.8			0.0				0.1
8			0.3			0.0			0.0			0.6			0.0			1	0.6
9			0.2			0.0			0.0			0.5			0.0			2	0.6
10			0.1			0.0			0.0			0.4			0.0				0.3
11			0.0			0.0			0.0			0.3			0.0				0.2
12			0.0			0.0			0.0			0.2			0.0				0.2
13			0.0			0.0			0.0			0.2		3	0.8				0.2
14			0.0			0.0			0.0			0.1			0.3			1	0.5
15			0.0			0.0			0.0			0.1			0.2				0.2
16			0.0			0.0			0.0			0.1			0.2				0.2
17			0.0			0.0			0.0			0.1			0.2				0.2
18			0.0			0.0			0.0			0.1			0.2				0.2
19			0.0			0.0			0.0			0.0			0.1				0.1
20			0.0			0.0			0.0			0.0		4	0.7				0.1
21			0.0			0.0			0.0			0.0		1	0.7			2	0.5
22			0.0			0.0			0.0			0.0			0.5				0.2
23			0.0			0.0		14	1.7			0.0			0.4				0.2
24			0.0			0.0			2.8			0.0			0.4				0.2
25			0.0			0.0			2.3			0.0			0.3				0.2
26			0.0			0.0		8	1.7			0.0			0.3				0.2
27			0.0			0.0			2.9			0.0			0.3				0.2
28			0.0			0.0			2.4			0.0			0.2				0.1
29			0.0			0.0			1.9			0.0			0.2				0.1
30			0.0			0.0			1.5			0.0			0.2				0.1
31			0.0			0.0		10	1.6			0.0			0.2				0.1
Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 13.2			Reserva: 0.0			Reserva: 1.4			Reserva: 1.3				
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1																			0.0
2																			0.0
3																			0.0
4																		1	1.0
5																			0.0
6																			0.0
7																			0.0
8																			0.0
9																			0.0
10																			0.0
11																			0.0
12																			0.0
13																			0.0
14																			0.0
15																			0.0
16																			0.0
17	10		0.6																0.0
18	2		0.6																0.0
19			0.9																0.0
20			0.8																0.0
21			0.8																0.0
22			0.7																0.0
23			0.7																0.0
24			0.7			1	0.8												0.0
25			0.6				0.1												0.0
26			0.6				0.0												0.0
27	1		0.6				0.0												0.0
28			0.6				0.0												0.0
29			0.5				0.0												0.0
30			0.5				0.0												0.0
31			0.4				0.0												0.0
Reserva: 3.8			Reserva: 0.1			Reserva: 0.1			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0				
<b>TOTALES ANUALES</b>										Precipitación Anual: 108 100.0 %		Exceso Anual: 8.1 7.5 %							
										Evapotranspiración Real Anual: 104.0		96.3 %							

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
 Estación de Evapotranspiración: Neuquen

**Balance Hidrológico Diario**

**2004**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.0		3.1			4.1			0.8		1	1.0			0.1			
2	1	1.0	4	2.7			3.3			0.6		2	1.0			0.1			
3		0.0		2.4			2.5			0.5			1.0			0.1			
4		0.0		1.5			1.7		28	9.6	1.4		0.8			0.1			
5		0.0		0.9			1.2			2.8			0.7			0.1			
6		0.0		0.5			0.8			2.7			0.6			0.1			
7		0.0	40	20.7			2.7		3	1.4			0.5			0.1			
8		0.0		5.2			0.4			2.5			0.4	11		0.6			
9		0.0		4.3		1	1.1			2.2			0.4			0.9			
10		0.0		3.0		1	1.1			1.9			0.3			0.8			
11		0.0		1.9			0.2		11	1.3			0.3			0.7			
12		0.0		1.2			0.1			2.5			0.2			0.7			
13		0.0		0.7		22	2.3			2.3			0.2			0.6			
14		0.0		0.4			3.8			2.1			0.2			0.6			
15		0.0		0.2			3.4			1.8			0.1			0.5			
16		0.0		0.1			2.8			1.6		2	0.8			0.5			
17		0.0		0.1			2.2			1.3		2	0.8			0.5			
18		0.0		0.1			1.6			1.1		1	0.8		5	0.5			
19		0.0		0.0			1.2		1	1.2			0.4			0.7			
20		0.0		0.0			0.9		1	1.1		1	0.7			0.7			
21		0.0		0.0			0.6			0.8			0.4			0.6			
22		0.0		0.0			0.4		22	5.9	1.1		0.4			0.6			
23		0.0		0.0			0.3			2.2			0.3			0.6			
24		0.0		0.0			0.2			2.1			0.3			0.5			
25		0.0		0.0			0.2			2.0			0.2			0.5			
26		0.0		0.0			0.1			1.8			0.2			0.4			
27		0.0	5	2.3			0.1			1.6			0.2			0.4			
28		0.0	8	2.2		3	1.6			1.4			0.2			0.4			
29		0.0	9	2.2			0.4			1.2			0.1			0.3			
30	15	2.8				5	1.6			1.0			0.1			0.3			
31		4.5					1.1						0.1						
16 0.0 8.3			66 20.7 37.8			32 2.3 41.4			66 15.6 48.3			9 0.0 13.7			16 0.0 13.5				
Reserva: 7.7			Reserva: 15.2			Reserva: 3.6			Reserva: 5.7			Reserva: 1.0			Reserva: 3.5				
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.3		1.2			0.0			0.0			0.0			0.0			
2		0.3		1.1			0.0			0.0			0.0			0.0			
3		0.2		1.1			0.0			0.0			0.0			0.0			
4		0.2		1.0			0.0			0.0			0.0			0.0			
5		0.2		1.0			0.0			0.0			0.0			0.0			
6		0.2		0.9			0.0			0.0			0.0	2		2.0			
7		0.2		0.8		1	1.0			0.0			0.0			0.0			
8	4	0.5		0.8			0.0		4	1.5			0.0			0.0			
9		0.4		0.7			0.0		18	0.5	1.5		0.0			0.0			
10		0.4		0.6			0.0		1	1.5			0.0			0.0			
11		0.4		0.6			0.0		1	1.5			0.0			0.0			
12		0.3		0.5			0.0		3	0.4	1.6	7	2.2			0.0			
13		0.3		0.5			0.0			3.1			1.6			0.0			
14	1	0.5		0.4			0.0			3.0		1	2.2			0.0			
15		0.3		0.4			0.0			2.7			0.7			0.0			
16		0.3		0.3			0.0		1	1.6			0.4			0.0			
17		0.3		0.3			0.0			2.2			0.3			0.0			
18		0.3		0.3			0.0			1.7			0.2			0.0			
19		0.2		0.2			0.0			1.3			0.1			0.0			
20		0.2		0.2			0.0			1.0			0.1			0.0			
21		0.2		0.2			0.0			0.8		4	2.4			0.0			
22		0.2		0.2			0.0			0.6		5	2.4			0.0			
23		0.2		0.1			0.0			0.4			1.6			0.0			
24		0.2		0.1			0.0			0.3			1.0			0.0			
25		0.1		0.1			0.0			0.2			0.7			0.0			
26	23	4.4		0.6			0.0			0.2			0.4			0.0			
27	3	2.4		0.6			0.0			0.1			0.3			0.0			
28		1.3		0.1			0.0			0.1			0.2			0.0			
29		1.3		0.1			0.0			0.1			0.1			0.0			
30		1.3		0.1			0.0			0.0			0.1			0.0			
31		1.2		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			
31 6.7 13.4			0 0.0 14.1			1 0.0 1.3			28 0.9 27.0			17 0.0 17.0			2 0.0 2.1				
Reserva: 14.3			Reserva: 0.3			Reserva: 0.0			Reserva: 0.1			Reserva: 0.1			Reserva: 0.0				
<b>TOTALES ANUALES</b>										Precipitación Anual: 284 100.0 %		Exceso Anual: 46.1 16.2 %		Evapotranspiración Real Anual: 237.9 83.8 %					

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
Estación de Evapotranspiración: Neuquen

**Balance Hidrológico Diario**

**2005**

Area De Estudio: Neuquen												Estación:					
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.
1	7	2.9			2.3			0.0			0.0			0.0			0.2
2		1.8			1.4			0.0			0.0			0.0			0.1
3		1.0			0.8			0.0			0.0	1		1.0			0.1
4		0.6			0.5			0.0			0.0			0.0			0.1
5		0.3			0.3			0.0			0.0			0.0			0.1
6		0.2	2		2.1			0.0			0.0			0.0	11		0.6
7		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.9
8		0.1			0.1			0.0			0.0	2		0.9			0.9
9		0.0			0.0			0.0			0.0			0.2	1		0.6
10		0.0			0.0			0.0			0.0			0.1			0.8
11		0.0			0.0			0.0			0.0			0.1			0.7
12		0.0			0.0			0.0			0.0	1		0.8			0.7
13		0.0			0.0			0.0			0.0			0.1			0.6
14		0.0			0.0			0.0			0.0			0.1			0.6
15		0.0			0.0			0.0			0.0			0.1	16	2.5	0.5
16		0.0			0.0			0.0			0.0			0.1	1	0.5	0.5
17		0.0			0.0			0.0			0.0			0.1	1	0.5	0.5
18		0.0			0.0			0.0			0.0	3		0.8	6	5.5	0.5
19		0.0			0.0			0.0			0.0	1		0.8			1.1
20		0.0			0.0			0.0			0.0			0.3	4	2.4	0.5
21		0.0			0.0			0.0			0.0			0.3	6	5.5	0.5
22		0.0			0.0			0.0			0.0			0.3			1.1
23		0.0			0.0			0.0			0.0			0.2			1.1
24		0.0			0.0			0.0			0.0			0.2			1.1
25		0.0			0.0			0.0			0.0			0.2			1.0
26	1	1.0			0.0			0.0			0.0			0.2			1.0
27		0.0			0.0			0.0			0.0	2		0.7			1.0
28		0.0			0.0			0.0			0.0			0.3	9	2.3	0.5
29		0.0			0.0			0.0			0.0			0.2			1.1
30	12	2.8			0.0			0.0			0.0			0.2			1.1
31		3.6			0.0			0.0			0.0			0.2			1.1
20 0.0 14.4			2 0.0 7.6			0 0.0 0.0			0 0.0 0.0			10 0.0 8.3			55 19.1 20.3		
Reserva: 5.6			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 1.7			Reserva: 17.3		
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.
1		1.1			0.1			0.8			0.0			1.0	8		2.5
2		1.0	3		0.7			0.7	17		1.4			0.7	5		2.5
3		1.0			0.3			0.6	9	4.7	1.4			0.5			3.0
4		1.0			0.3			0.5			2.8			0.3			2.0
5		0.9			0.3	1		1.0			2.7			0.2			1.2
6		0.9			0.3			0.5			2.5			0.2	2		2.6
7		0.8			0.2			0.4			2.2			0.1	1		1.2
8		0.8			0.2	3		1.0			1.8			0.1			0.4
9		0.8			0.2			0.7			1.5			0.1			0.2
10		0.7	2		0.7			0.6			1.2			0.0			0.1
11		0.7	1		0.7			0.5			0.9			0.0			0.1
12		0.6	10		0.7			0.4			0.7			0.0	20	0.1	2.7
13		0.6			1.2			0.3			0.6	10		2.2	15	12.3	2.7
14		0.5			1.1			0.3			0.4			2.6			5.4
15		0.5			1.1			0.2			0.3			1.8			4.5
16		0.5			1.0			0.2			0.2			1.2			3.1
17		0.4			0.9			0.2			0.2			0.8			1.9
18		0.4			0.8			0.1			0.1			0.5			1.1
19		0.4			0.7			0.1			0.1			0.3			0.6
20		0.3			0.7			0.1			0.1			0.2			0.3
21		0.3			0.6			0.1			0.1			0.1			0.2
22		0.3			0.5			0.1			0.1	1		1.0			0.1
23		0.3			0.5			0.1			0.0			0.1			0.1
24		0.2			0.4			0.0			0.0			0.0			0.0
25		0.2			0.4			0.0			0.0			0.0			0.0
26		0.2	10		0.9			0.0			0.0			0.0	4		2.8
27		0.2			1.4			0.0	2		1.8			0.0			0.5
28		0.2			1.3			0.0	8		1.9			0.0			0.3
29		0.2			1.2			0.0	2		1.9			0.0			0.2
30		0.1			1.0			0.0			1.8			0.0			0.1
31		0.1			0.9			1.4			1.4			0.0			0.1
0 0.0 16.2			26 0.0 21.3			4 0.0 9.8			38 4.7 30.2			11 0.0 14.2			55 12.4 42.6		
Reserva: 1.1			Reserva: 5.8			Reserva: 0.0			Reserva: 3.2			Reserva: 0.0			Reserva: 0.1		
<b>TOTALES ANUALES</b>												Precipitación Anual: 221 100.0 %			Exceso Anual: 36.1 16.3 %		
												Evapotranspiración Real Anual: 184.8			83.6 %		

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
 Estación de Evapotranspiración: Neuquen

**Balance Hidrológico Diario**

**2006**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.0			0.0			0.6			0.0			0.0			0.8		
2		0.0			0.0			0.4			0.0			0.0			0.7		
3		0.0			0.0			0.2			0.0			0.0			0.6		
4		0.0			0.0			0.2			0.0		1	1.0	4		0.6		
5		0.0			0.0			0.1			0.0			0.0	4		0.6		
6		0.0			0.0			0.1			0.0			0.0			1.0		
7		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.9		
8		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.9		
9		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.8		
10		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.7		
11		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.7		
12		0.0			0.0			0.0	1	1.0	0.0			0.0			0.6		
13		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.6		
14		0.0	3	2.6	0.0			0.0			0.0			0.0	9		0.5		
15		0.0			0.2			0.0			0.0			0.0			1.0		
16		0.0			0.1			0.0			0.0			0.0			0.9		
17		0.0			0.1			0.0			0.0			0.0			0.9		
18		0.0	4	2.5	0.0			0.0	3	1.2	0.0			0.0			0.9		
19		0.0			0.6			0.0			0.3			0.0			0.8		
20		0.0			0.4			0.0			0.3			0.0			0.8		
21		0.0			0.2			0.0			0.2			0.0			0.7		
22		0.0	45	25.4	2.4			0.0			0.2			0.0			0.7		
23		0.0			4.6			0.0			0.1			0.0			0.6		
24		0.0			4.0			0.0			0.1		1	0.7	1		0.5		
25		0.0			3.0			0.0			0.1	13		0.7	3		0.5		
26		0.0			2.1			0.0			0.1			1.2			0.8		
27		0.0			1.4			0.0			0.1			1.1			0.7		
28		0.0			0.9			0.0			0.1	1		0.7			0.7		
29		0.0						0.0			0.0			1.0	1		0.5		
30		0.0						0.0			0.0			0.9	2		0.5		
31		0.0						0.0			0.0			0.8			0.5		
0 0.0 0.1			52 25.4 25.0			0 0.0 1.6			4 0.0 3.8			16 0.0 8.3			24 0.0 21.8				
Reserva: 0.0			Reserva: 1.6			Reserva: 0.0			Reserva: 0.2			Reserva: 7.9			Reserva: 10.1				
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1	4	0.5			1.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
2		0.9			1.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
3		0.9			1.0			0.0	19	1.4	0.0			0.0			0.0		
4		0.9			1.0			0.0			2.8			0.0			0.0		
5		0.8			0.9			0.0			2.6			0.0			0.0		
6	1	0.5			0.8			0.0			2.4			0.0			0.0		
7		0.8			0.8	1		1.0			2.0			0.0			0.0		
8		0.8			0.7			0.0			1.7			0.0			0.0		
9		0.7			0.6			0.0			1.4			0.0			0.0		
10		0.7			0.6			0.0			1.1			0.0			0.0		
11	12	0.5			0.5			0.0			0.9			0.0			0.0		
12		1.1			1.1			0.0			0.7			0.0			0.0		
13		1.1			0.4			0.0	11	1.6	0.0			0.0			0.0		
14		1.1			0.4			0.0			2.5			0.0			0.0		
15		1.0			0.3			0.0			2.1			0.0			0.0		
16		1.0			0.3			0.0			1.7			0.0			0.0		
17		1.0			0.3			0.0			1.3			0.0			0.0		
18		1.0			0.2			0.0			1.0			0.0			0.0		
19		0.9			0.2			0.0			0.8			0.0			0.0		
20		0.9			0.2			0.0			0.6			0.0			0.0		
21		0.8			0.2			0.0			0.4			0.0			0.0		
22		0.8			0.2			0.0			0.3			0.0			0.0		
23		0.7			0.1			0.0			0.2			0.0			0.0		
24		0.7			0.1			0.0			0.2			0.0			0.0		
25	14	1.0	0.6		0.1			0.0			0.1			0.0			0.0		
26	10	9.4	0.6		0.1			0.0			0.1	2		2.0			0.0		
27		1.2			0.1			0.0			0.1			0.0			0.0		
28		1.2			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
29		1.2			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
30		1.2			0.1	1		1.0			0.0			0.0			0.0		
31		1.2			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
41 10.4 27.5			0 0.0 13.0			2 0.0 2.3			30 0.0 30.0			2 0.0 2.0			0 0.0 0.0				
Reserva: 13.3			Reserva: 0.3			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0				
<b>TOTALES ANUALES</b>										Precipitación Anual: 171 100.0 %		Exceso Anual: 35.7 20.9 %							
										Evapotranspiración Real Anual: 135.3		79.1 %							

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
 Estación de Evapotranspiración: Neuquen

**Balance Hidrológico Diario**

**2007**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
2		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
3		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
4		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
5		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
6		0.0			0.0	5	2.1	0.0			0.0			0.0			0.0		
7	14	2.9			0.0	1	2.1	0.0			0.0			0.0			0.0		
8		4.4			0.0		0.6	0.0			0.0			0.0			0.0		
9		2.9			0.0		0.4	0.0			0.0			0.0			0.0		
10		1.7			0.0		0.3	0.0	2	1.3				0.0			0.0		
11		0.9	11		2.6		0.2	0.0			0.1			0.0			0.0		
12		0.5			3.2		0.1	0.0			0.1			0.0	6		0.6		
13		0.3			2.1		0.1	0.0			0.1			0.0	3		0.5		
14		0.2			1.3		0.1	0.0			0.1			0.0			0.6		
15		0.1			0.8		0.0	0.0			0.1			0.0			0.6		
16		0.0			0.5		0.0	0.0			0.0			0.0			0.5		
17		0.0			0.3		0.0	0.0			0.0			0.0			0.5		
18		0.0			0.2		0.0	0.0			0.0			0.0			0.5		
19		0.0			0.1		0.0	0.0			0.0			0.0			0.4		
20		0.0			0.1		0.0	0.0			0.0			0.0			0.4		
21		0.0	1		1.0	1	1.0	0.0			0.0			0.0			0.4		
22		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.3		
23		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.3		
24		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.3		
25		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.3		
26		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.2		
27		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.2		
28		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.2		
29		0.0			0.0	1	1.0	0.0			0.0			0.0			0.2		
30		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.2		
31		0.0			0.0		0.0	0.0			0.0			0.0			0.0		
14	0.0	14.0	12	0.0	12.0	8	0.0	8.0	2	0.0	2.0	0	0.0	0.0	9	0.0	7.2		
Reserva:	0.0		Reserva:	0.0		Reserva:	0.0		Reserva:	0.0		Reserva:	0.0		Reserva:	1.8			
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.2			0.7			0.0			0.4			0.0			0.0		
2		0.1			0.7			0.0			0.3			0.0			0.0		
3		0.1			0.6			0.0			0.3			0.0			0.0		
4		0.1			0.6			0.0			0.2			0.0			0.0		
5		0.1			0.5			0.0			0.2			0.0			0.0		
6		0.1			0.5			0.0			0.1			0.0			0.0		
7		0.1	3		0.7			0.0			0.1			0.0			0.0		
8		0.1			0.7			0.0			0.1			0.0			0.0		
9		0.1			0.6			0.0			0.1	2		2.0			0.0		
10		0.1			0.5			0.0			0.0			0.0			0.0		
11		0.1			0.5			0.0			0.0			0.0			0.0		
12		0.1			0.4	13		1.1			0.0			0.0			0.0		
13		0.1			0.4	20	12.0	1.1			0.0			0.0			0.0		
14		0.0			0.4	3	1.9	1.1			0.0			0.0			0.0		
15		0.0			0.3			2.2			0.0			0.0			0.0		
16	1	0.6			0.3	6	2.8	1.1			0.0			0.0			0.0		
17		0.1			0.3	2	0.9	1.1			0.0			0.0			0.0		
18		0.1			0.2			2.3			0.0			0.0			0.0		
19		0.1			0.2	2		1.2			0.0			0.0			0.0		
20		0.1			0.2			2.3			0.0			0.0			0.0		
21		0.1			0.2			2.2			0.0			0.0			0.0		
22	1	0.6			0.1			2.0			0.0			0.0			0.0		
23	3	0.6			0.1			1.8			0.0			0.0			0.0		
24		0.3			0.1			1.6			0.0			0.0			0.0		
25		0.3			0.1			1.4			0.0			0.0			0.0		
26		0.3			0.1			1.2			0.0			0.0			0.0		
27		0.2			0.1			1.0			0.0			0.0			0.0		
28		0.2			0.1			0.8			0.0			0.0	1		1.0		
29		0.2			0.1			0.6			0.0			0.0			0.0		
30	6	0.6			0.1			0.5			0.0			0.0			0.0		
31	1	0.6			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
12	0.0	6.3	3	0.0	10.3	46	17.6	26.7	0	0.0	2.0	2	0.0	2.0	1	0.0	1.0		
Reserva:	7.5		Reserva:	0.3		Reserva:	2.0		Reserva:	0.0		Reserva:	0.0		Reserva:	0.0			
<b>TOTALES ANUALES</b>																			
Precipitación Anual: 109 100.0 %						Exceso Anual: 17.6 16.1 %													
Evapotranspiración Real Anual: 91.4 83.9 %																			

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
Estación de Evapotranspiración: Neuquen

**Balance Hidrológico Diario**

**2008**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.0			0.2	1		1.0			0.0			0.0			1.1		
2		0.0			0.1			0.0			0.0			0.0			1.0		
3		0.0			0.1			0.0			0.0			0.0			0.9		
4		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.9		
5		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.8		
6		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.7		
7		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.7		
8		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.6		
9		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.5		
10		0.0			0.0			0.0	15		1.3			0.0			0.5		
11		0.0			0.0			0.0			2.3			0.0			0.4		
12		0.0			0.0			0.0			2.0			0.0			0.4		
13		0.0			0.0			0.0			1.7			0.0			0.4		
14		0.0			0.0			0.0			1.4			0.0			0.3		
15		0.0			0.0			0.0			1.2			0.0			0.3		
16		0.0			0.0			0.0			0.9			0.0			0.3		
17		0.0			0.0			0.0			0.8			0.0			0.3		
18		0.0			0.0			0.0			0.6	3		0.8	3		0.5		
19		0.0			0.0			0.0			0.5	19	1.3	0.7	10		0.5		
20		0.0			0.0			0.0			0.4	9	8.3	0.7			1.0		
21		0.0			0.0			0.0			0.3	1	0.3	0.7			0.9		
22		0.0			0.0			0.0			0.3	18	17.3	0.7			0.9		
23	2	2.0			0.0			0.0			0.2			1.4			0.9		
24		0.0			0.0			0.0			0.2			1.4			0.8		
25	14	2.8			0.0			0.0			0.1			1.3			0.8		
26		4.3			0.0			0.0			0.1	13	8.1	0.7			0.7		
27		2.9			0.0			0.0			0.1			1.4			0.7		
28		1.7			0.0			0.0			0.1			1.3			0.6		
29		1.0			0.0			0.0			0.1			1.3			0.6		
30		0.6			0.0			0.0			0.1			1.2			0.6		
31		0.3			0.0			0.0			0.1			1.2			0.6		
16	0.0	15.6	0	0.0	0.4	1	0.0	1.0	15	0.0	14.7	63	35.2	15.2	13	0.0	19.7		
Reserva:		0.4	Reserva:		0.0	Reserva:		0.0	Reserva:		0.3	Reserva:		12.9	Reserva:		6.3		
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.5	5		0.7	4		0.9			0.1			0.0			0.0		
2		0.5			0.8			0.5			0.1			0.0			0.0		
3		0.4			0.7			0.4			0.1			0.0			0.0		
4		0.4			0.7			0.4			0.1			0.0			0.0		
5		0.4			0.6			0.3			0.1			0.0			0.0		
6		0.3			0.6			0.3			0.1			0.0			0.0		
7		0.3			0.5			0.2			0.0			0.0			0.0		
8		0.3			0.5			0.2			0.0			0.0			0.0		
9		0.3			0.4			0.2			0.0			0.0			0.0		
10	1	0.5			0.4			0.1			0.0			0.0	3		2.7		
11		0.3			0.3			0.1			0.0			0.0			0.1		
12		0.3			0.3			0.1			0.0			0.0			0.1		
13		0.2			0.3			0.1			0.0			0.0			0.0		
14		0.2			0.2			0.1			0.0			0.0			0.0		
15		0.2			0.2			0.1			0.0			0.0			0.0		
16		0.2			0.2			0.0			0.0			0.0			0.0		
17		0.2			0.2			0.0			0.0			0.0	2		2.0		
18		0.2			0.2			0.0			0.0			0.0			0.0		
19		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
20		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
21		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
22		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
23		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
24		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
25		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
26		0.1			0.1	3		1.3			0.0			0.0			0.0		
27		0.1			0.0			0.4			0.0			0.0			0.0		
28		0.1			0.0			0.3			0.0			0.0			0.0		
29		0.1			0.0			0.2			0.0			0.0			0.0		
30		0.1			0.0			0.2			0.0			0.0			0.0		
31	4	0.7			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
5	0.0	7.4	5	0.0	8.7	7	0.0	6.5	0	0.0	0.7	0	0.0	0.0	5	0.0	5.0		
Reserva:		3.8	Reserva:		0.2	Reserva:		0.7	Reserva:		0.0	Reserva:		0.0	Reserva:		0.0		
<b>TOTALES ANUALES</b>																			
Precipitación Anual: 130 100.0 % Exceso Anual: 35.2 27.0 %																			
Evapotranspiración Real Anual: 94.9 73.0 %																			

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
 Estación de Evapotranspiración: Neuquen

**Balance Hidrológico Diario**

**2009**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.5		
2		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.5		
3		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.4		
4		0.0	1		1.0			0.0			0.0			0.0			0.4		
5		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.3		
6		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.3		
7		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.3		
8		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.2		
9		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.2		
10		0.0			0.0			0.0			0.0	47	27.0	0.9			0.2		
11		0.0			0.0			0.0			0.0			1.7			0.2		
12		0.0			0.0			0.0			0.0	7	4.4	0.8			0.2		
13		0.0			0.0			0.0			0.0			1.6			0.1		
14		0.0			0.0			0.0			0.0			1.6			0.1		
15		0.0			0.0			0.0			0.0			1.5			0.1		
16		0.0			0.0			0.0			0.0			1.4			0.1		
17		0.0			0.0			0.0			0.0			1.3	2		0.5		
18		0.0			0.0			0.0			0.0			1.2	1		0.5		
19		0.0			0.0			0.0			0.0			1.1			0.3		
20		0.0			0.0			0.0			0.0			1.0			0.2		
21		0.0			0.0			0.0			0.0			0.9			0.2		
22		0.0			0.0			0.0			0.0	7		0.7			0.2		
23		0.0			0.0			0.0			0.0			1.3			0.2		
24		0.0			0.0			0.0			0.0			1.2			0.2		
25		0.0			0.0			0.0			0.0			1.1			0.2		
26		0.0			0.0			0.0			0.0			1.0			0.1		
27		0.0			0.0			0.0			0.0			0.9			0.1		
28		0.0			0.0			0.0			0.0			0.8			0.1		
29		0.0			0.0			0.0			0.0			0.7			0.1		
30		0.0			0.0			0.0			0.0			0.7			0.1		
31		0.0			0.0			0.0			0.0			0.6			0.1		
0 0.0 0.0			1 0.0 1.0			0 0.0 0.0			0 0.0 0.0			61 31.4 24.1			3 0.0 7.3				
Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 5.4			Reserva: 1.1				
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.1			0.3			1.2			0.0	7		1.9			0.2		
2		0.1			0.2			1.1			0.0			1.5			0.1		
3		0.1			0.2			1.0			0.0			1.1			0.1		
4		0.1			0.2	11		1.0			0.0			0.8			0.0		
5		0.1			0.2			1.8			0.0			0.5			0.0		
6	10	0.5			0.2	2		1.0			0.0			0.4			0.0		
7		0.8			0.1			1.8			0.0			0.3	3		2.6		
8		0.7			0.1			1.7			0.0			0.2			0.2		
9		0.7			0.1			1.6			0.0			0.1			0.1		
10		0.6			0.1			1.4			0.0			0.1			0.1		
11		0.6			0.1			1.3			0.0			0.1			0.0		
12		0.6			0.1			1.1			0.0			0.0			0.0		
13		0.5			0.1			1.0			0.0			0.0			0.0		
14		0.5			0.1			0.8			0.0			0.0			0.0		
15		0.4			0.1			0.7			0.0			0.0			0.0		
16		0.4			0.1			0.6			0.0			0.0			0.0		
17		0.4			0.0			0.5			0.0			0.0			0.0		
18		0.3			0.0			0.4			0.0			0.0			0.0		
19	5	0.6	18		0.8			0.4			0.0			0.0			0.0		
20		0.7			1.6			0.3			0.0			0.0			0.0		
21		0.6			1.5			0.2			0.0			0.0			0.0		
22		0.6			1.5			0.2			0.0	2		2.0			0.0		
23		0.6	1		0.8			0.2			0.0	16		2.4			0.0		
24		0.5			1.4			0.1			0.0			4.2			0.0		
25		0.5			1.4			0.1			0.0			3.3			0.0		
26		0.4			1.2			0.1			0.0			2.3			0.0		
27		0.4			1.1			0.1			0.0			1.5			0.0		
28		0.4			1.0			0.1			0.0			0.9			0.0		
29		0.3			0.9			0.0			0.0			0.6			0.0		
30		0.3			0.8			0.0			0.0			0.4			0.0		
31		0.3			0.9			0.0			0.0			0.0			0.0		
15 0.0 13.6			24 0.0 17.2			13 0.0 22.1			0 0.0 0.1			25 0.0 24.4			3 0.0 3.6				
Reserva: 2.5			Reserva: 9.2			Reserva: 0.1			Reserva: 0.0			Reserva: 0.6			Reserva: 0.0				
<b>TOTALES ANUALES</b>										Precipitación Anual: 145 100.0 %		Exceso Anual: 31.4 21.7 %							
										Evapotranspiración Real Anual: 113.6		78.3 %							

Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
 Estación de Evapotranspiración: Neuquen

**Balance Hidrológico Diario**

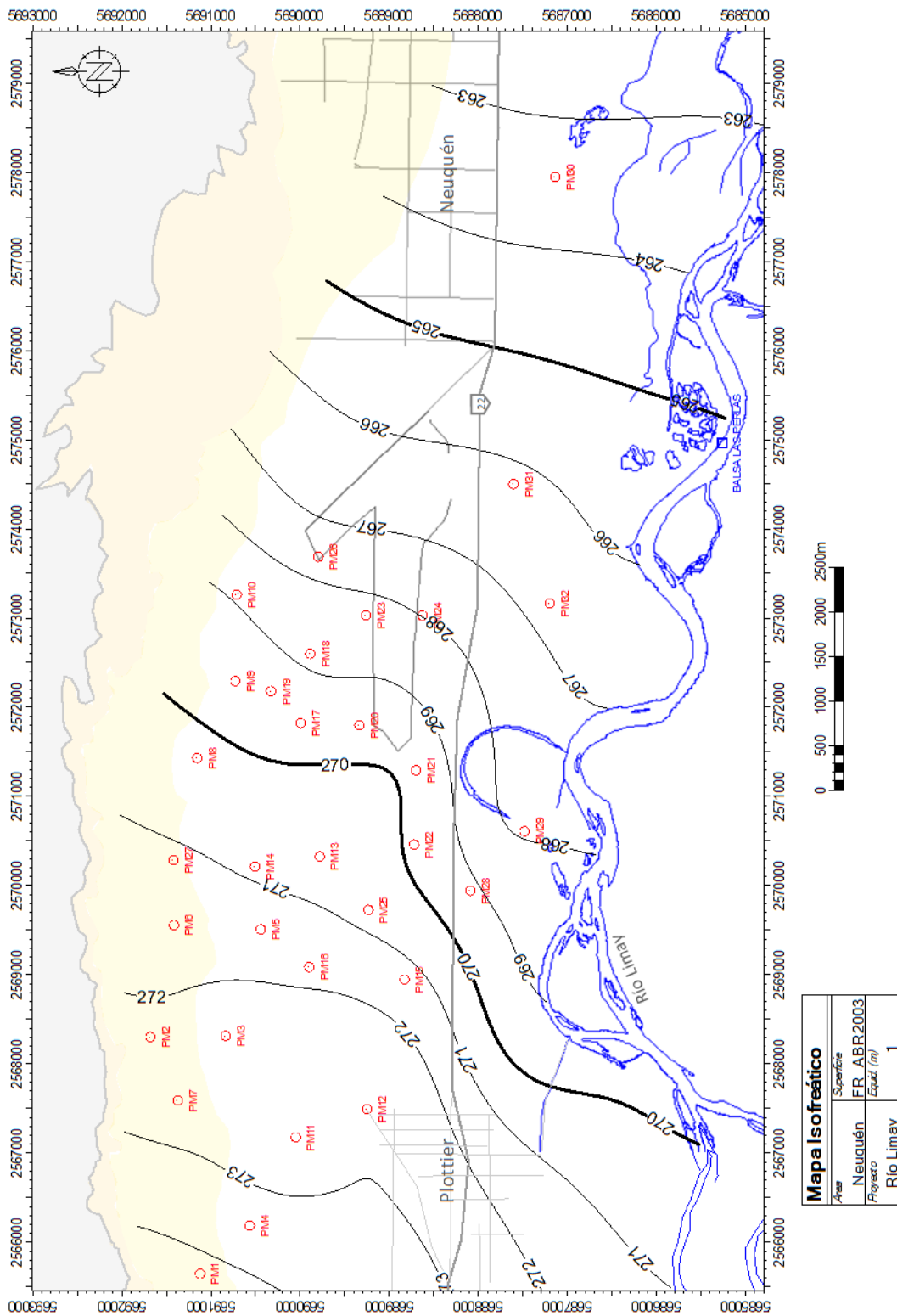
**2010**

Area De Estudio: Neuquen										Estación:									
ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			1.2		
2		0.0			0.0	11		2.2			0.0			0.0			1.1		
3		0.0			0.0			2.8			0.0			0.0			1.0		
4		0.0			0.0			2.0			0.0	6		1.0			0.9		
5		0.0			0.0			1.3			0.0			0.7			0.9		
6		0.0			0.0			0.9			0.0			0.6			0.8		
7		0.0			0.0			0.6			0.0			0.5			0.7		
8		0.0			0.0			0.4			0.0			0.4	1		0.6		
9		0.0			0.0			0.3			0.0			0.4			0.7		
10		0.0			0.0			0.2			0.0			0.3			0.6		
11		0.0			0.0			0.1			0.0			0.3			0.6		
12		0.0			0.0			0.1			0.0			0.2			0.5		
13		0.0			0.0			0.1			0.0			0.2			0.5		
14		0.0			0.0			0.0			0.0			0.2			0.4		
15		0.0			0.0			0.0			0.0			0.1			0.4		
16		0.0	9		2.5			0.0			0.0			0.1			0.4		
17		0.0			2.4			0.0			0.0			0.1	12		0.5		
18		0.0			1.5			0.0			0.0			0.1			1.0		
19		0.0			1.0			0.0			0.0			0.1			1.0		
20		0.0			0.6			0.0			0.0			0.1	3		0.5		
21		0.0			0.4			0.0			0.0			0.1			1.0		
22		0.0			0.2			0.0			0.0	1		0.7			1.0		
23		0.0			0.1			0.0			0.0			0.1			1.0		
24		0.0			0.1			0.0			0.0			0.1			0.9		
25		0.0			0.1			0.0			0.0	11		0.7			0.9		
26		0.0			0.0			0.0			0.0	19	9.9	0.7			0.8		
27		0.0			0.0			0.0			0.0	2	1.3	0.7			0.8		
28		0.0			0.0			0.0			0.0			1.4			0.7		
29		0.0			0.0			0.0			0.0			1.3			0.7		
30		0.0			0.0			0.0			0.0			1.3			0.6		
31		0.0			0.0			0.0			0.0			1.2			0.6		
0 0.0 0.0			9 0.0 9.0			11 0.0 11.0			0 0.0 0.0			39 11.2 13.7			16 0.0 22.6				
Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 14.1			Reserva: 7.5				
JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE				
P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.	P	EXC.	E.R.		
1		0.6			0.0			0.0			2.7			0.0			0.0		
2		0.6			0.0			0.0			2.6			0.0			0.0		
3		0.5			0.0			0.0			2.4			0.0			0.0		
4		0.5			0.0			0.0			2.1			0.0			0.0		
5		0.4			0.0			0.0			1.8			0.0			0.0		
6		0.4			0.0			0.0			1.5			0.0			0.0		
7		0.4			0.0			0.0			1.2			0.0			0.0		
8		0.3			0.0			0.0			0.9			0.0			0.0		
9		0.3			0.0			0.0			0.7			0.0			0.0		
10		0.3			0.0			0.0			0.6			0.0			0.0		
11		0.3	2		0.7			0.0			0.4			0.0			0.0		
12		0.2			0.2			0.0	1		1.5			0.0			0.0		
13		0.2			0.1			0.0			0.2			0.0			0.0		
14		0.2			0.1			0.0			0.2			0.0			0.0		
15		0.2			0.1			0.0			0.1			0.0			0.0		
16		0.2			0.1			0.0			0.1			0.0			0.0		
17		0.2			0.1			0.0			0.1			0.0			0.0		
18		0.1			0.1			0.0			0.1			0.0			0.0		
19		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
20		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
21		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
22		0.1			0.1			0.0			0.0			0.0			0.0		
23		0.1			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
24		0.1			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
25		0.1			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
26		0.1			0.0	18		1.3			0.0			0.0			0.0		
27		0.1			0.0	36	32.7	1.3			0.0			0.0			0.0		
28		0.1			0.0			2.6			0.0			0.0			0.0		
29		0.1			0.0			2.5			0.0			0.0			0.0		
30		0.1	1		0.9	6		1.3			0.0			0.0			0.0		
31		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		
0 0.0 7.1			3 0.0 3.2			60 32.7 9.2			1 0.0 19.2			0 0.0 0.0			0 0.0 0.0				
Reserva: 0.4			Reserva: 0.2			Reserva: 18.2			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0			Reserva: 0.0				
<b>TOTALES ANUALES</b>																			
Precipitación Anual: 139 100.0 %										Exceso Anual: 43.9		31.6 %							
Evapotranspiración Real Anual: 95.1										68.4 %									

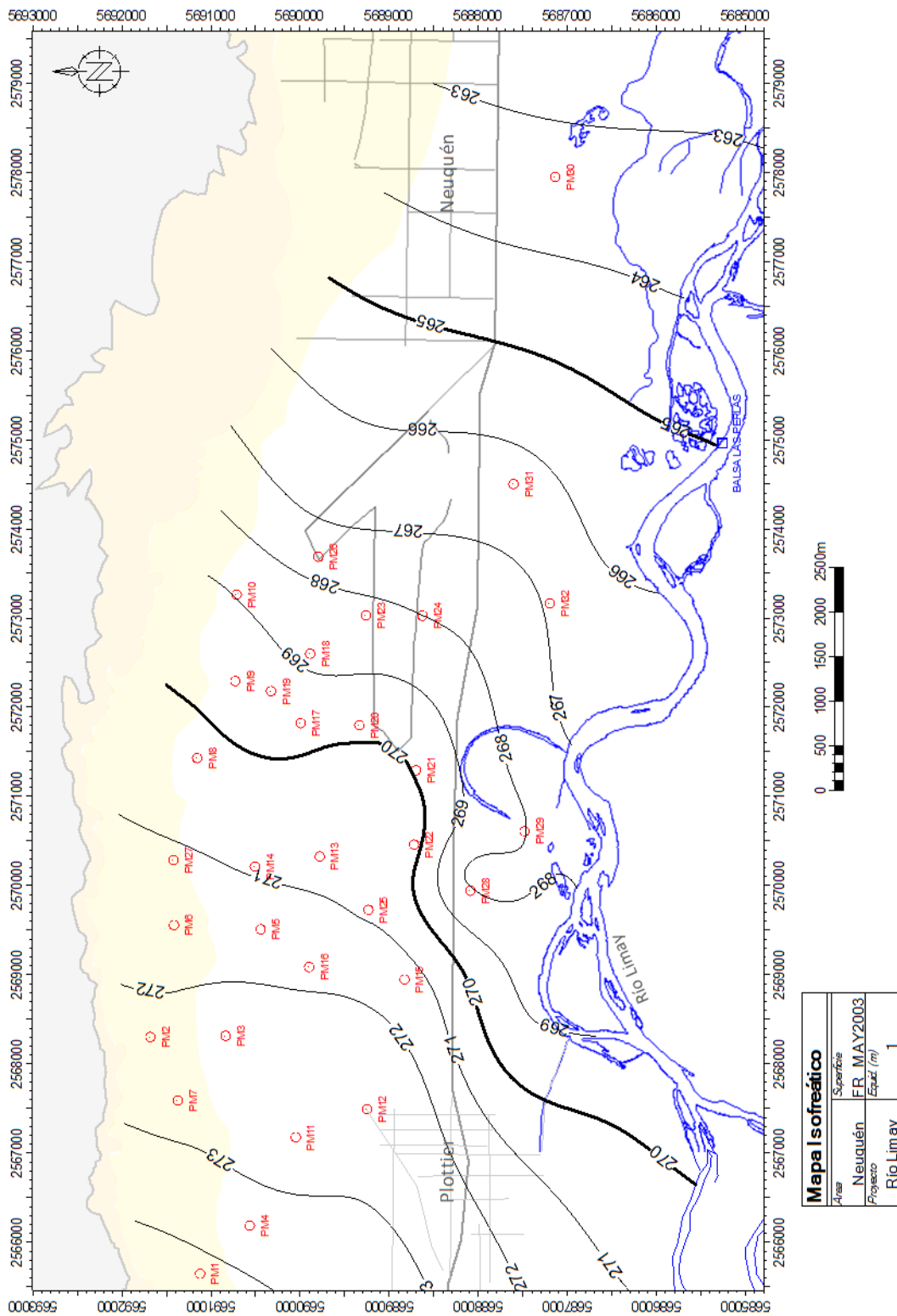
Capacidad de Campo: 20; Reserva Inicial: 10; Textura: Arenosa  
 Estación de Evapotranspiración: Neuquen



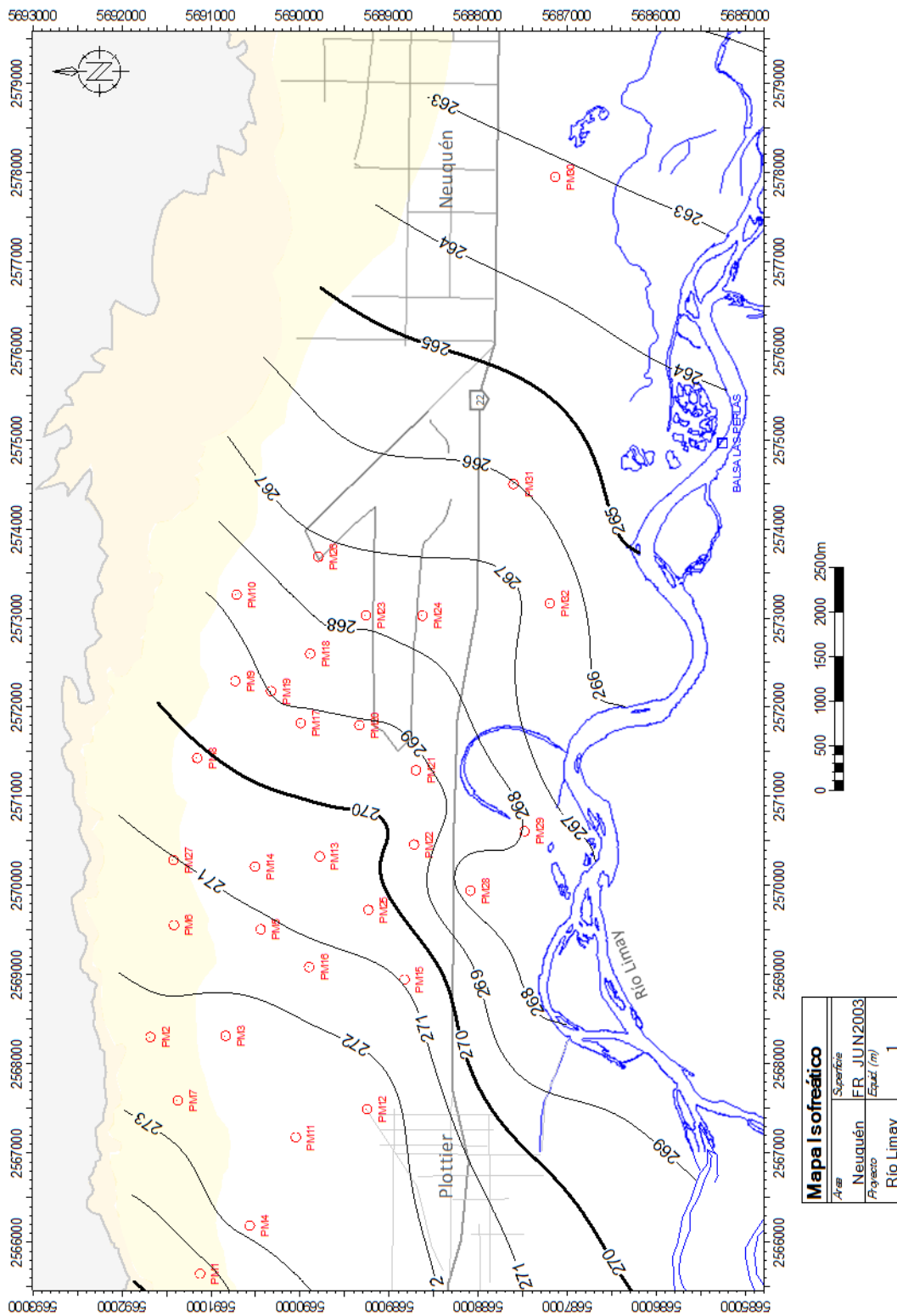
## **Mapas isofreaticos mensuales 2003 - 2005**



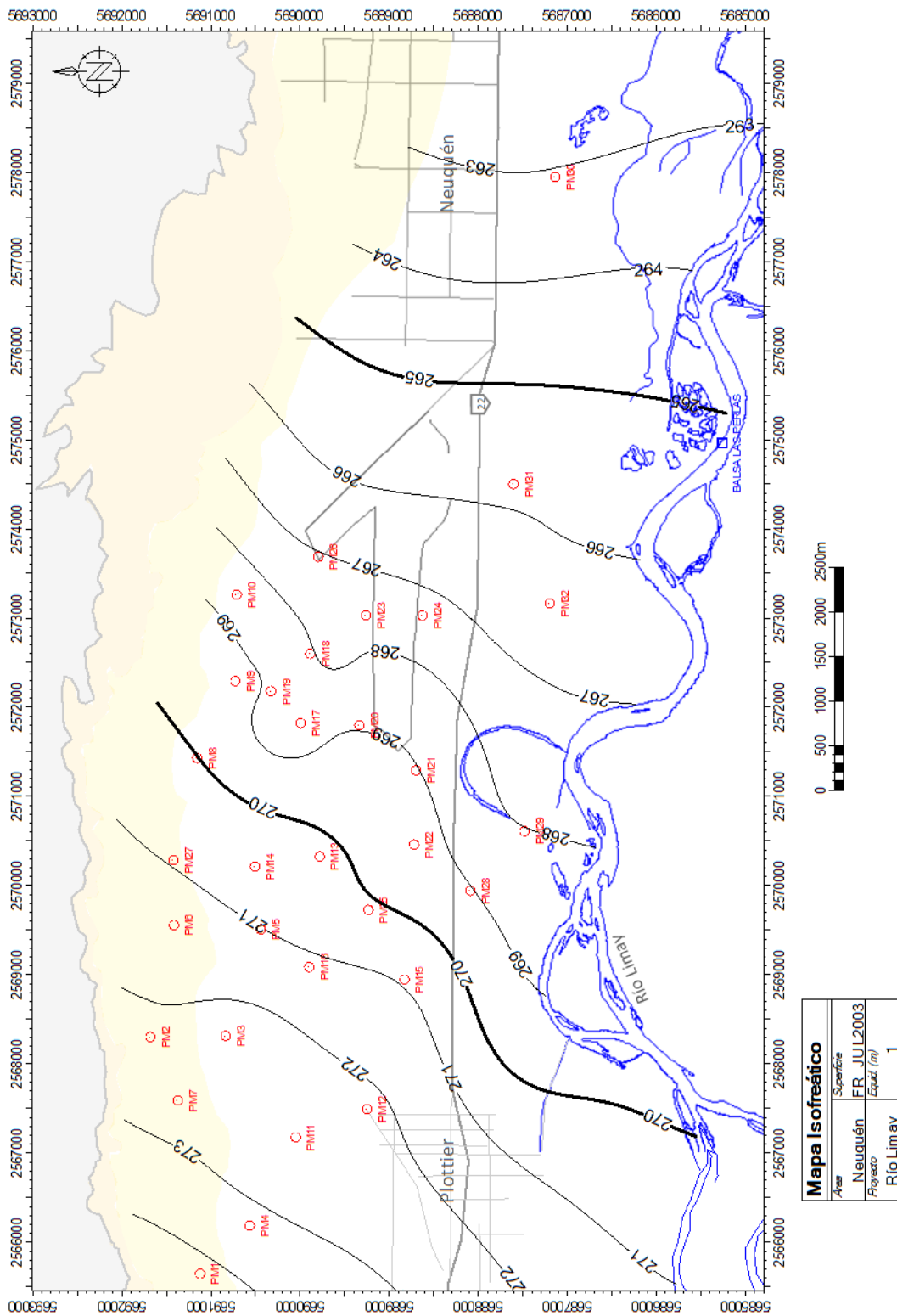
Mapa isofreático, abril 2003



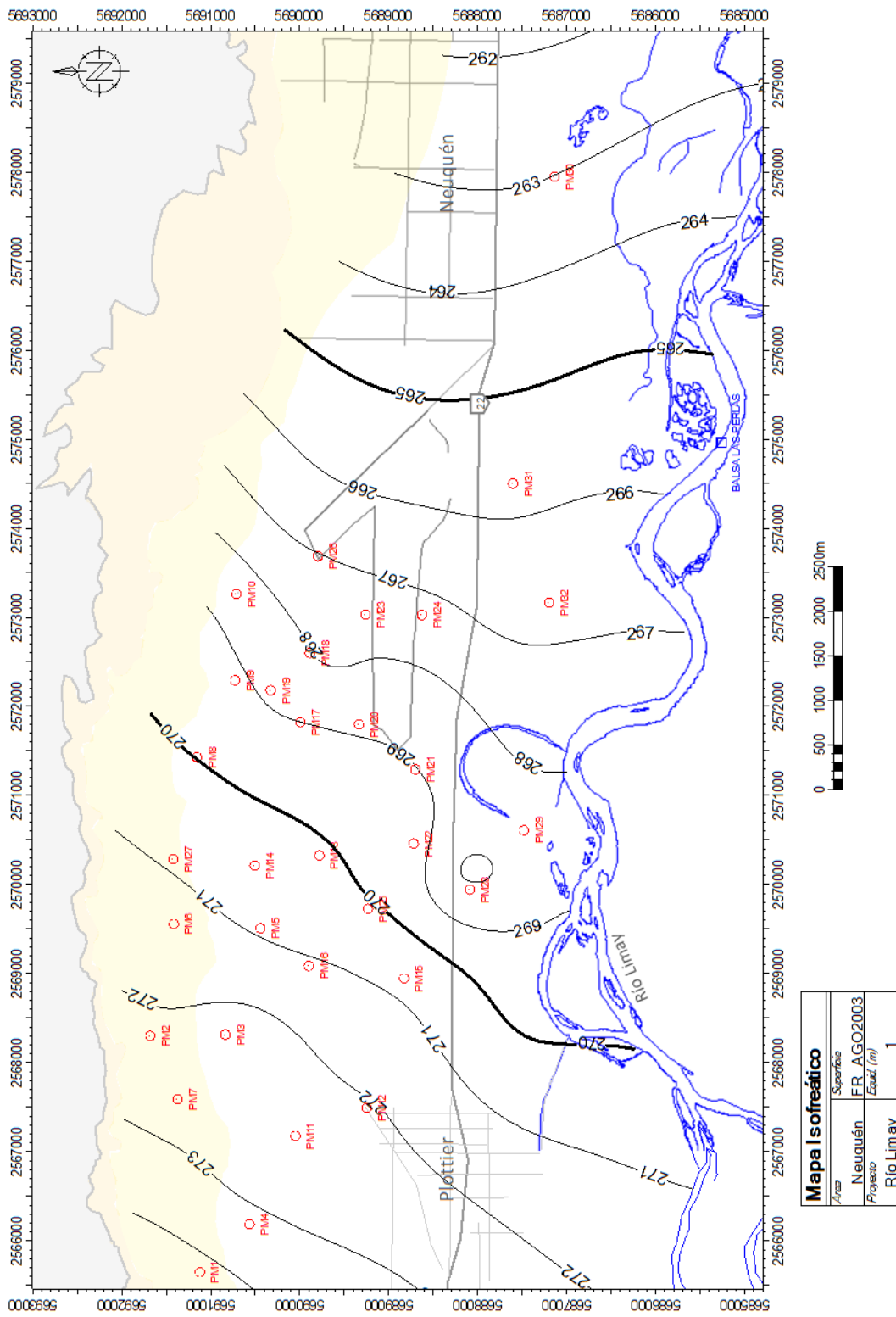
Mapa isofreático, mayo 2003



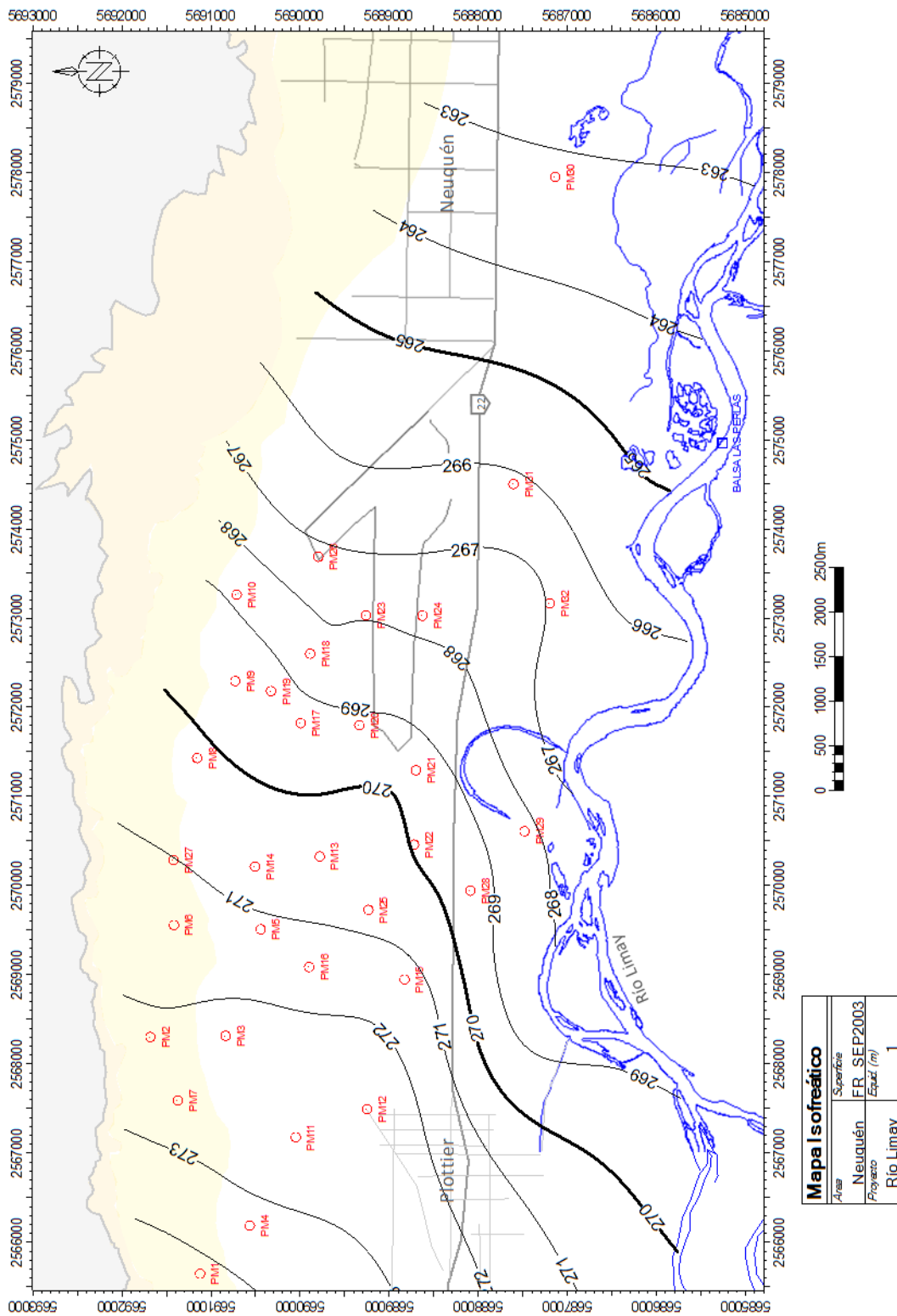
Mapa isofreático, junio 2003



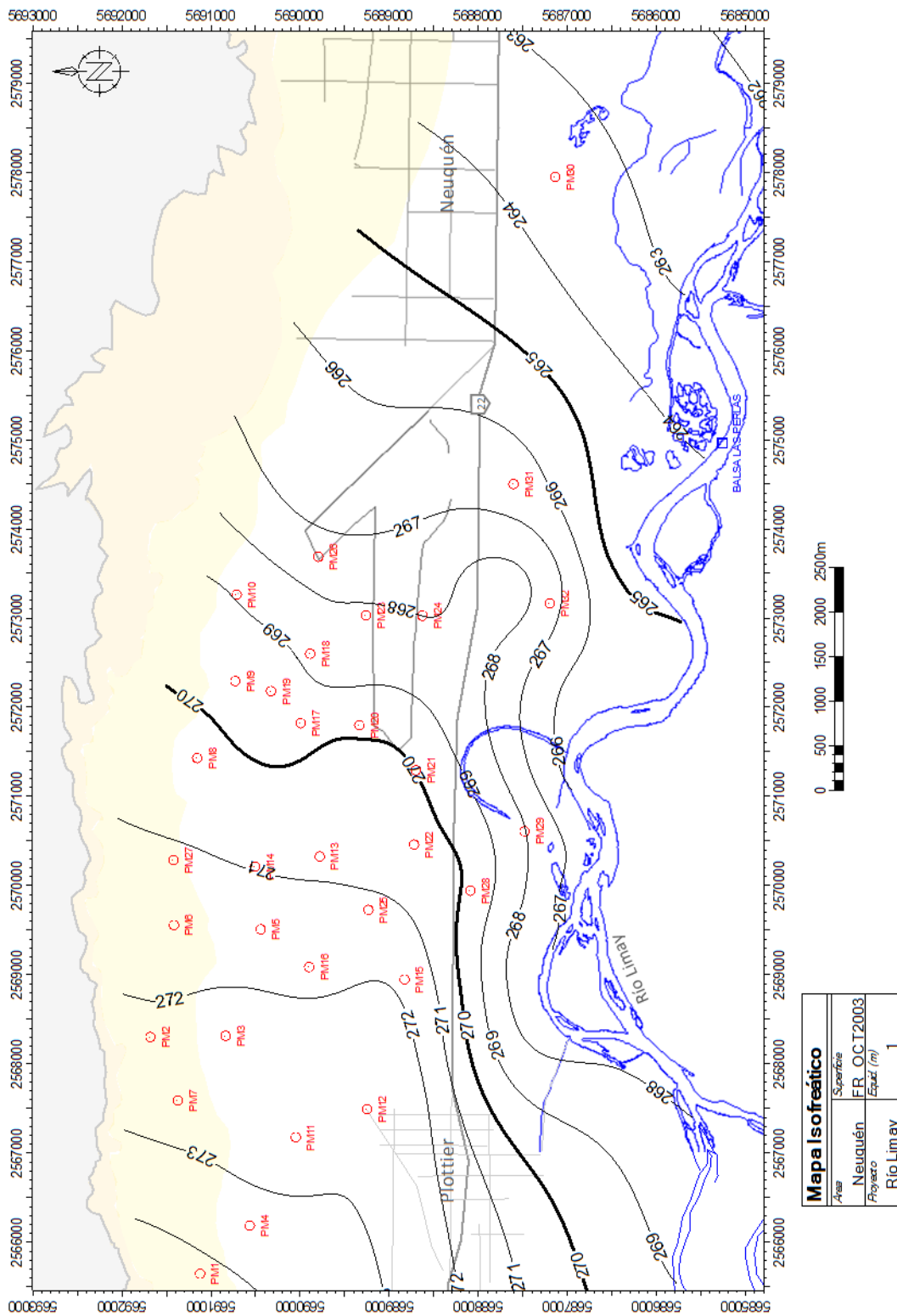
Mapa isofreático, julio 2003



Mapa isofreático, agosto 2003



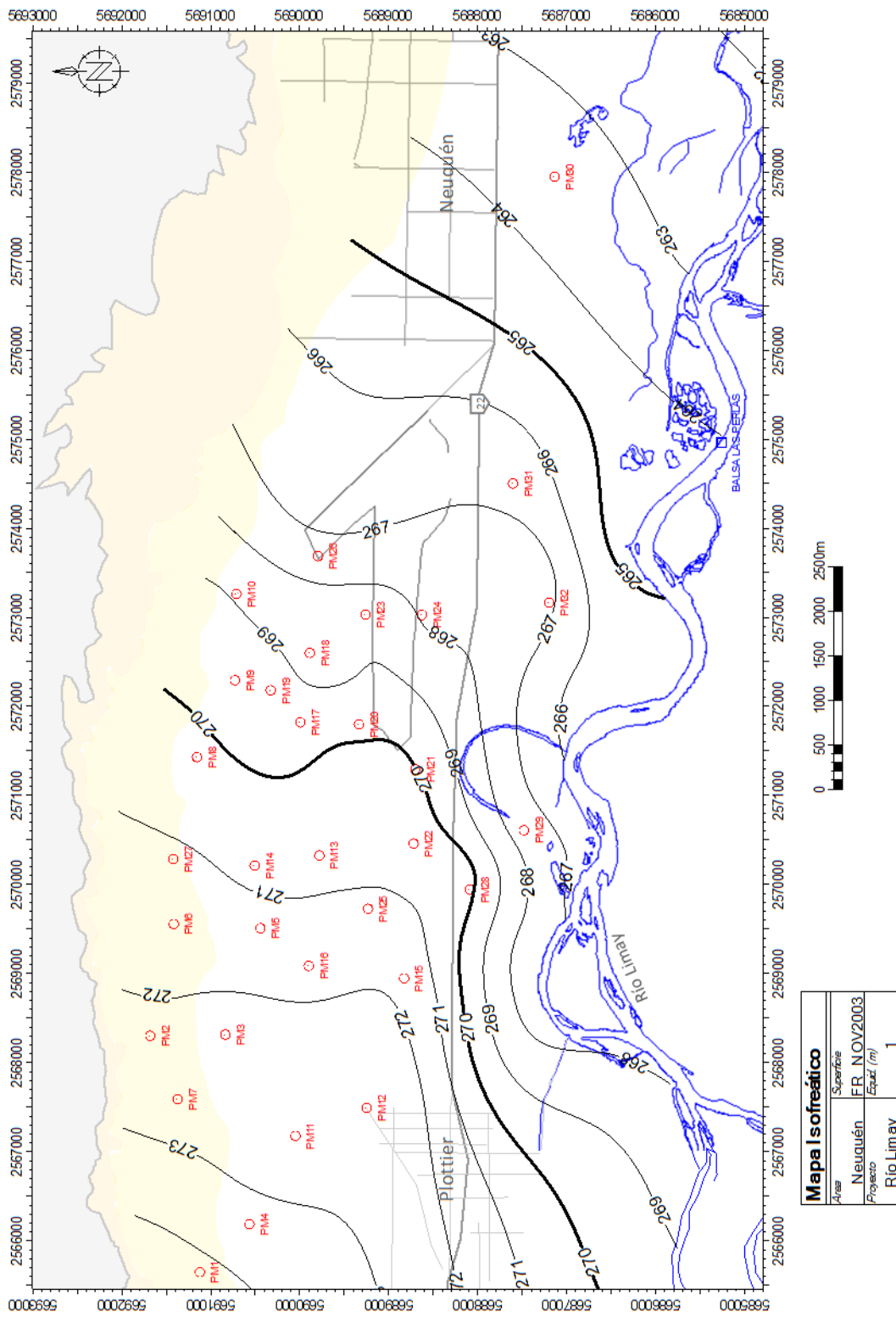
Mapa isofreático, septiembre 2003



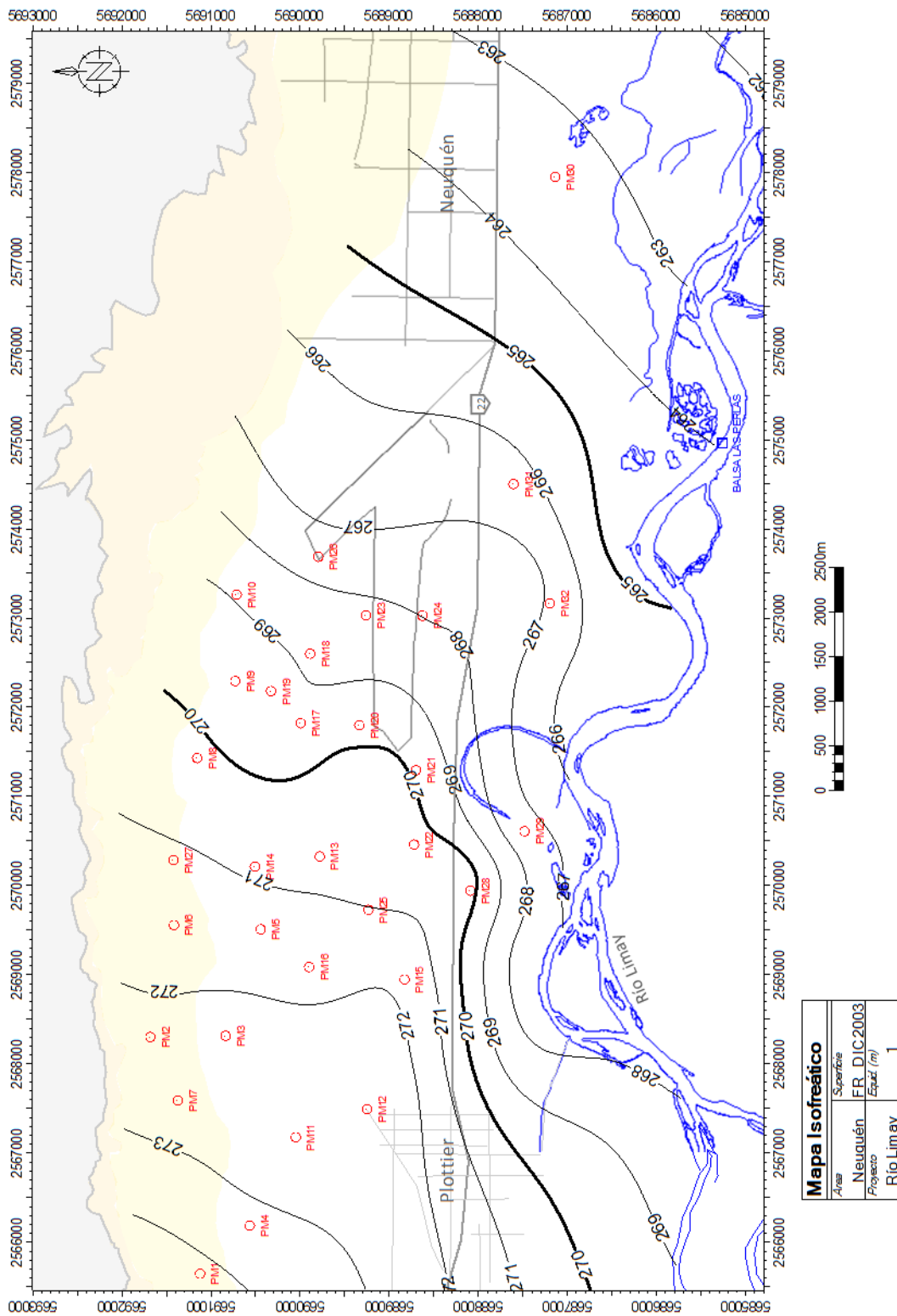
<b>Mapa Isofreático</b>	
Área	Superficie
Neuquén	FR. OCT.2003
Proyecto	Equip. (m)
Río Limay	1

Mapa isofreático, octubre 2003

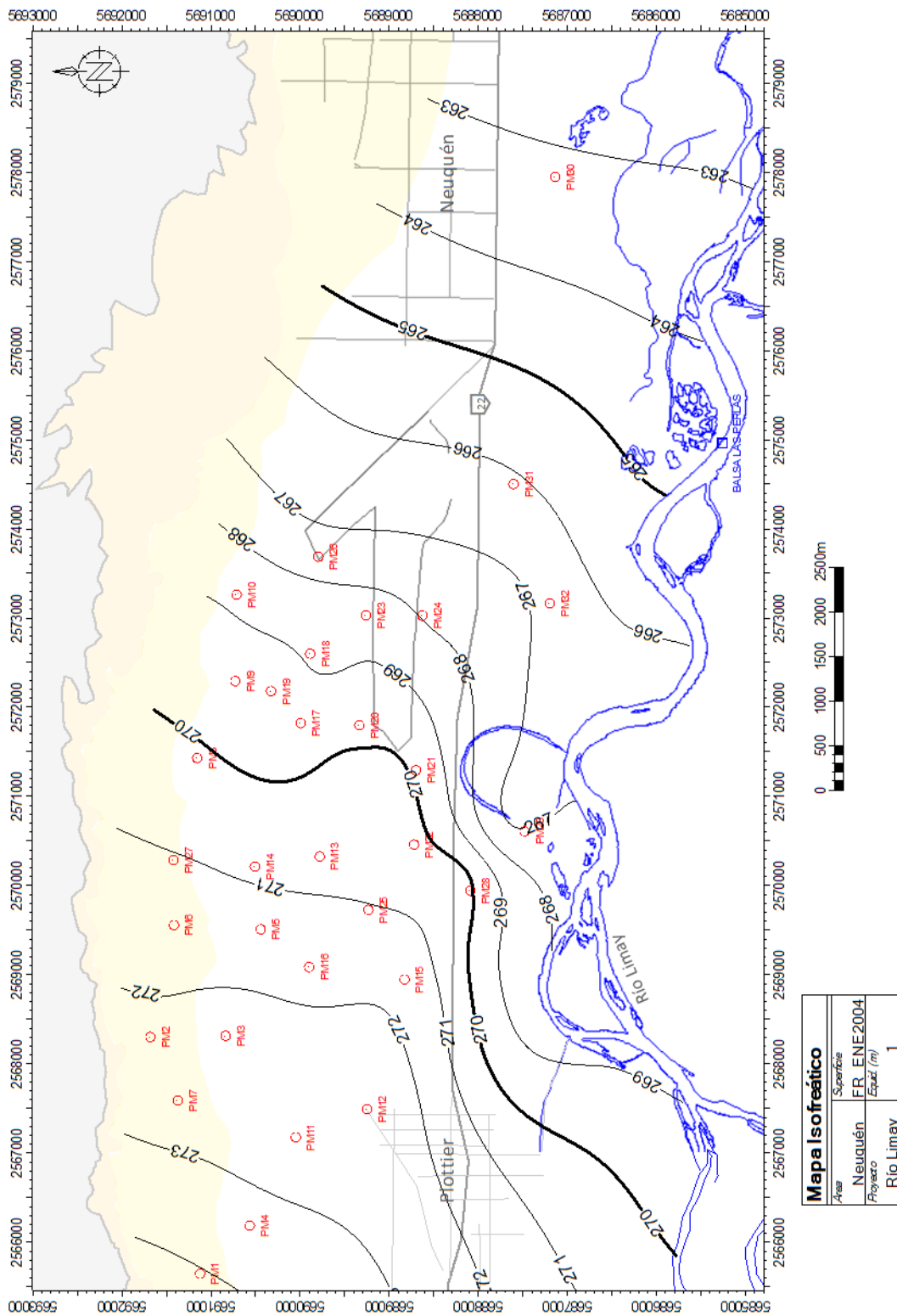




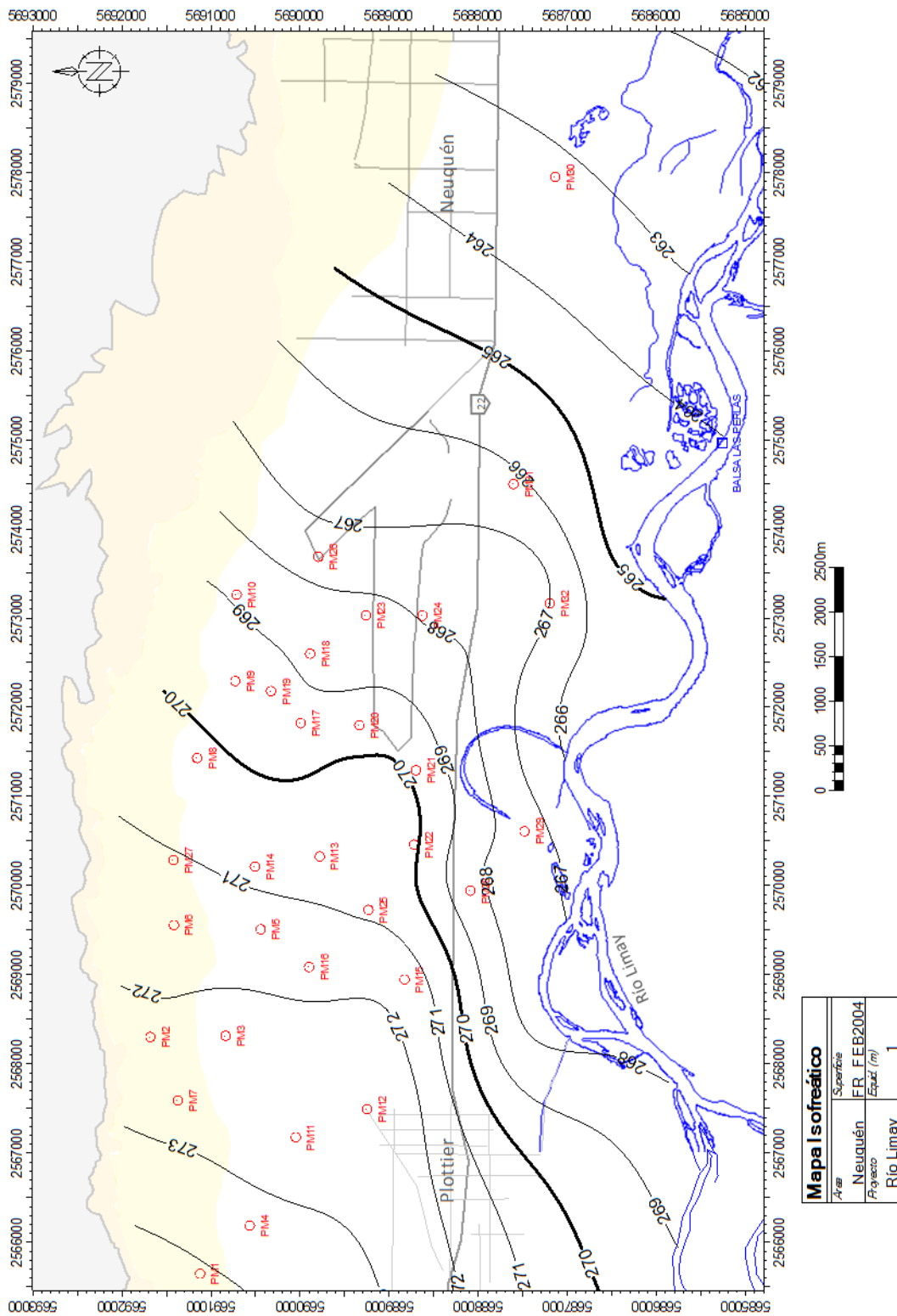
Mapa isofreático, noviembre 2003

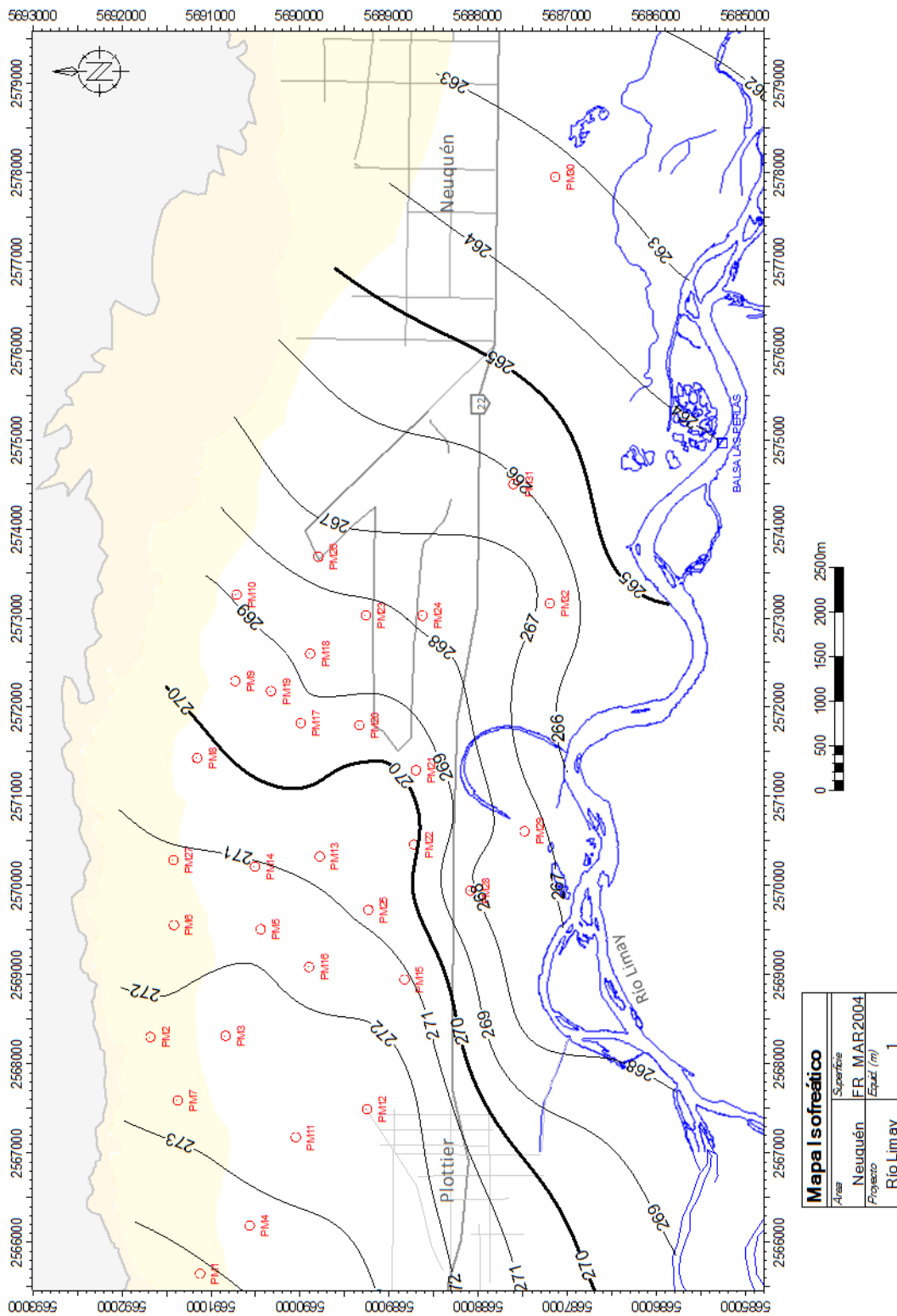


Mapa isofreático, diciembre 2003

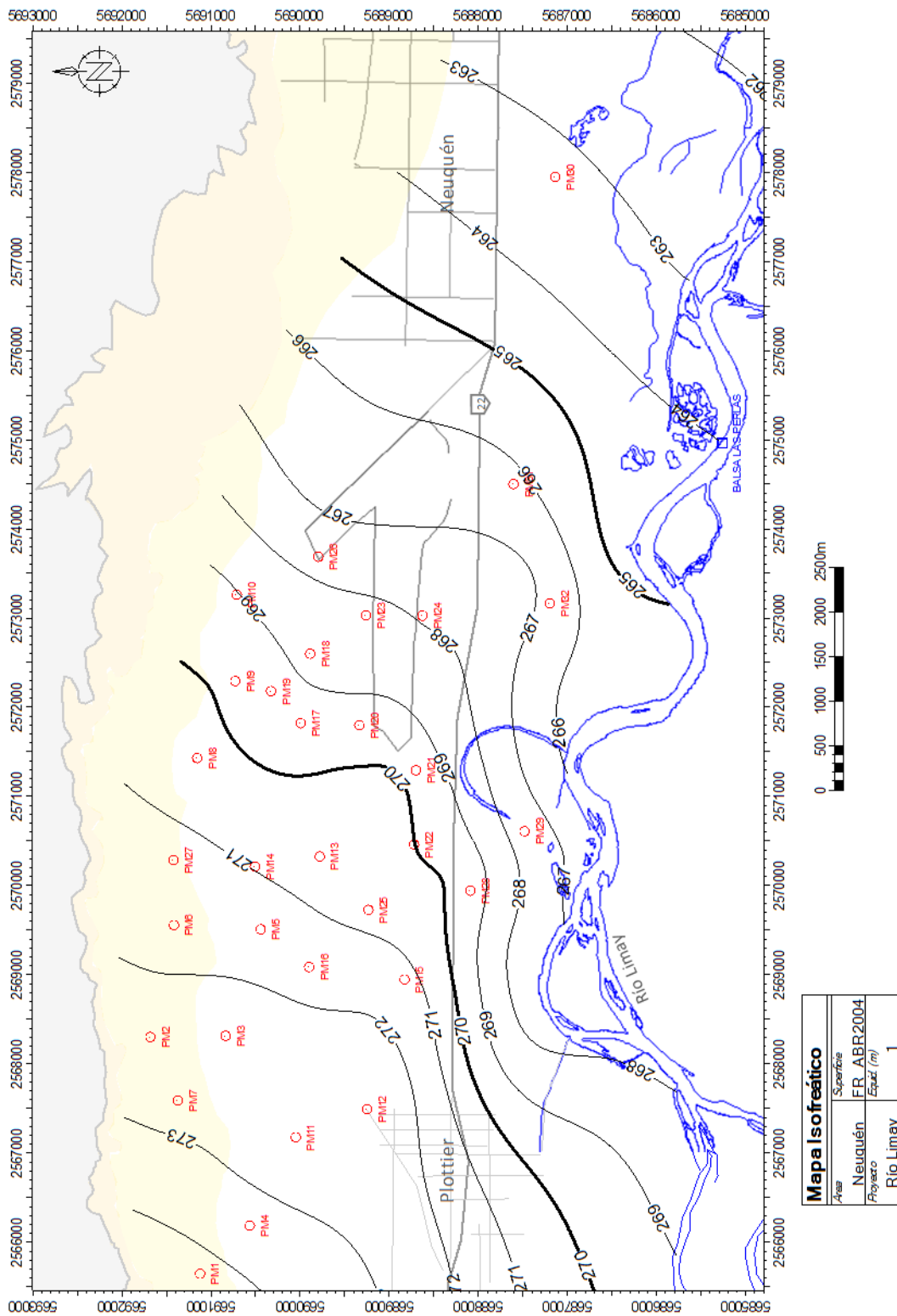


Mapa isofreático, enero 2004

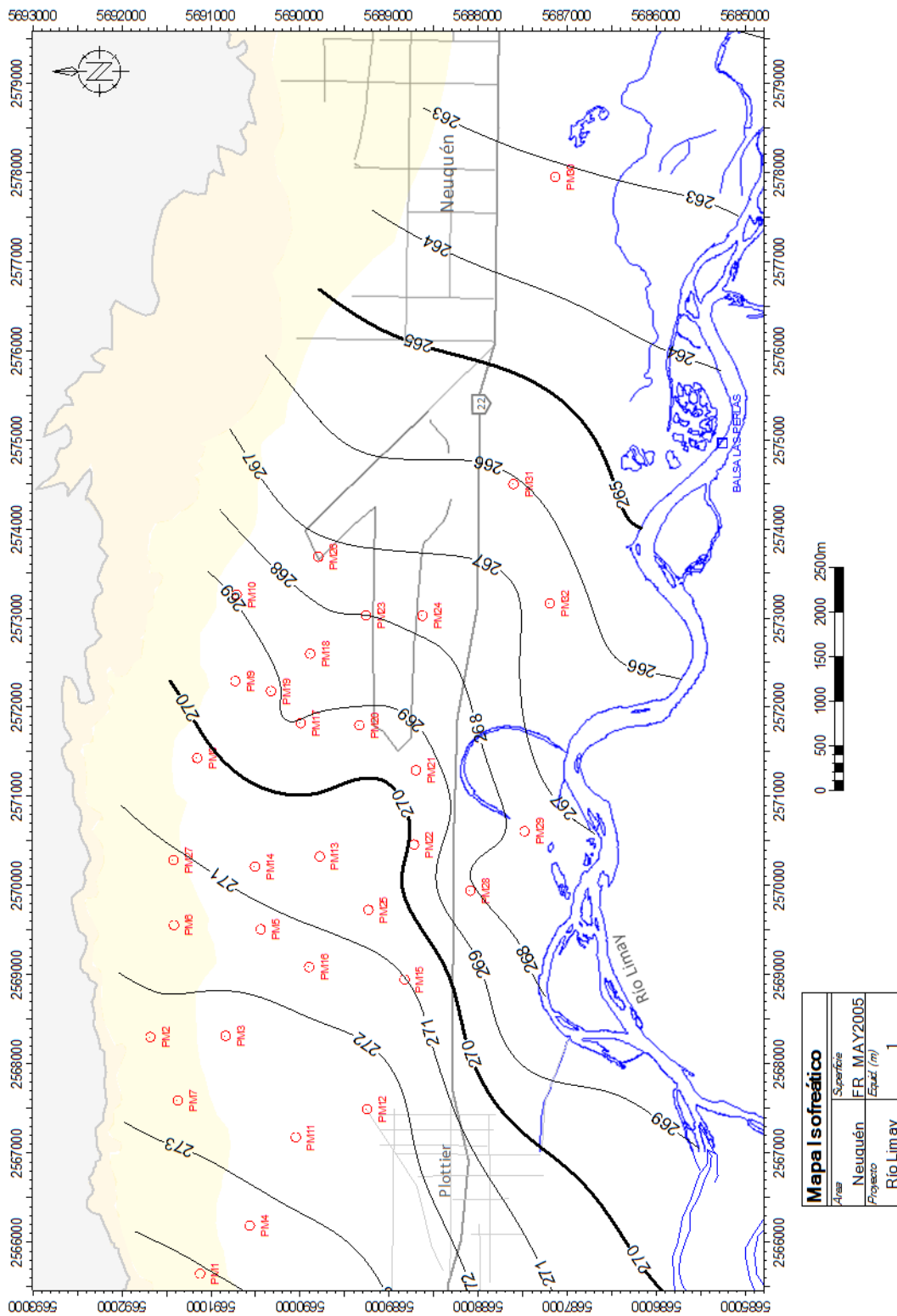




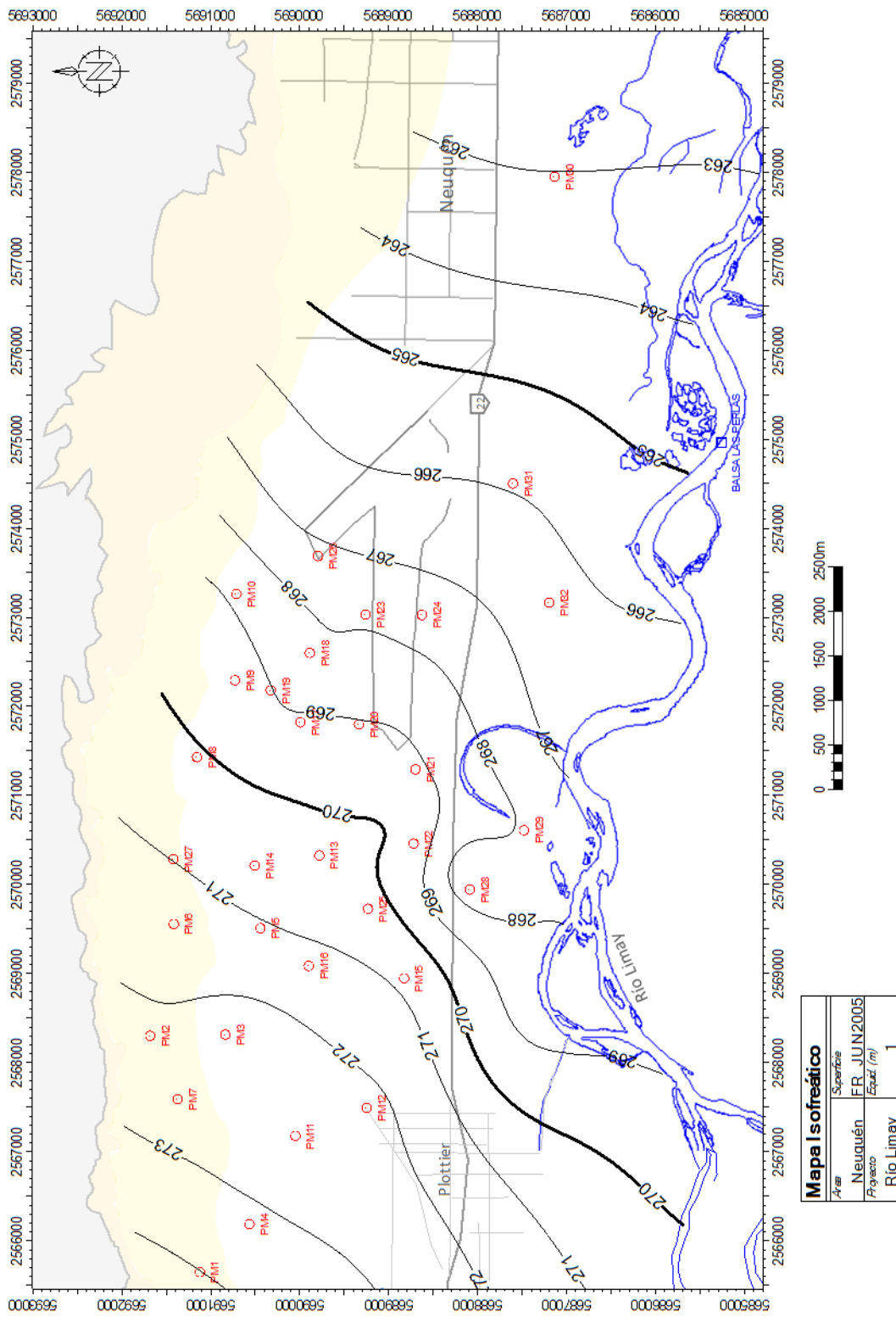
Mapa isofreático, marzo 2004



Mapa isofreático, abril 2004

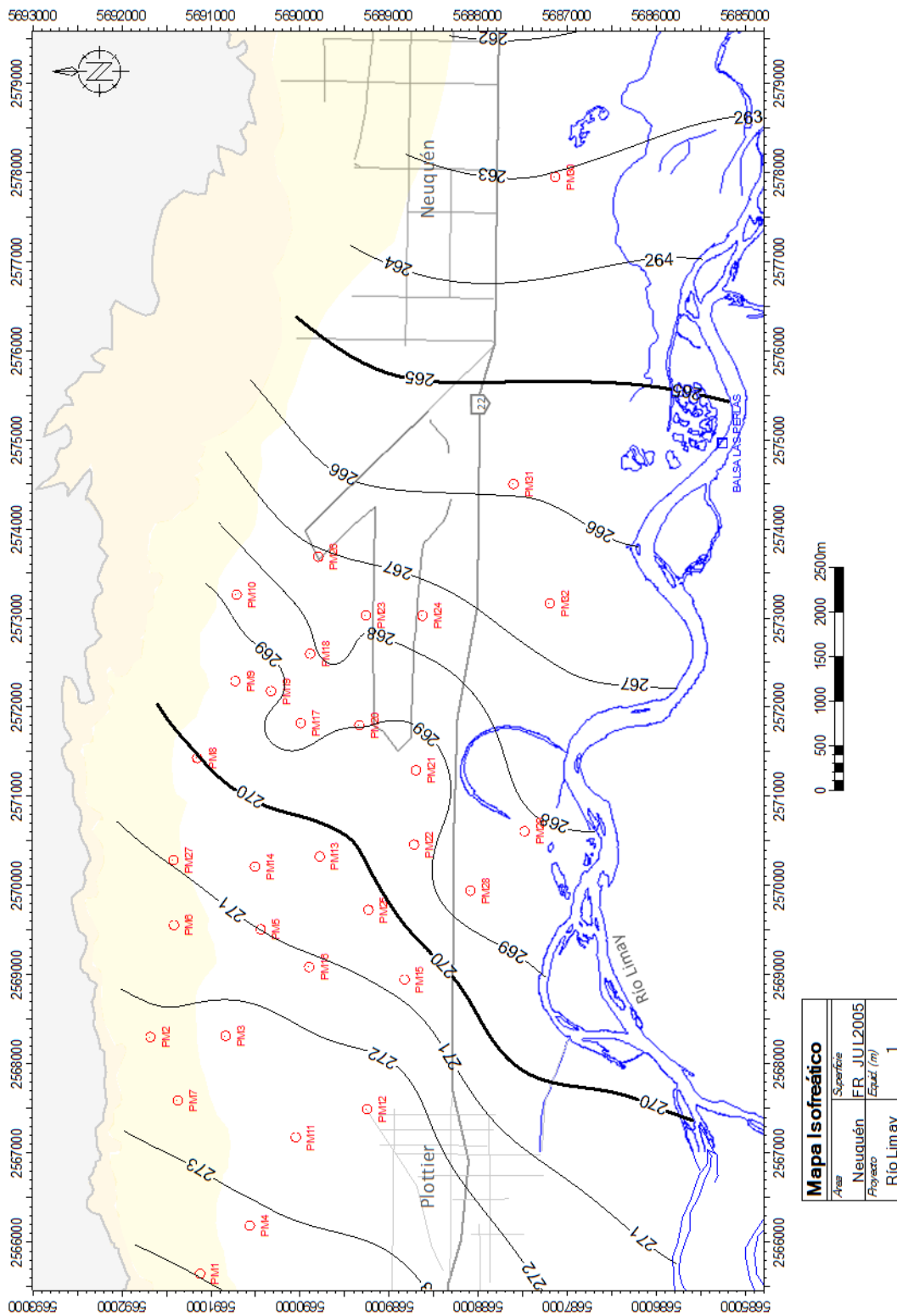


Mapa isofreático, mayo 2005

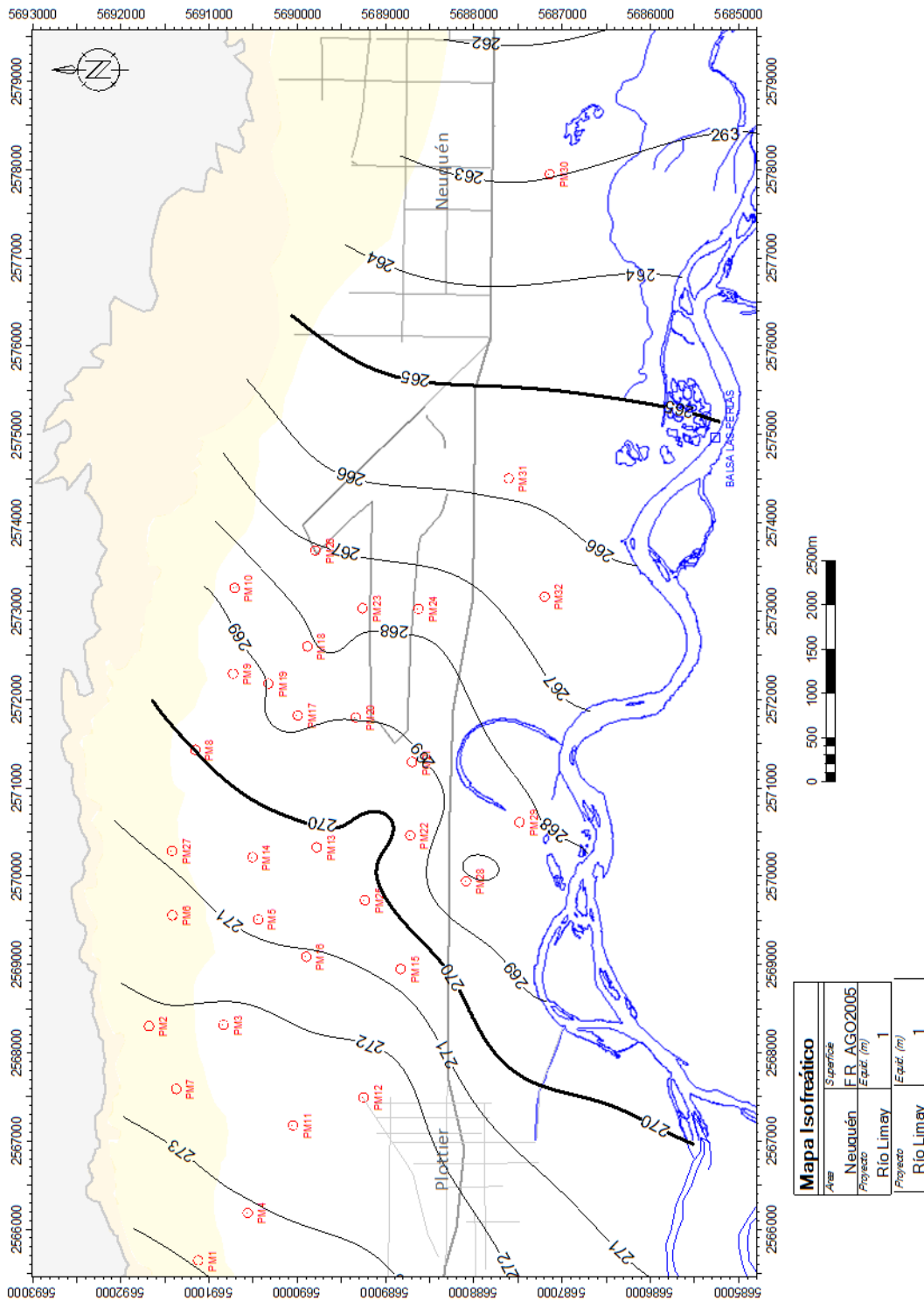


Mapa isofreático junio 2005

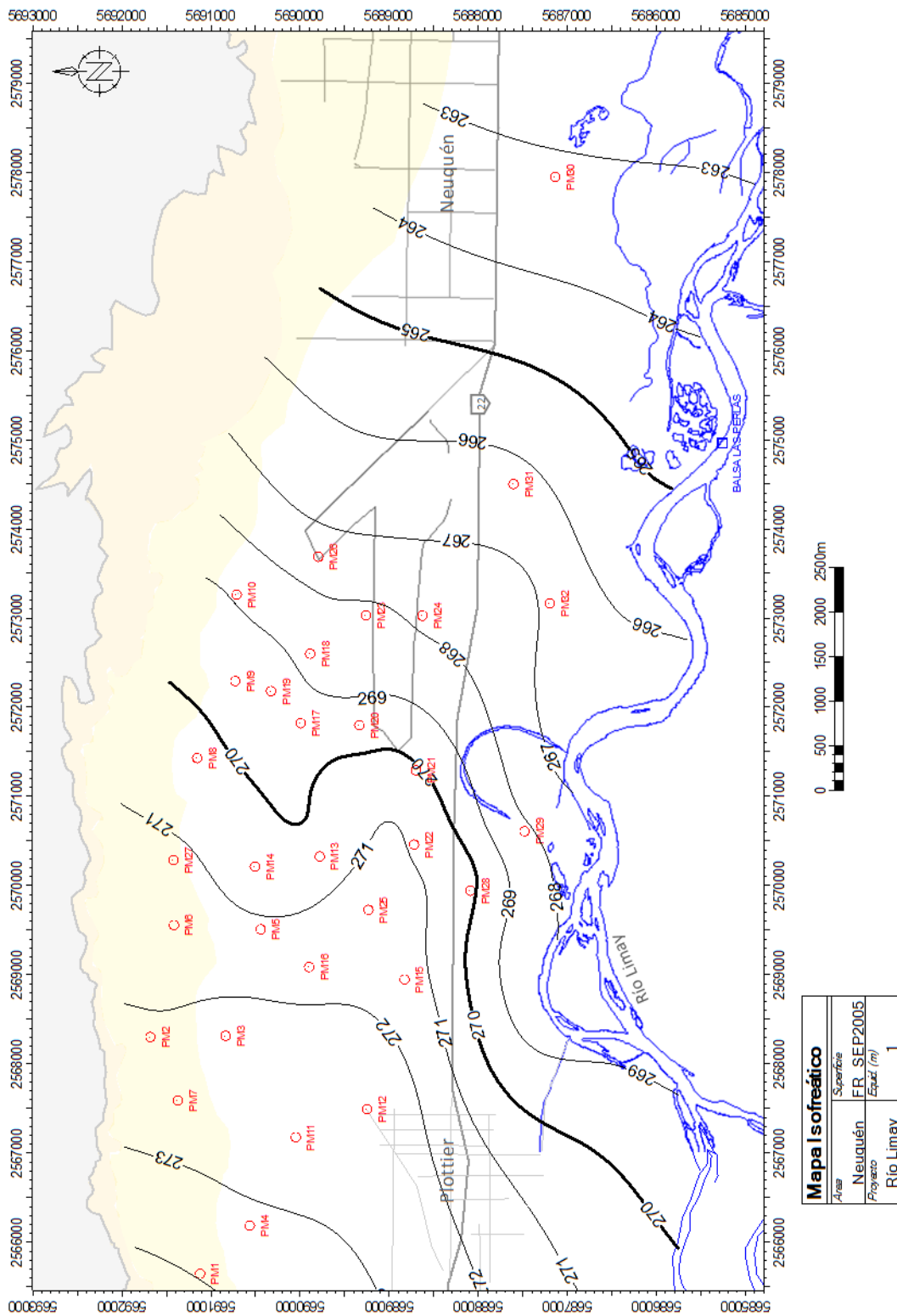




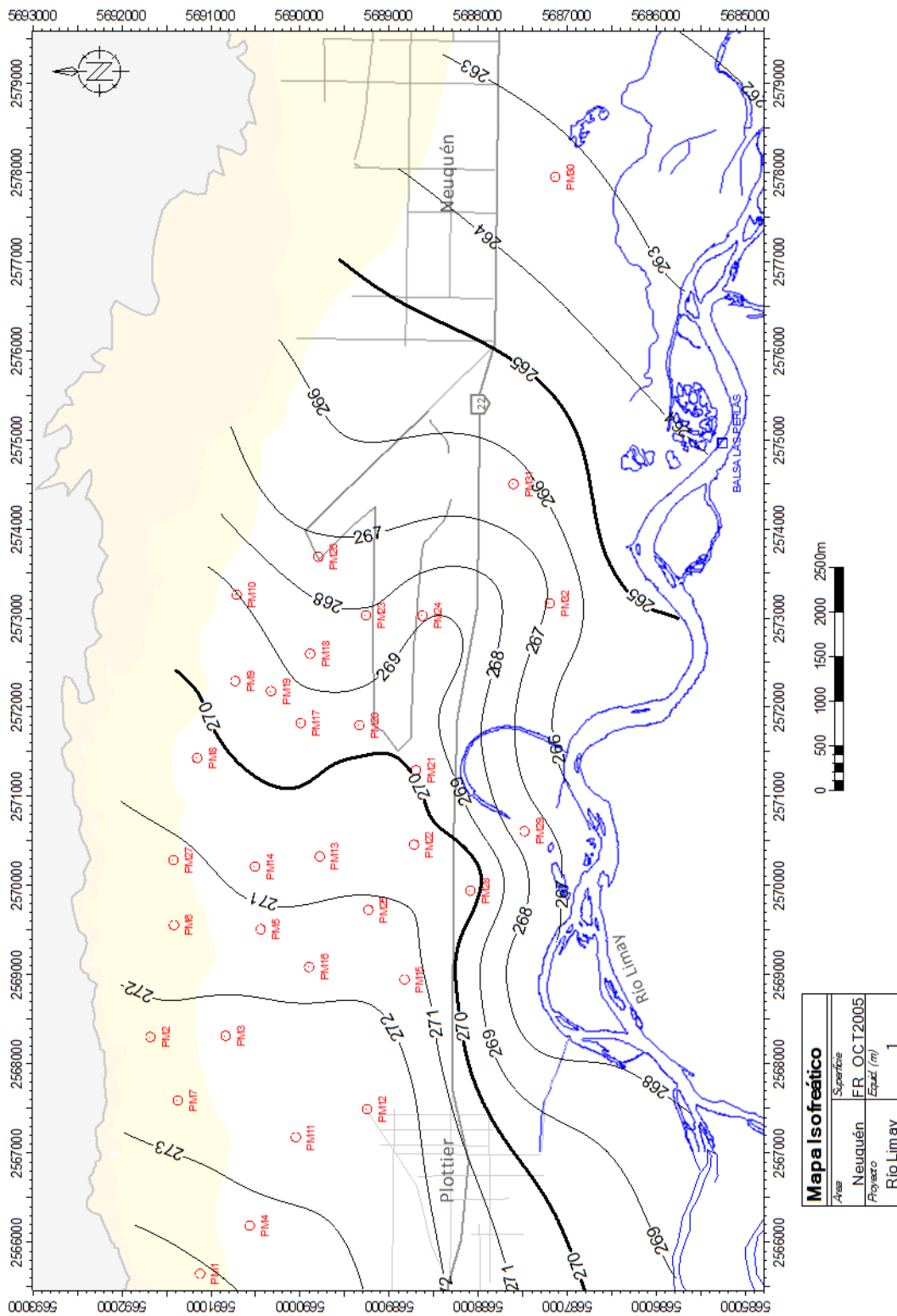
Mapa isofreático, julio 2005



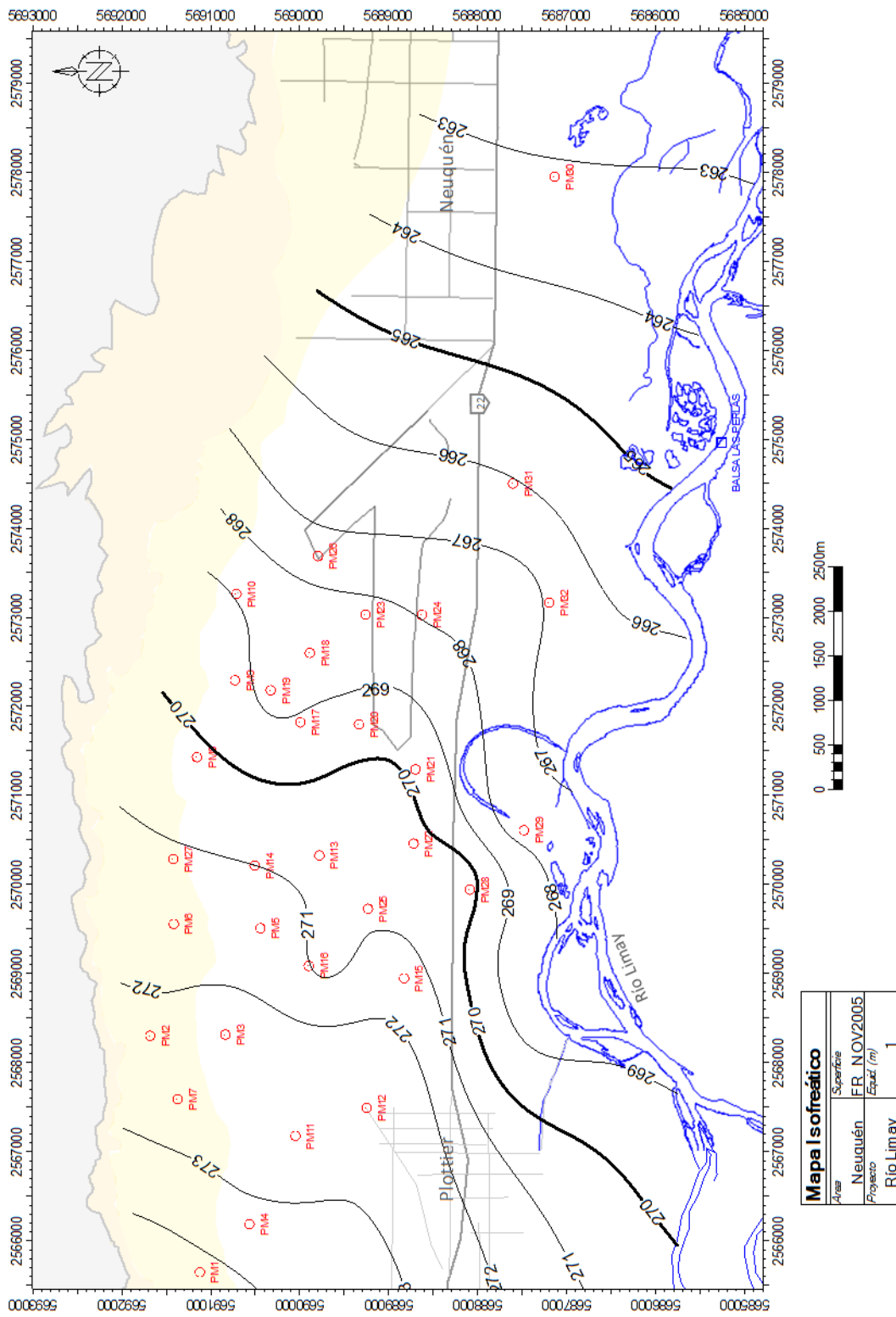
Mapa isofreático agosto 2005



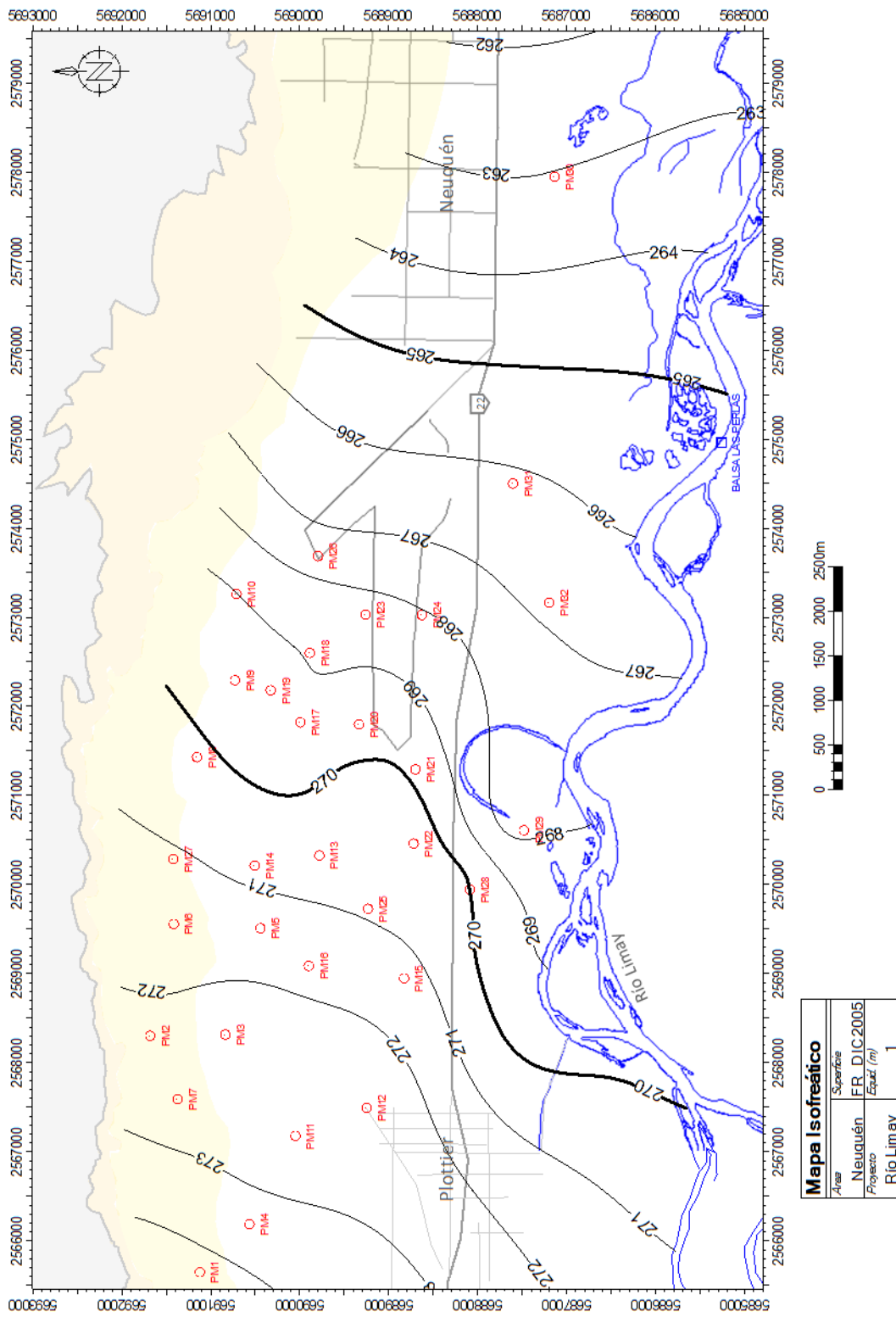
Mapa isofreático, septiembre 2005



Mapa isofreático, octubre 2005

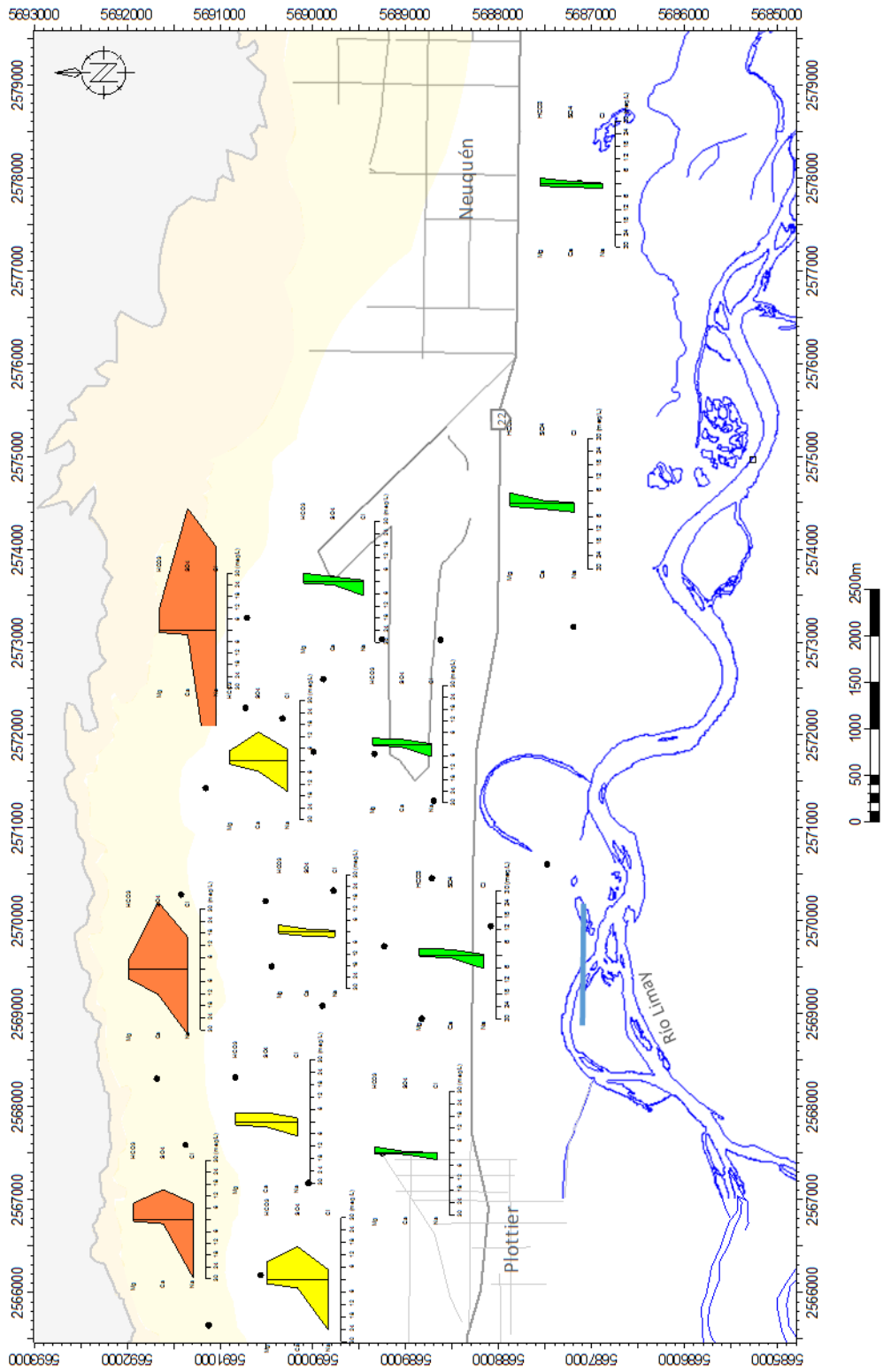


Mapa isofreático noviembre 2005



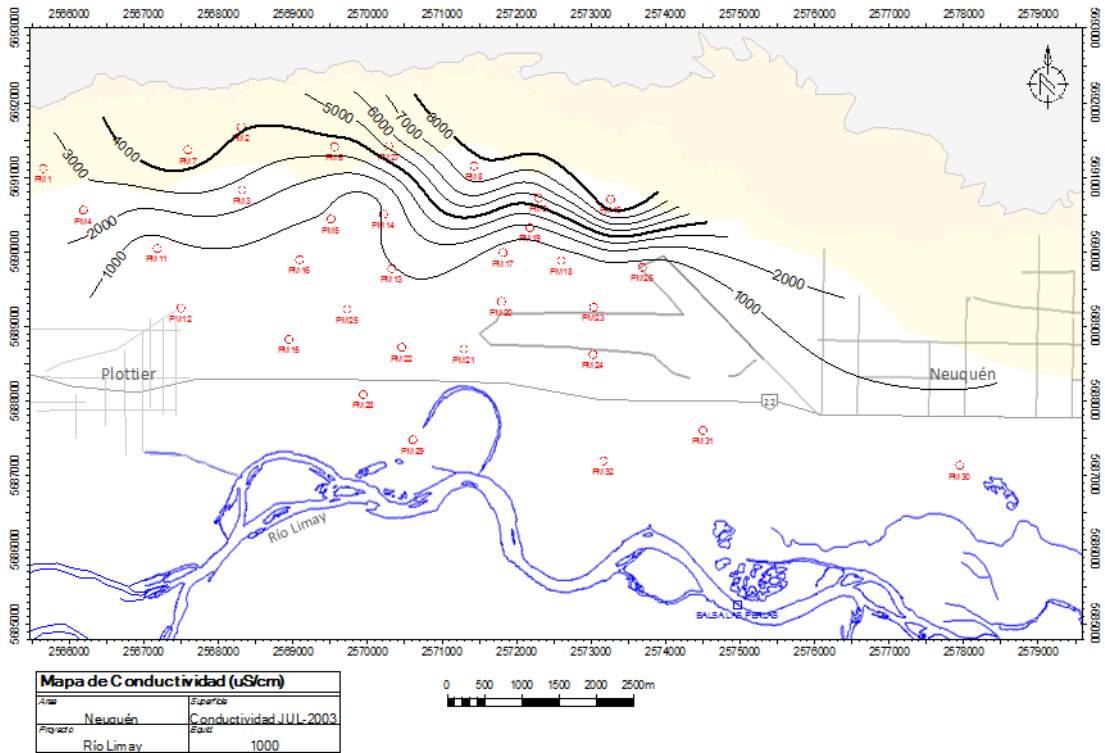
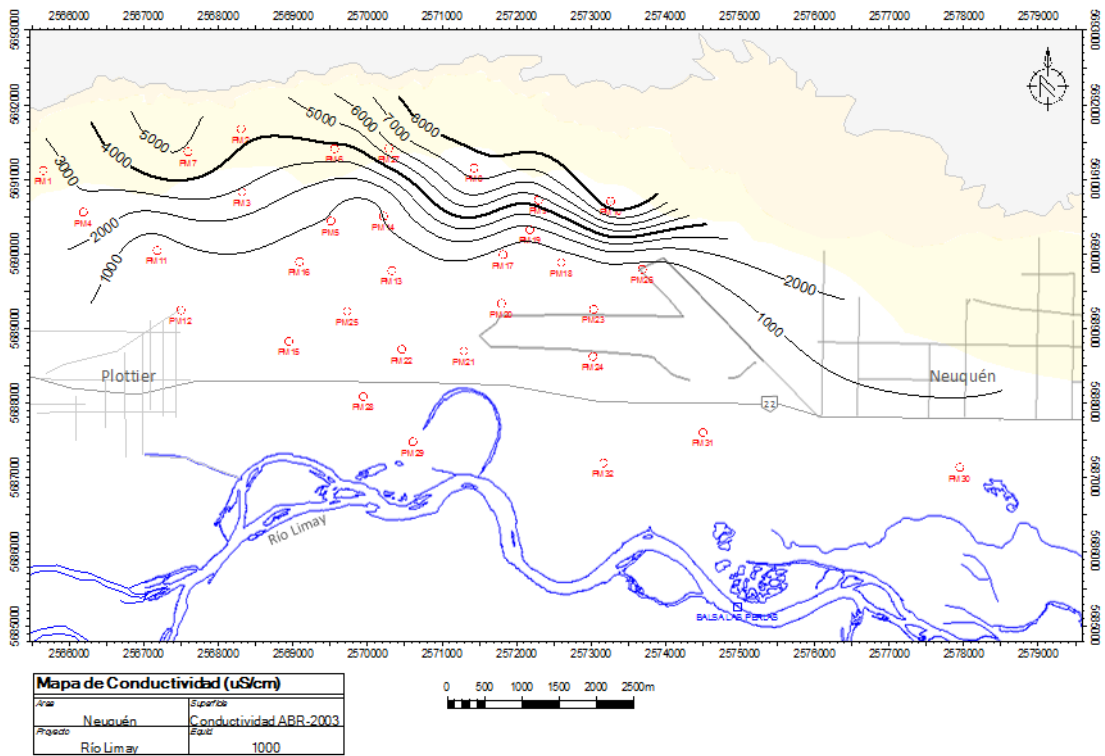
Mapa isofreático, diciembre 2005

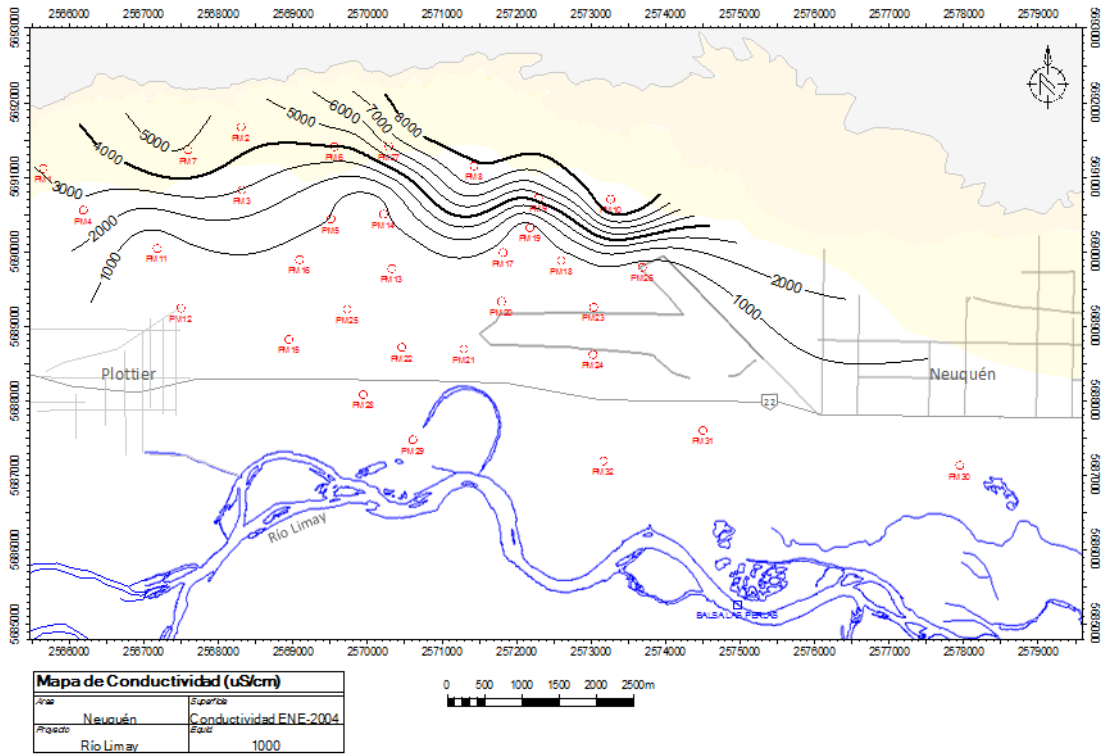
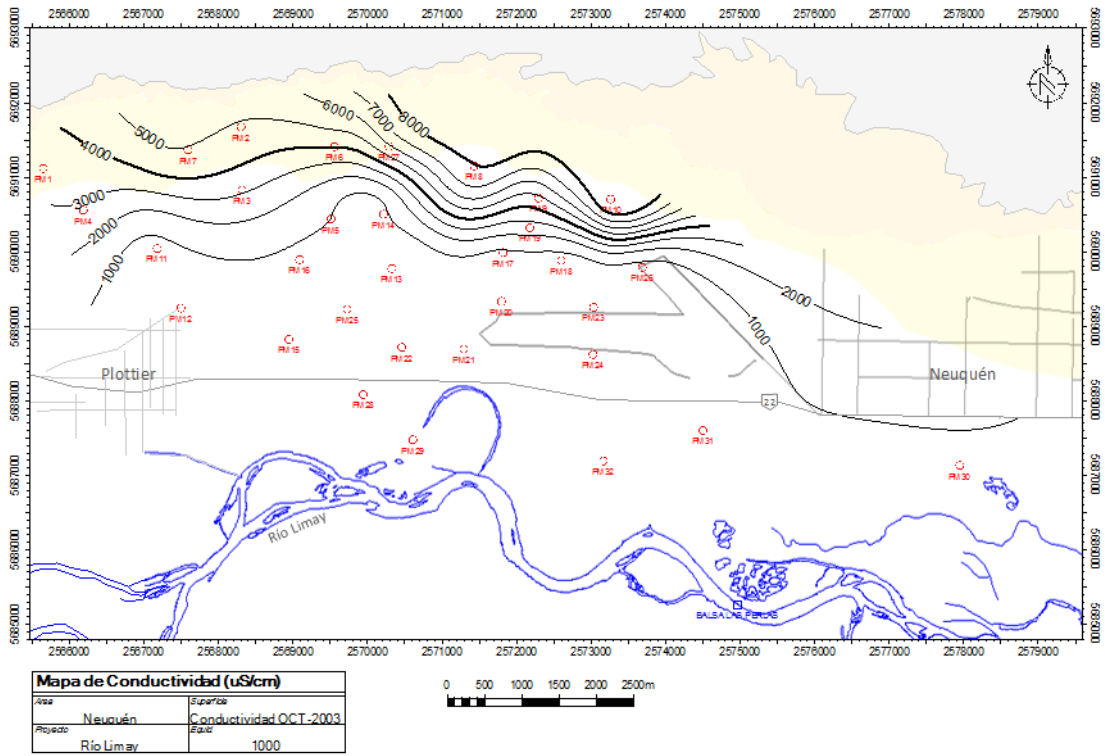
## **Hidroquímica**

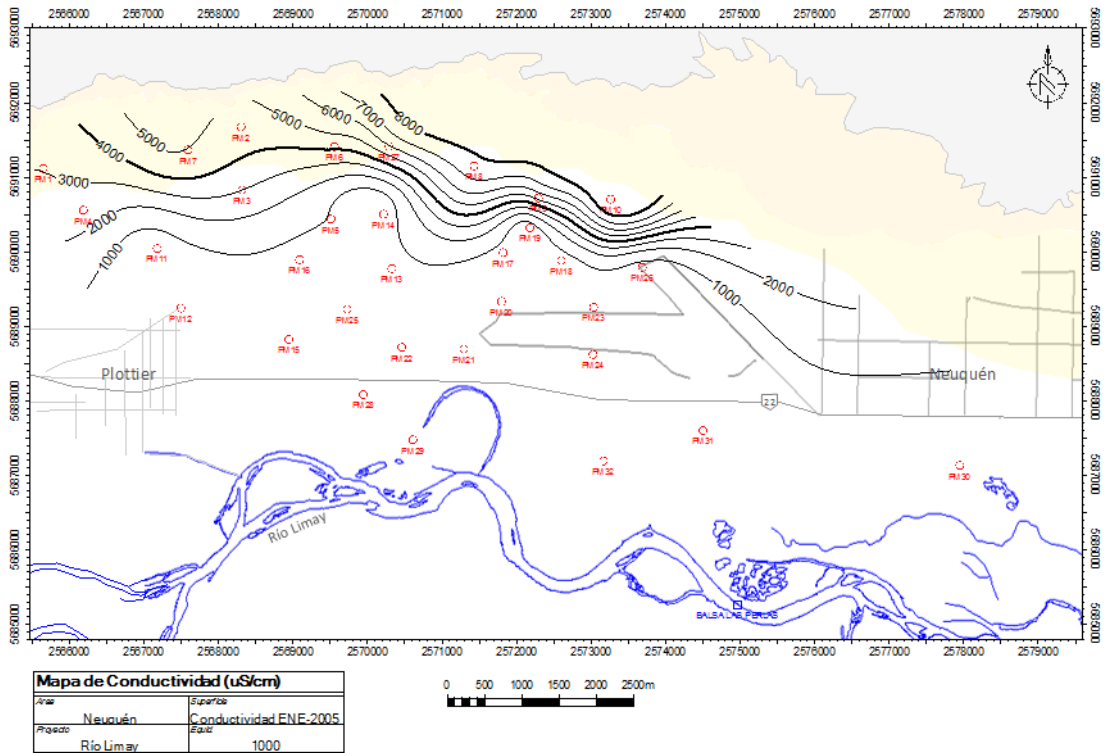
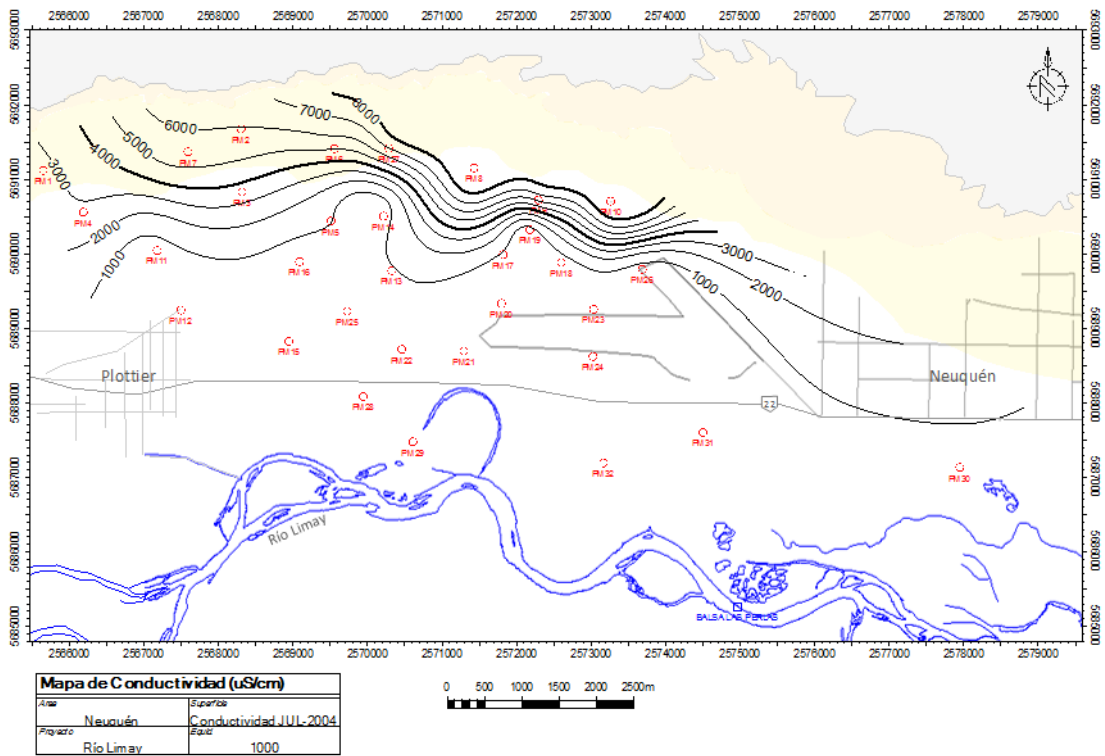


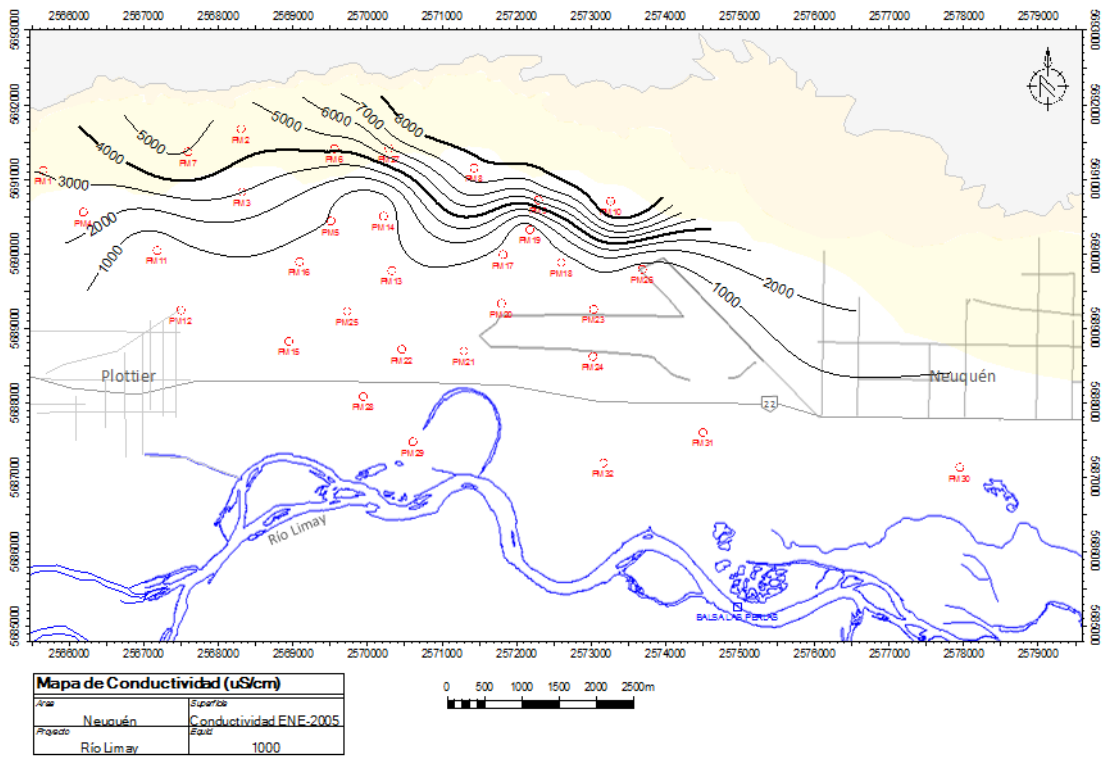


## **Conductividad 2003-2005**

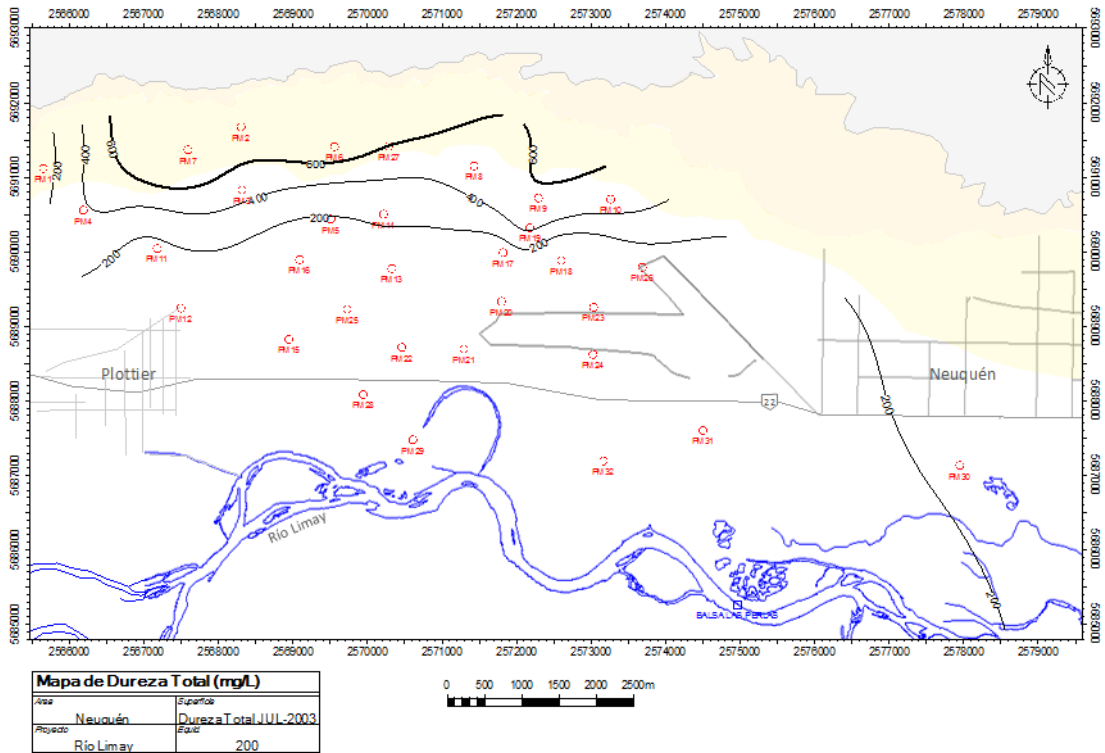
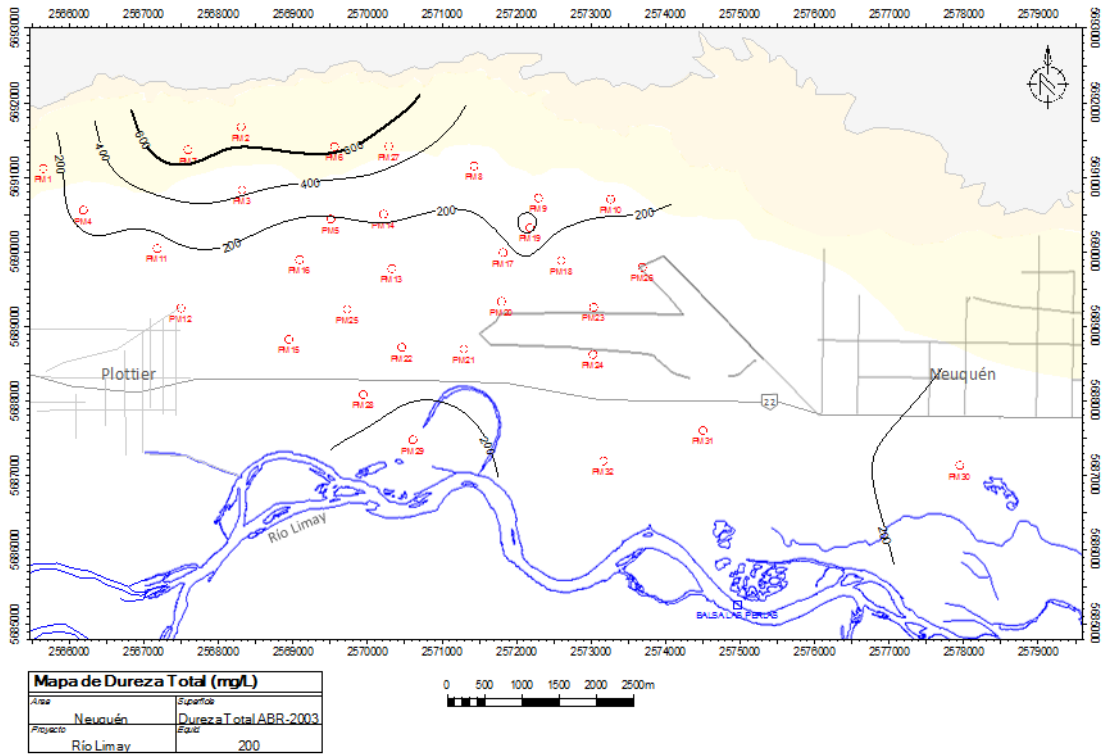


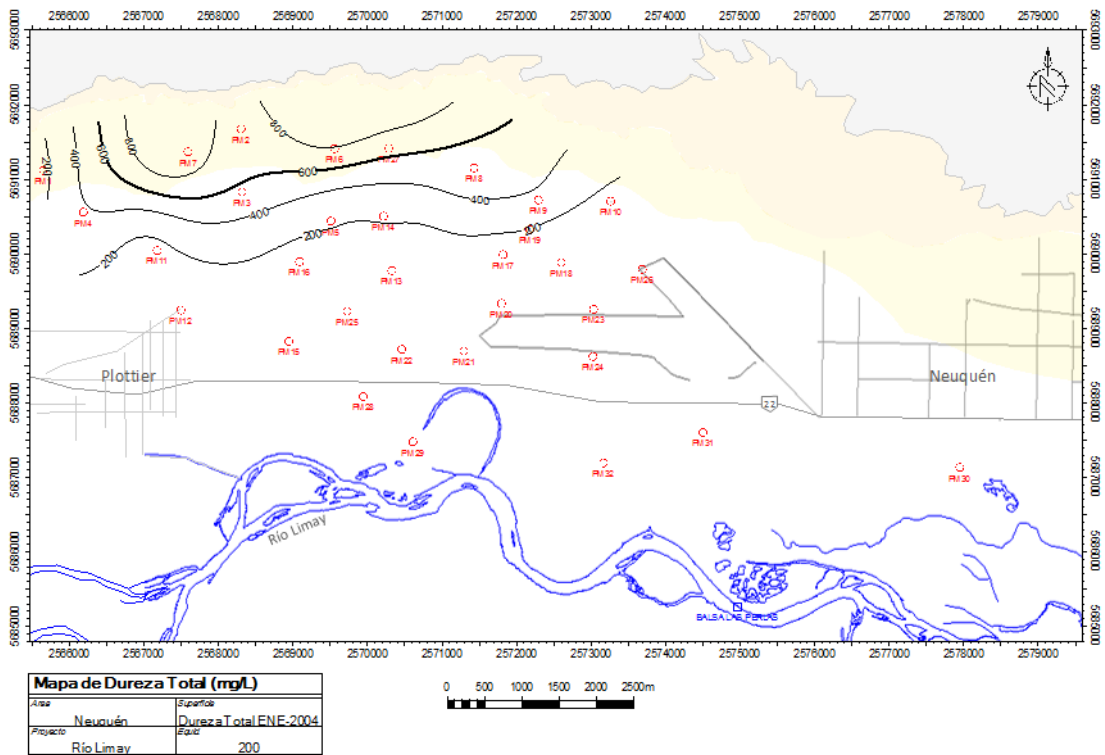
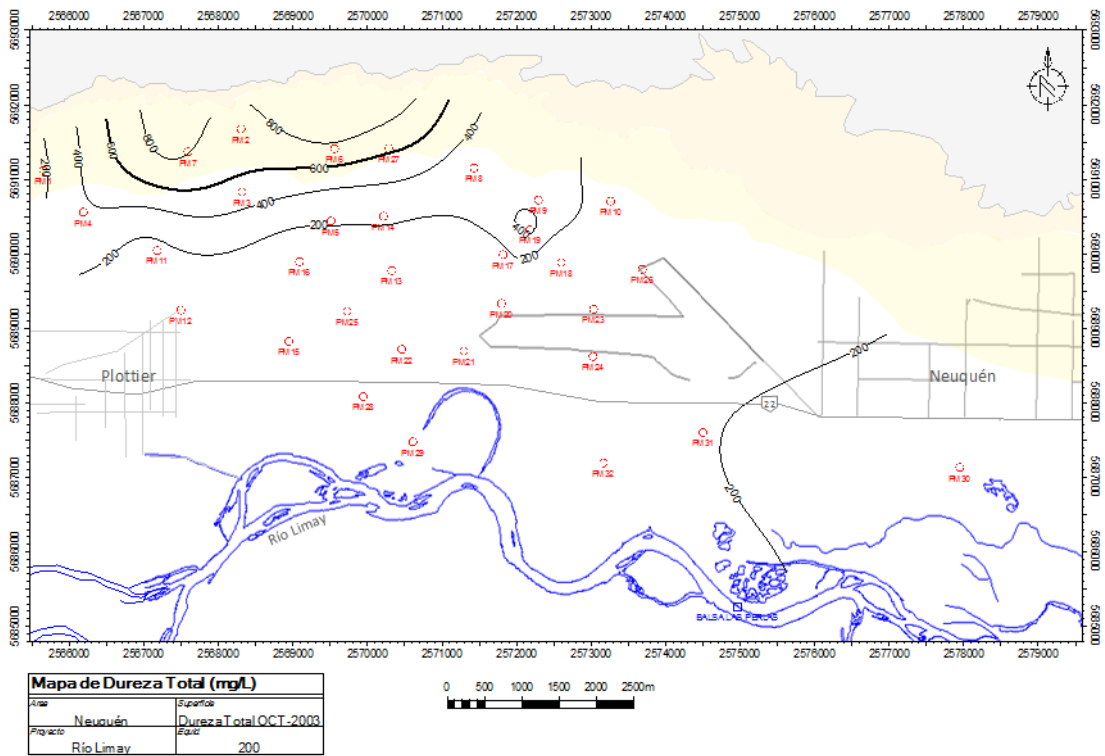




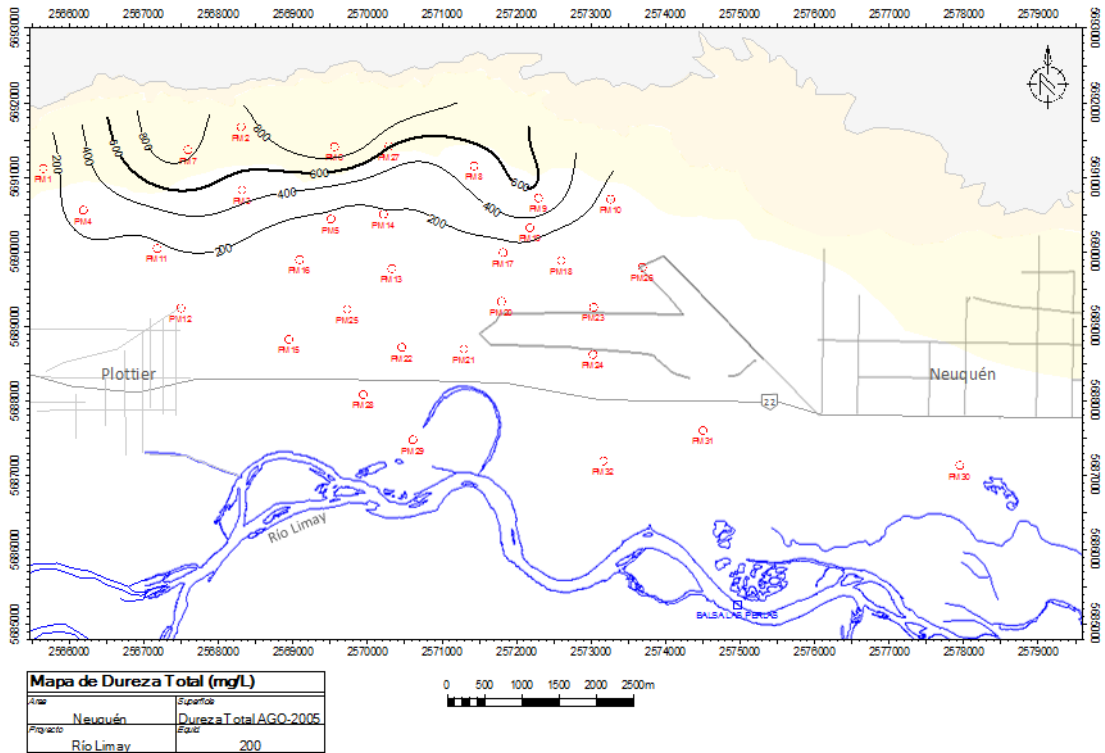
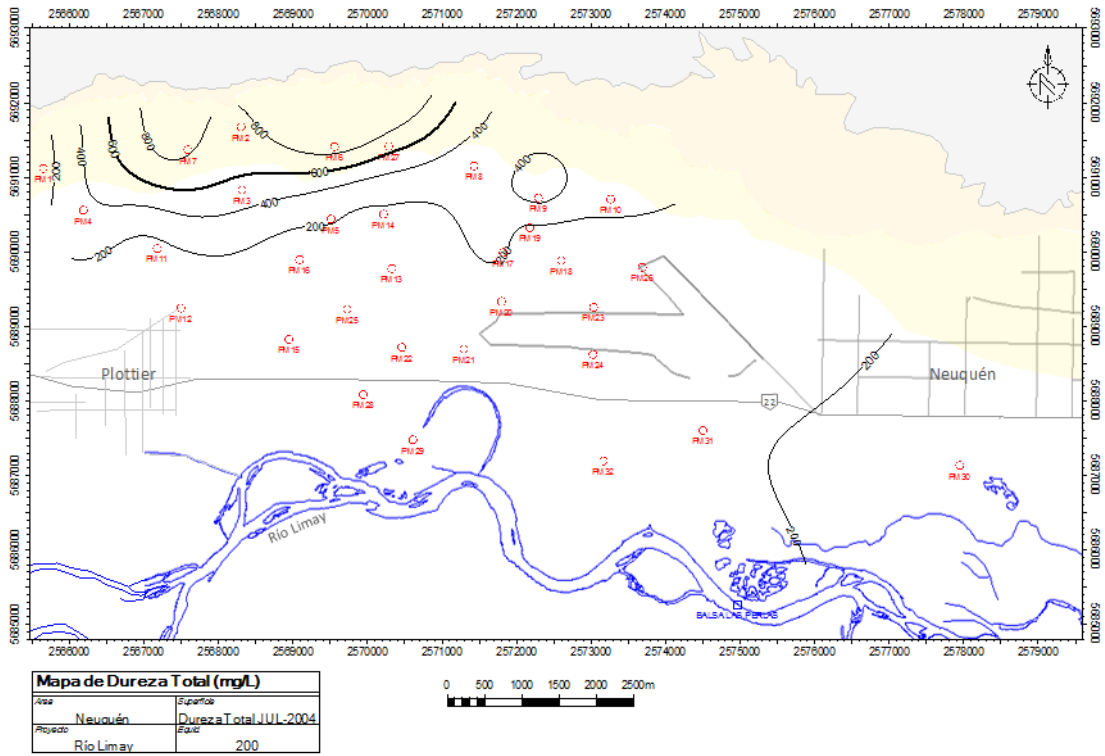


## **Dureza 2003-2005**

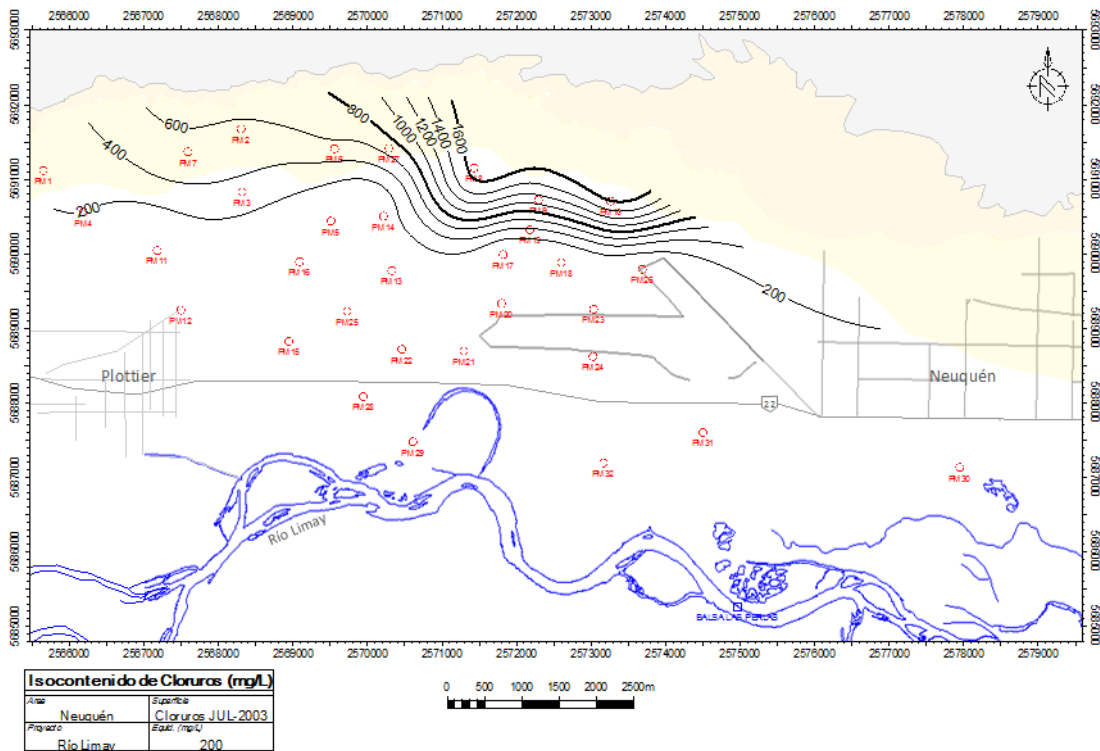
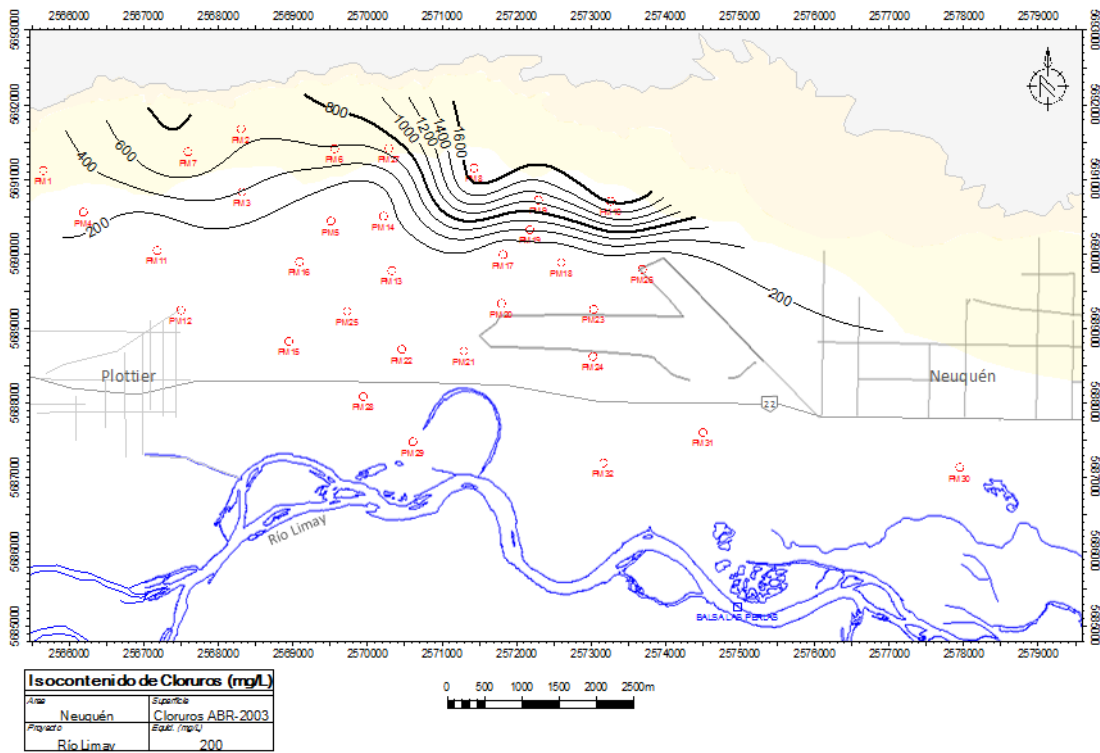


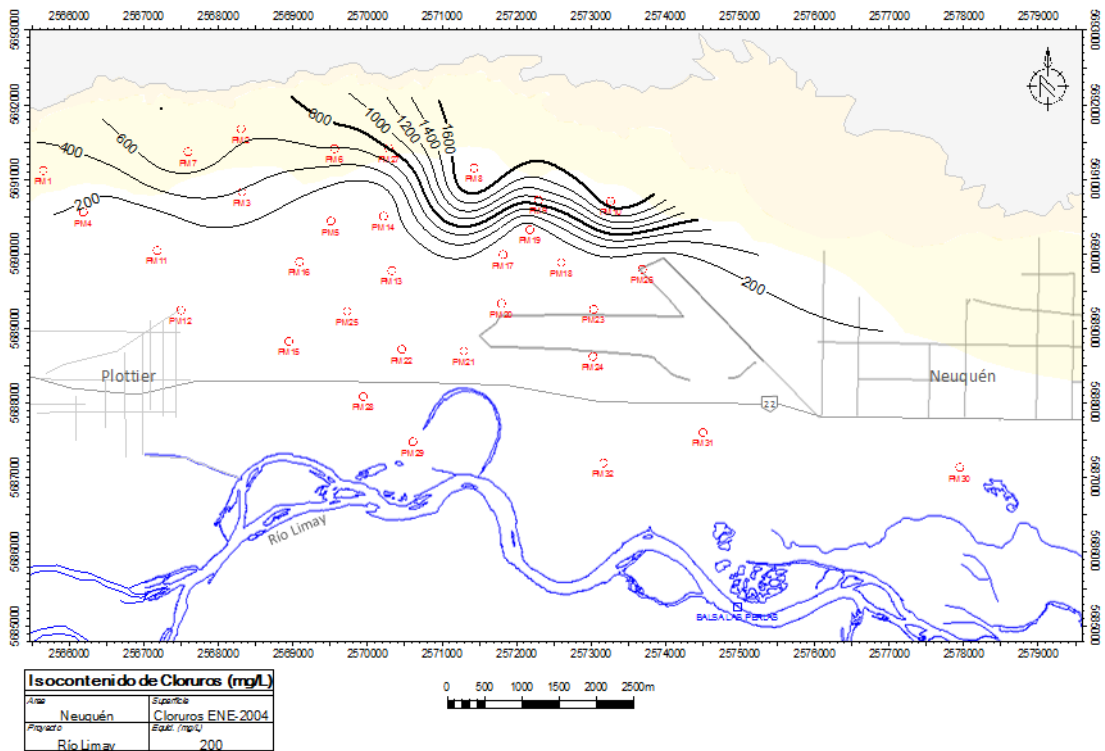
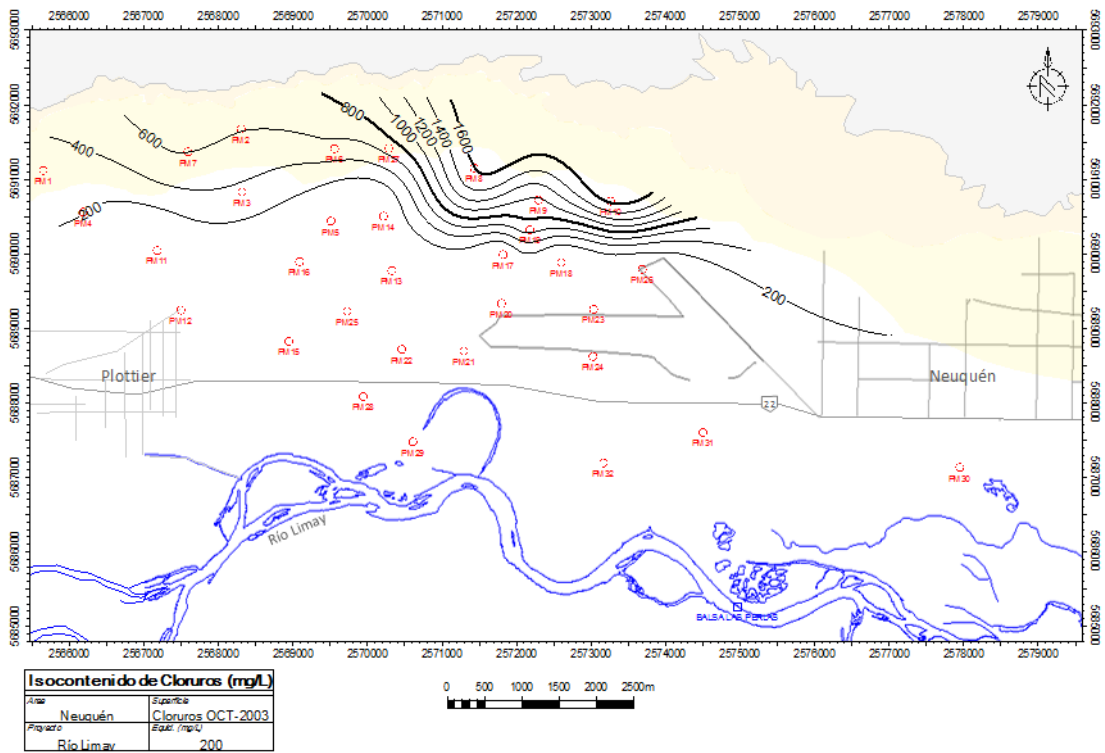


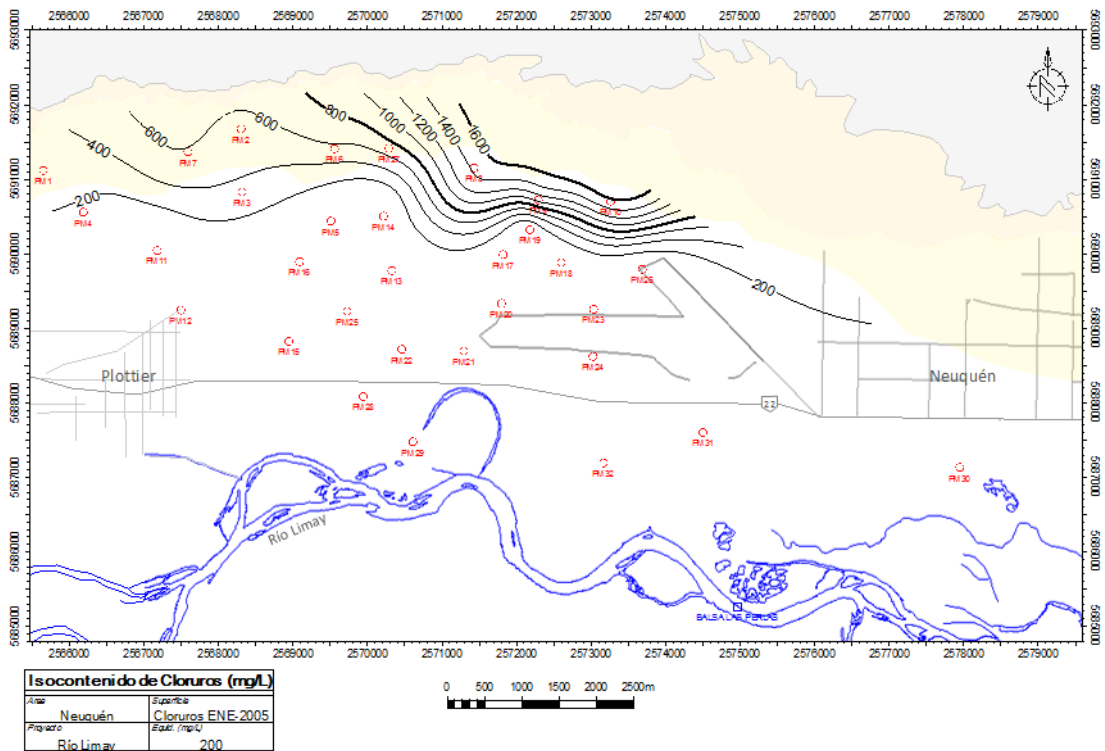
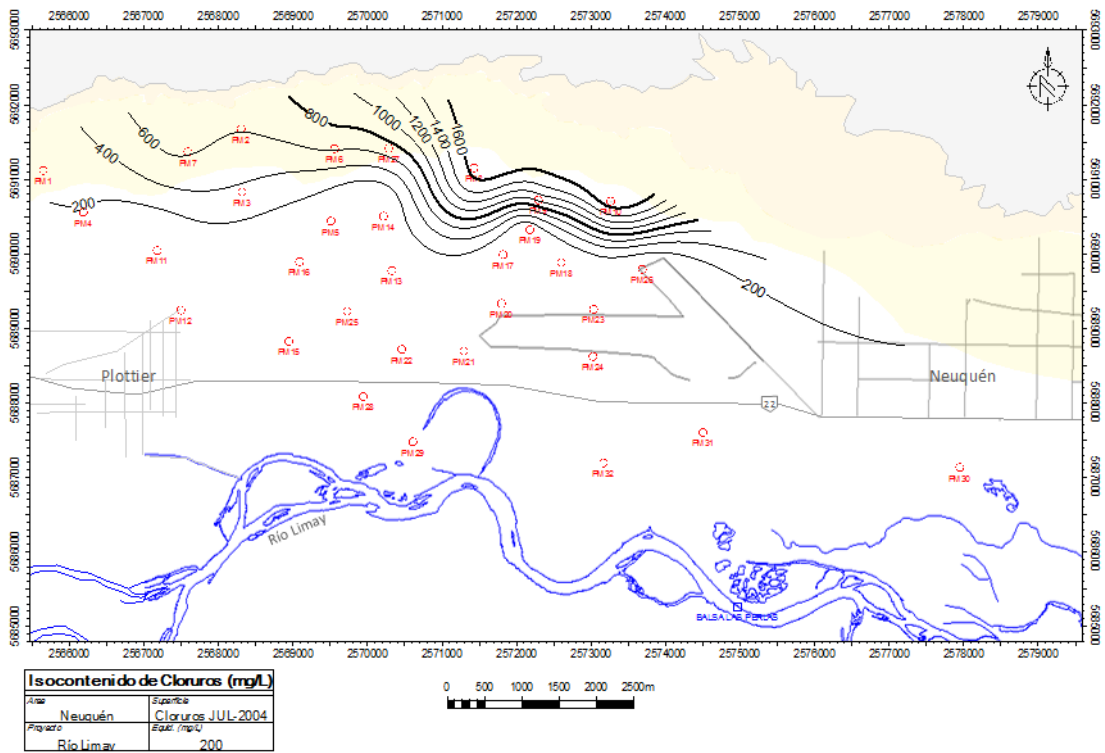


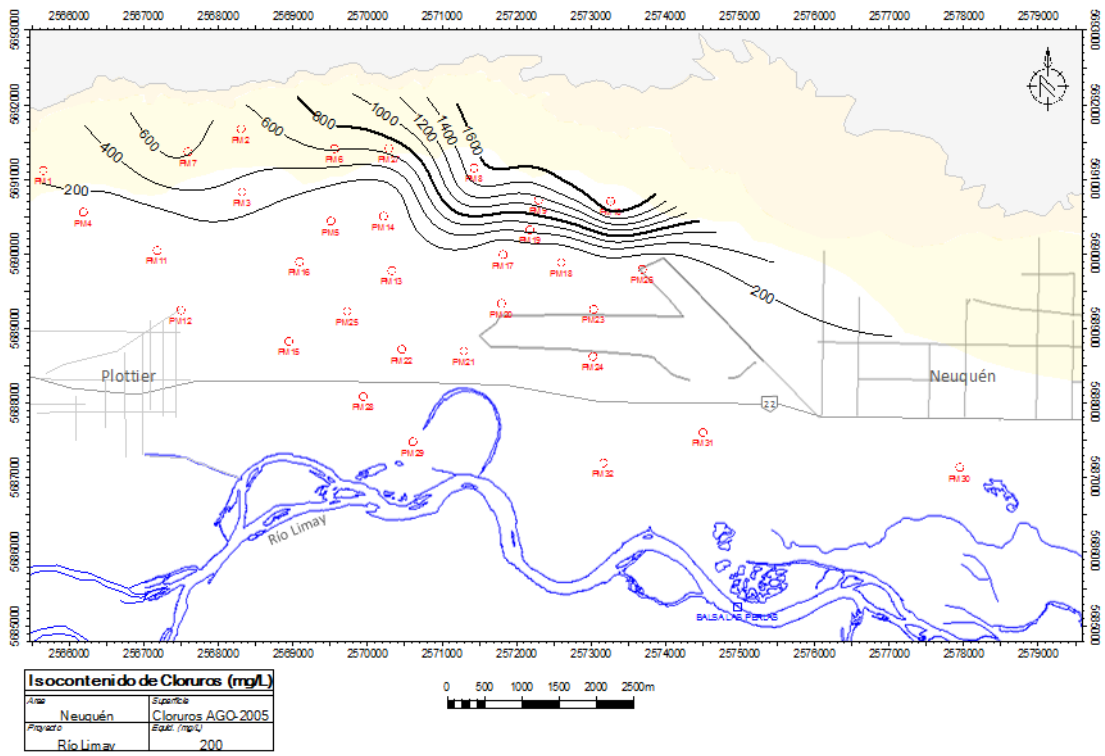


## **Cloruros 2003 -2005**

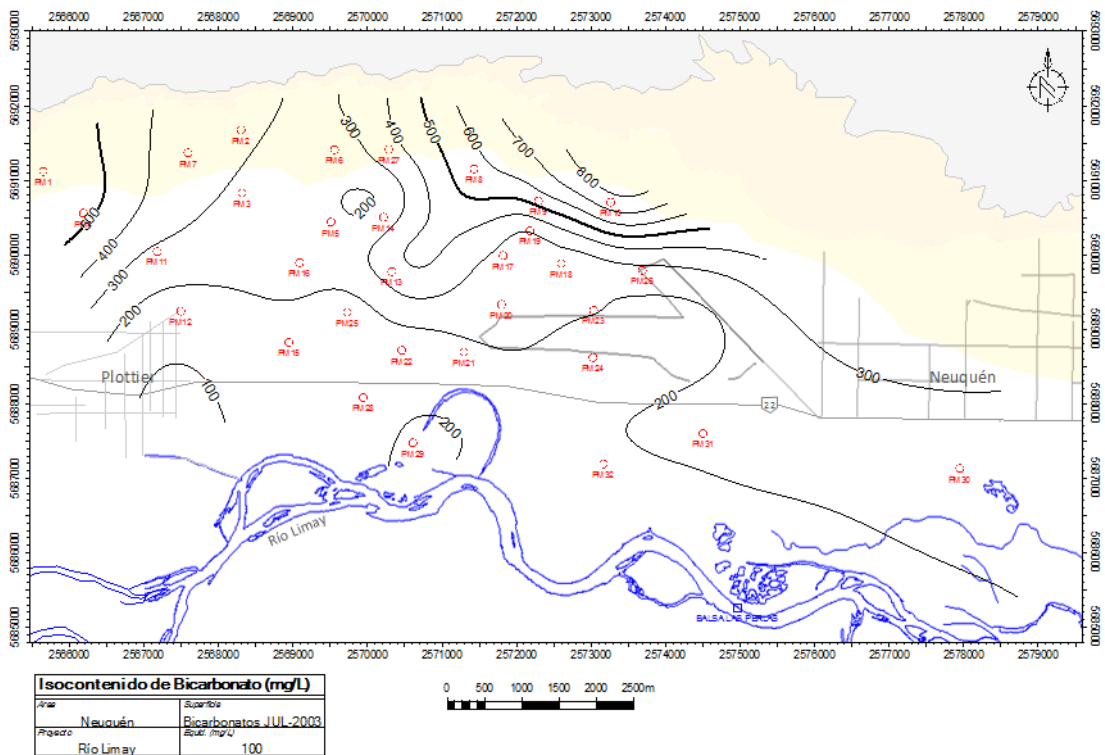
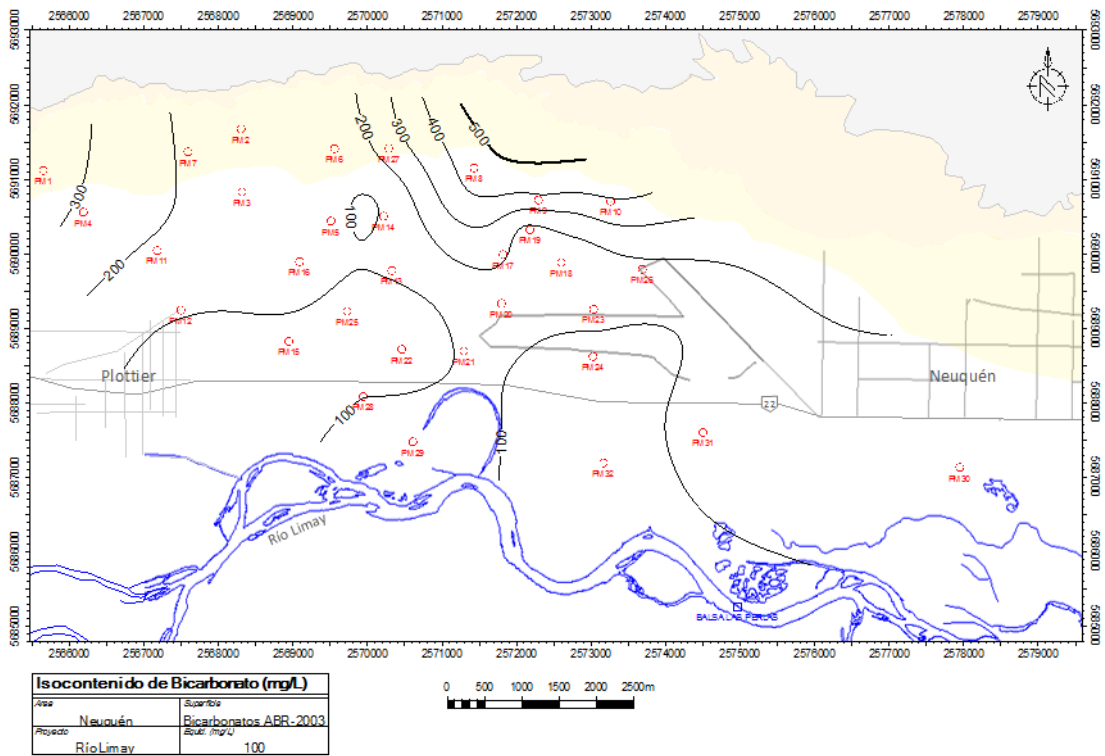




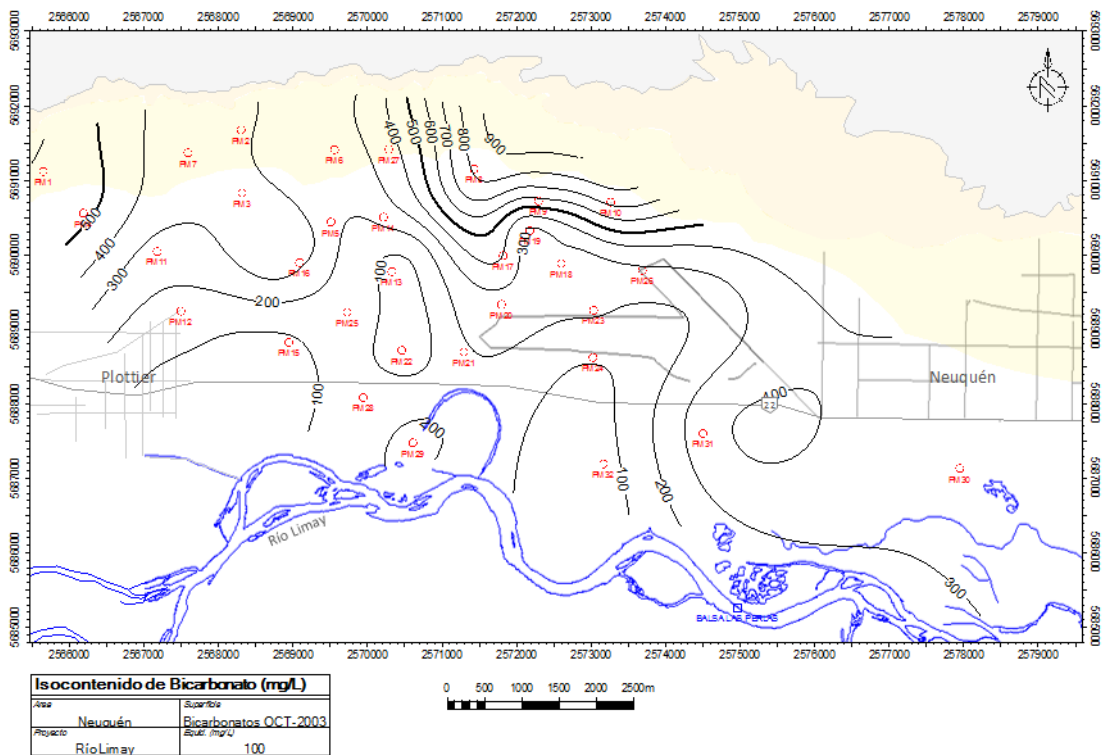
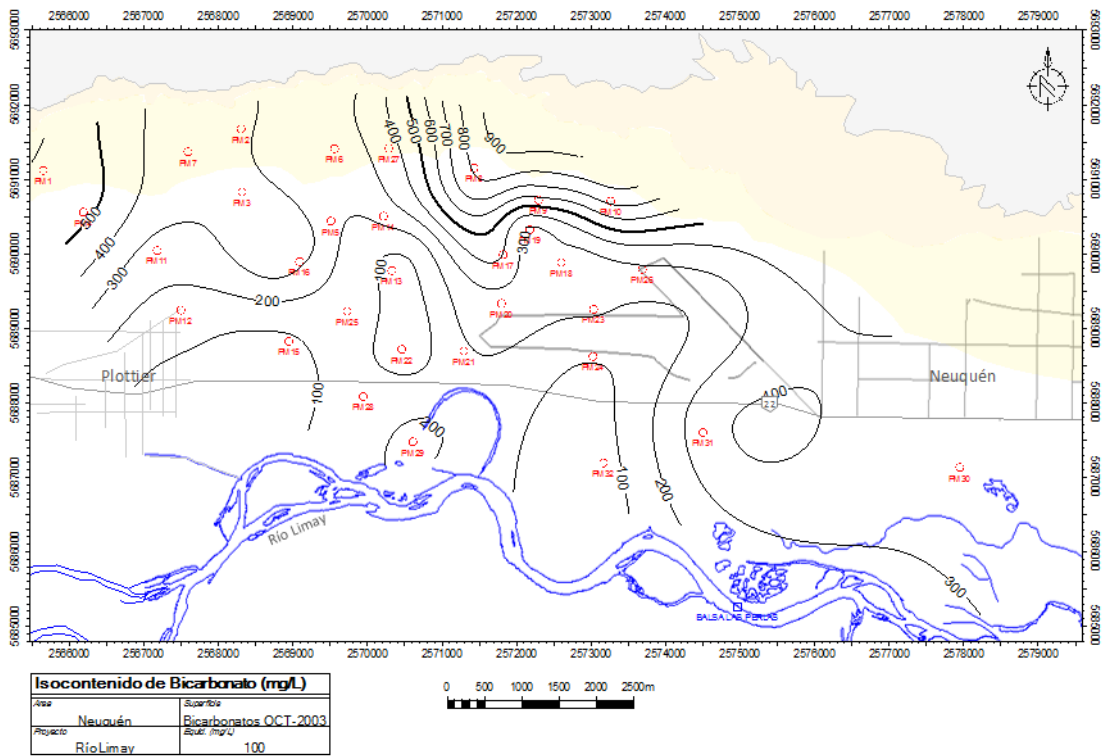


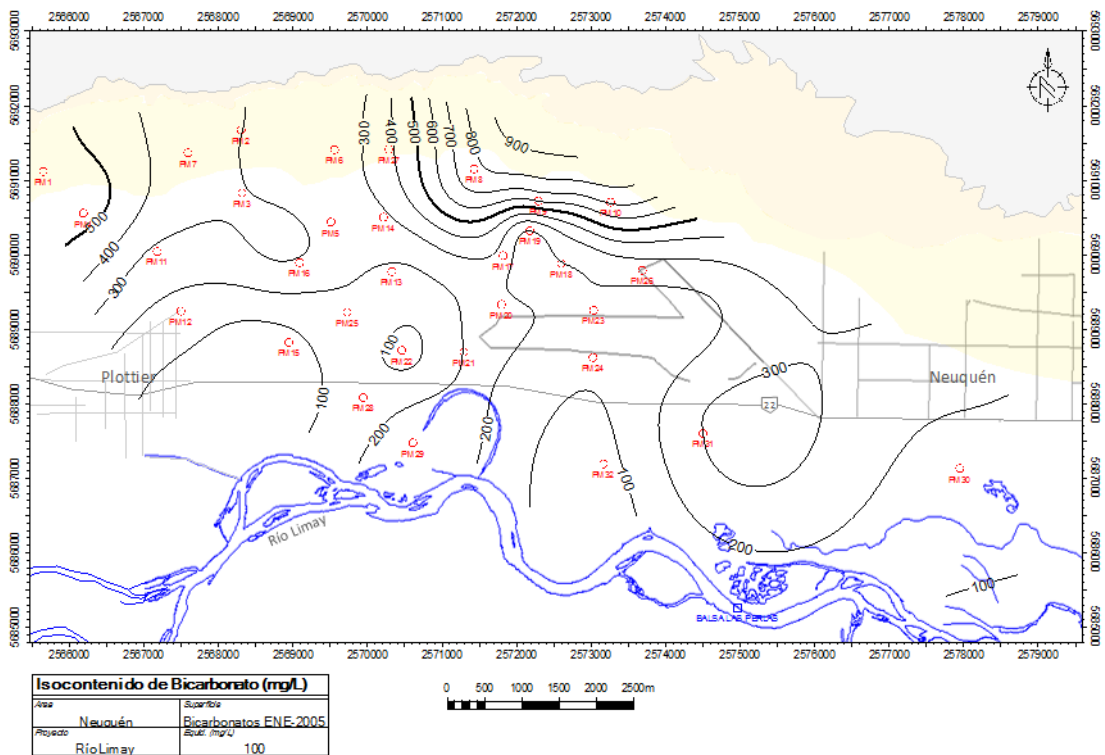
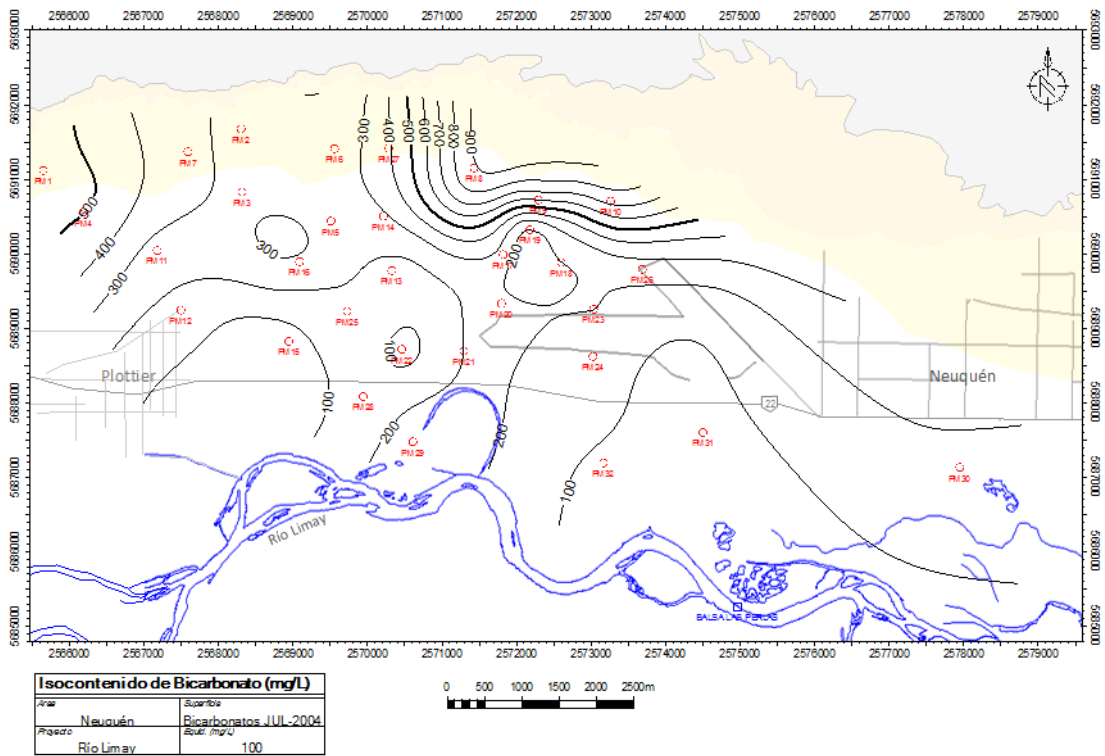


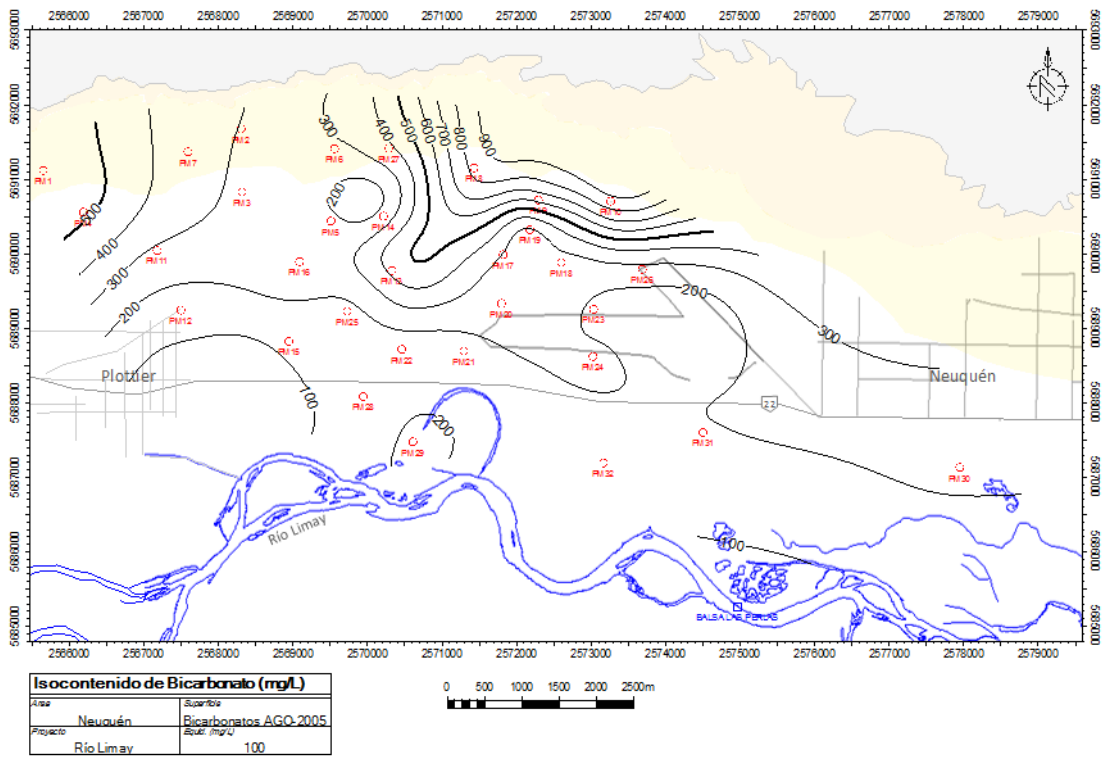
## **Bicarbonatos 2003 -2005**



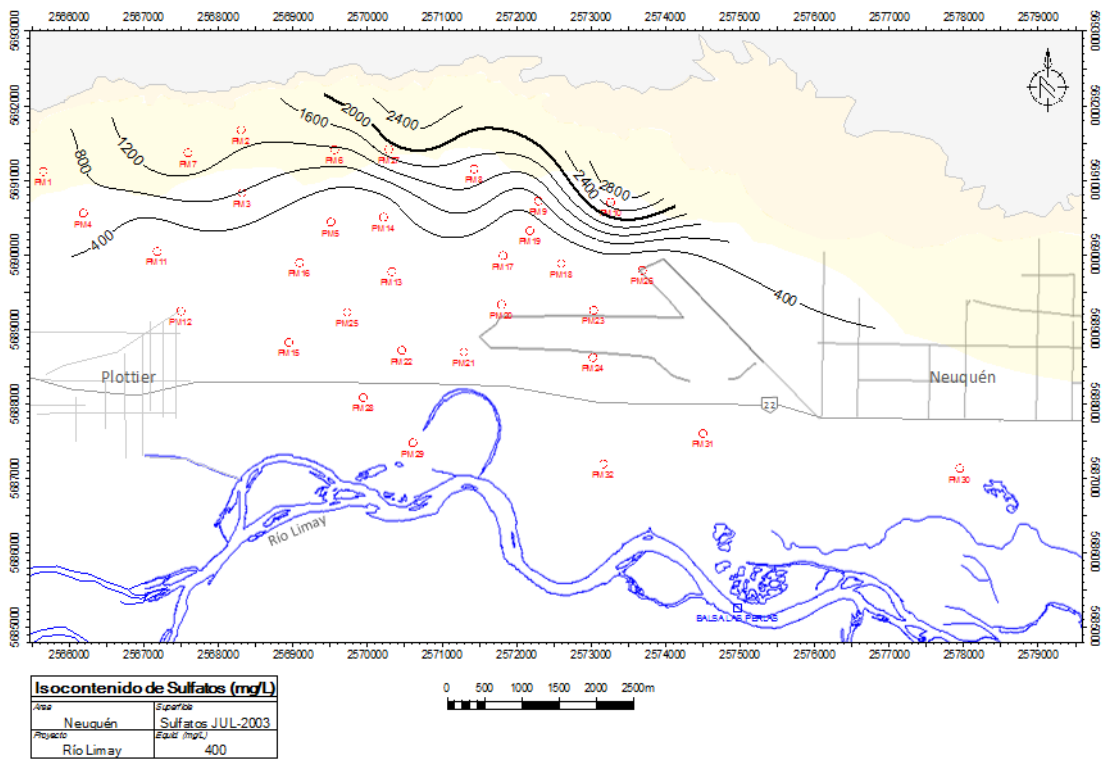
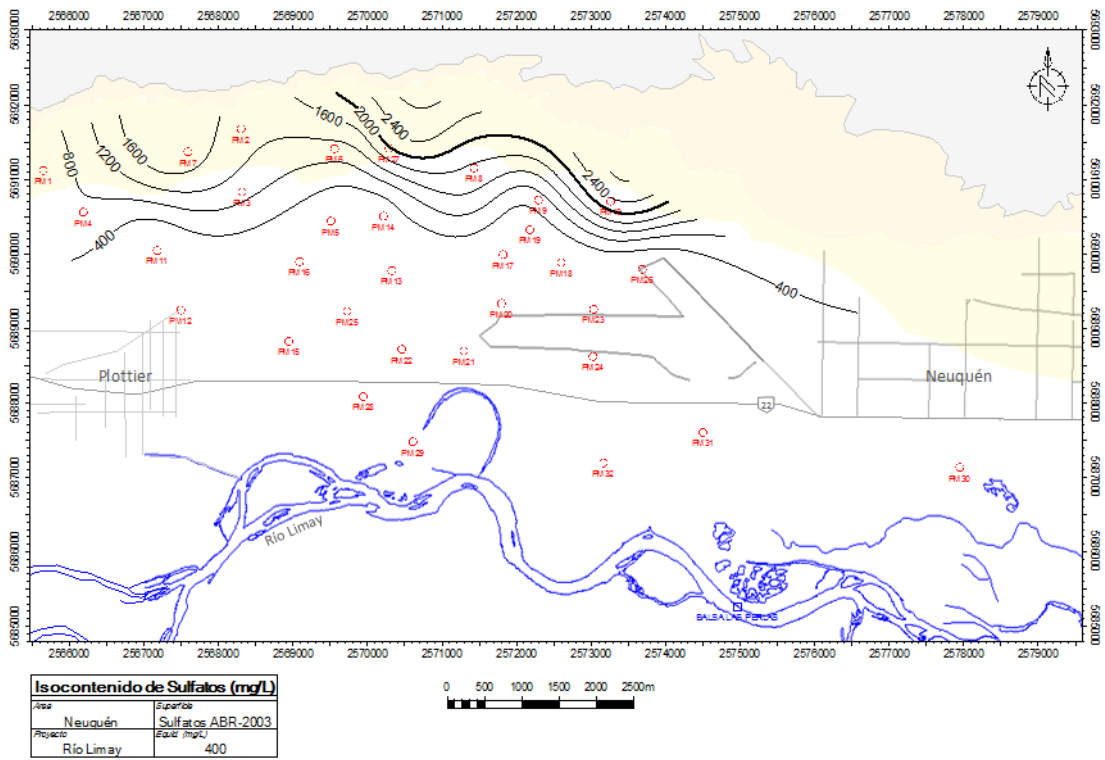


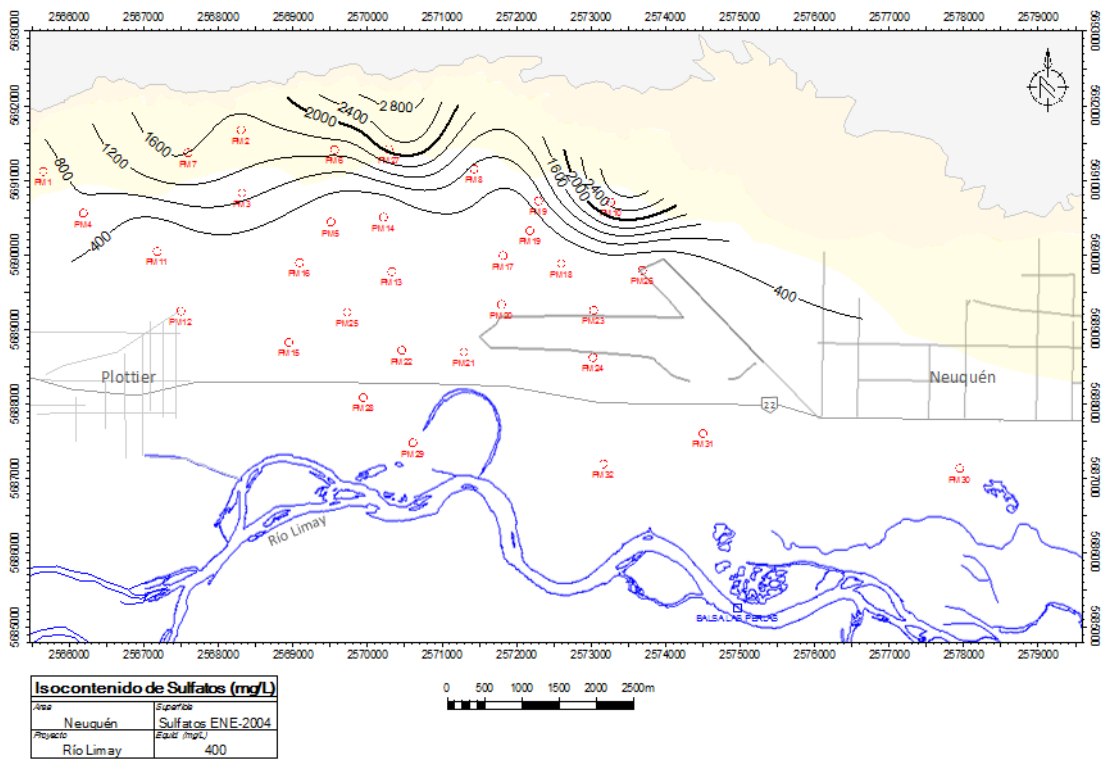
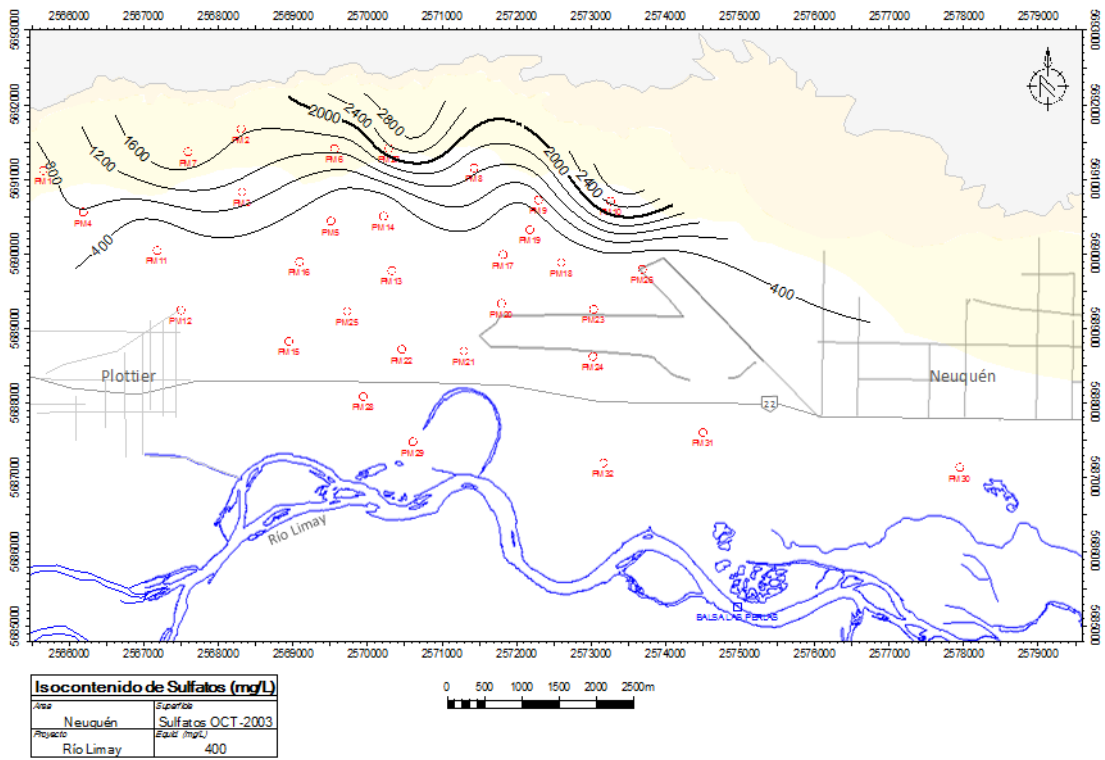


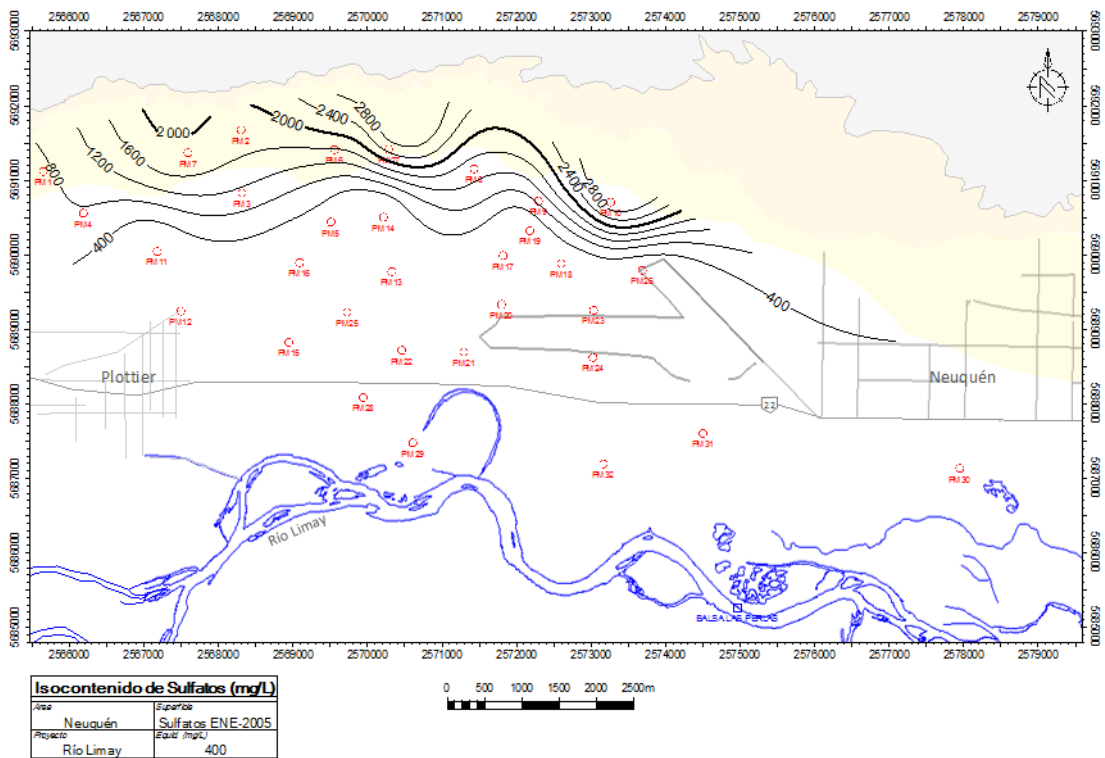
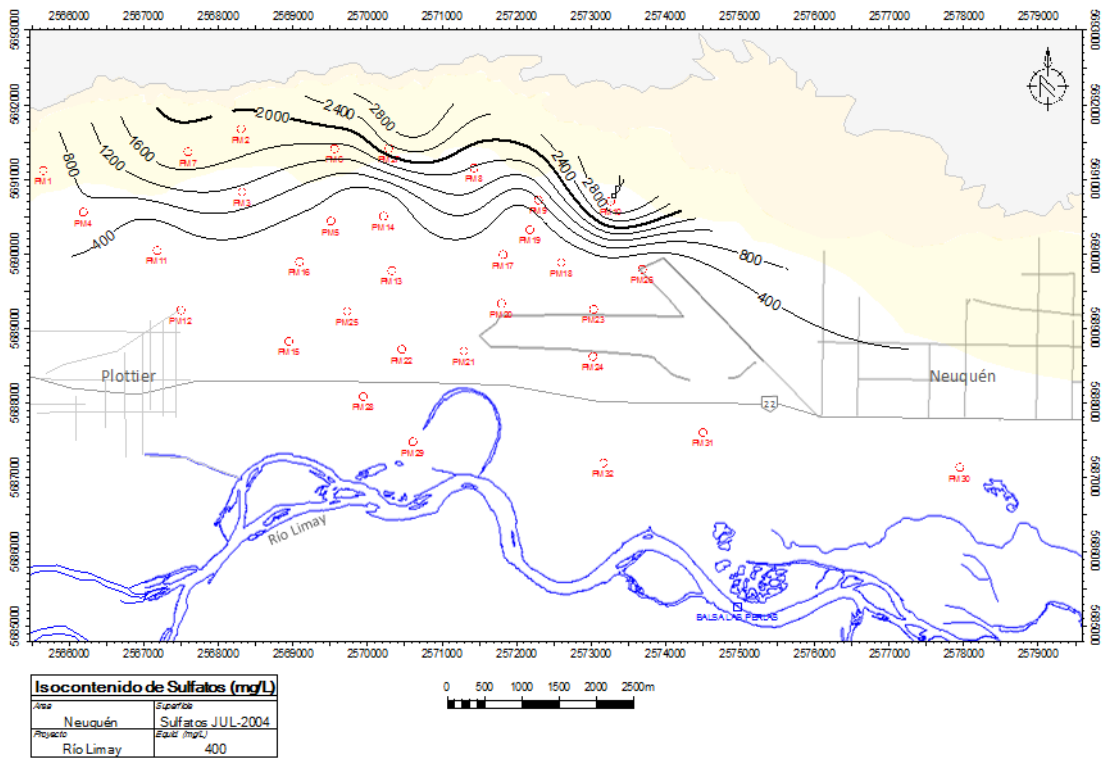


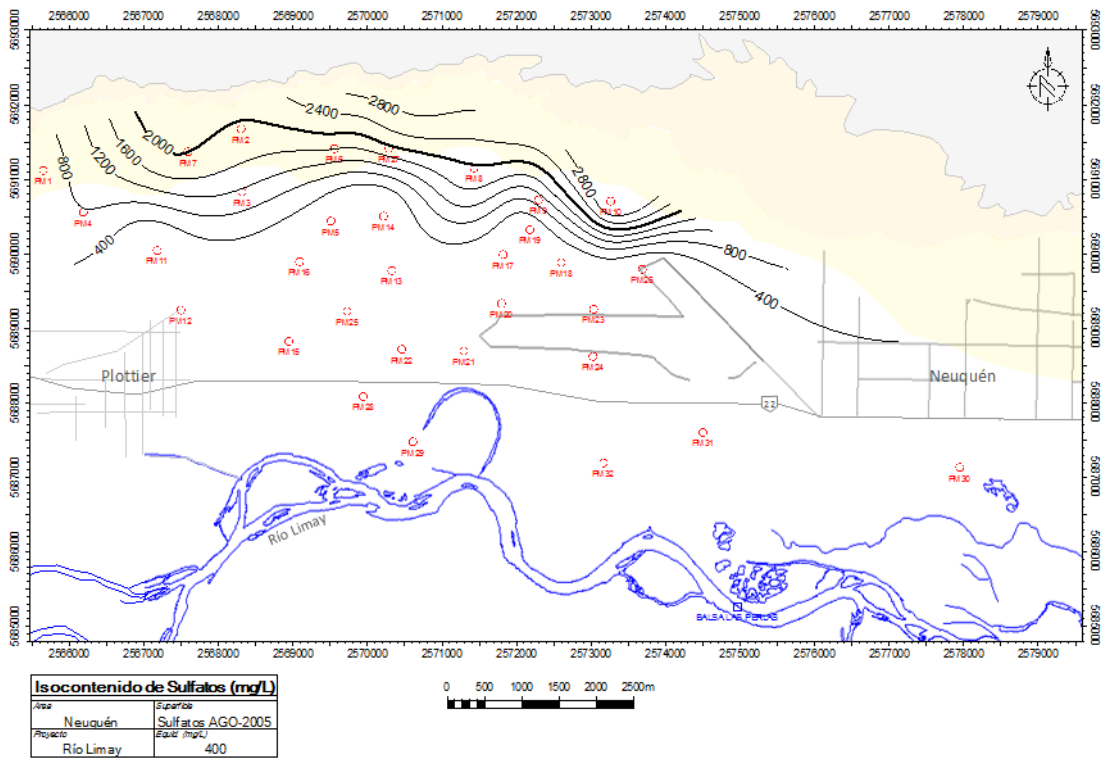


## **Sulfatos 2003 -2005**



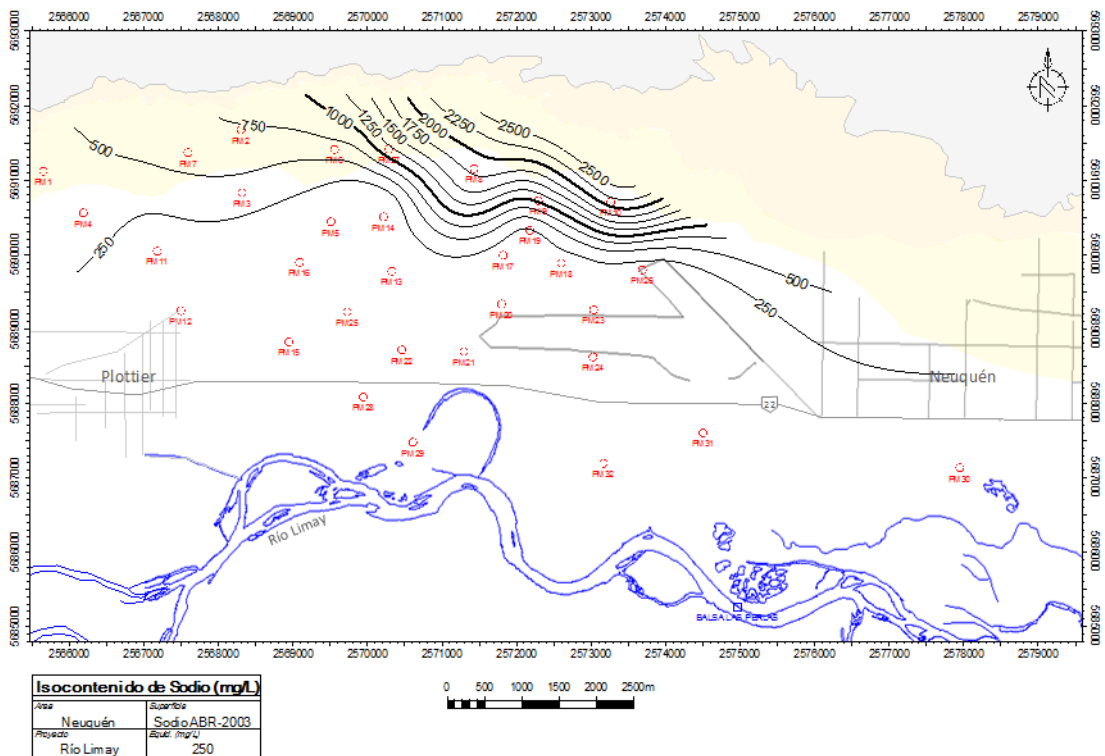
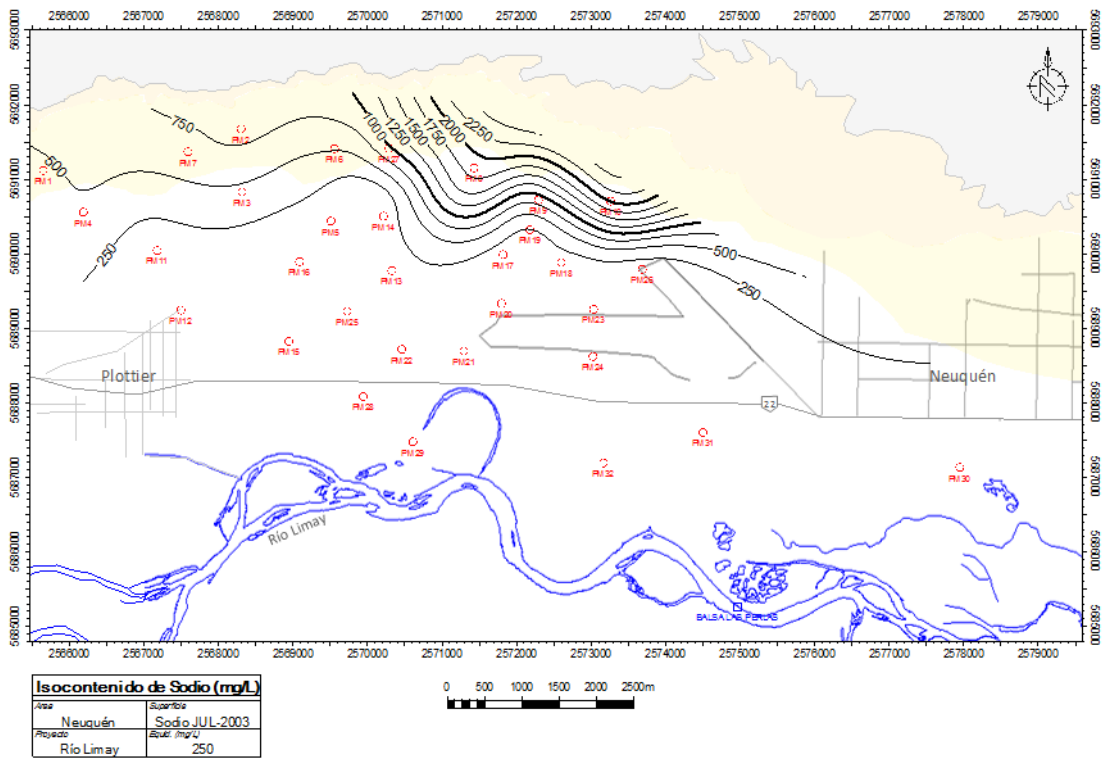


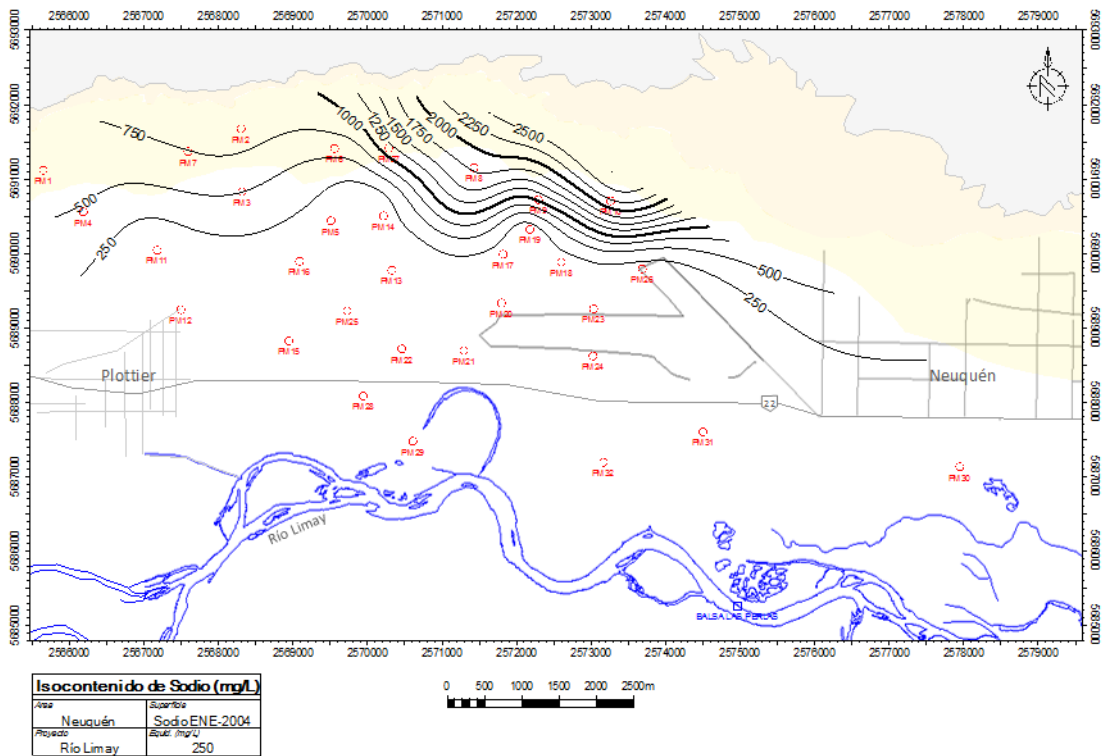
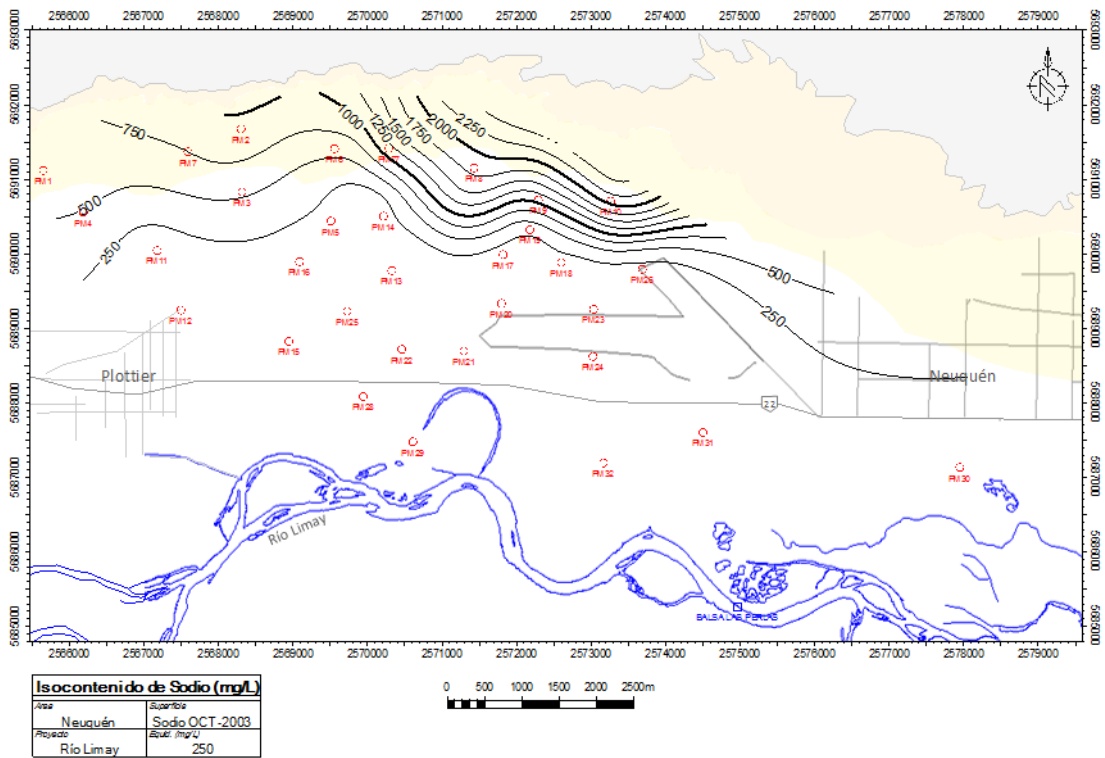


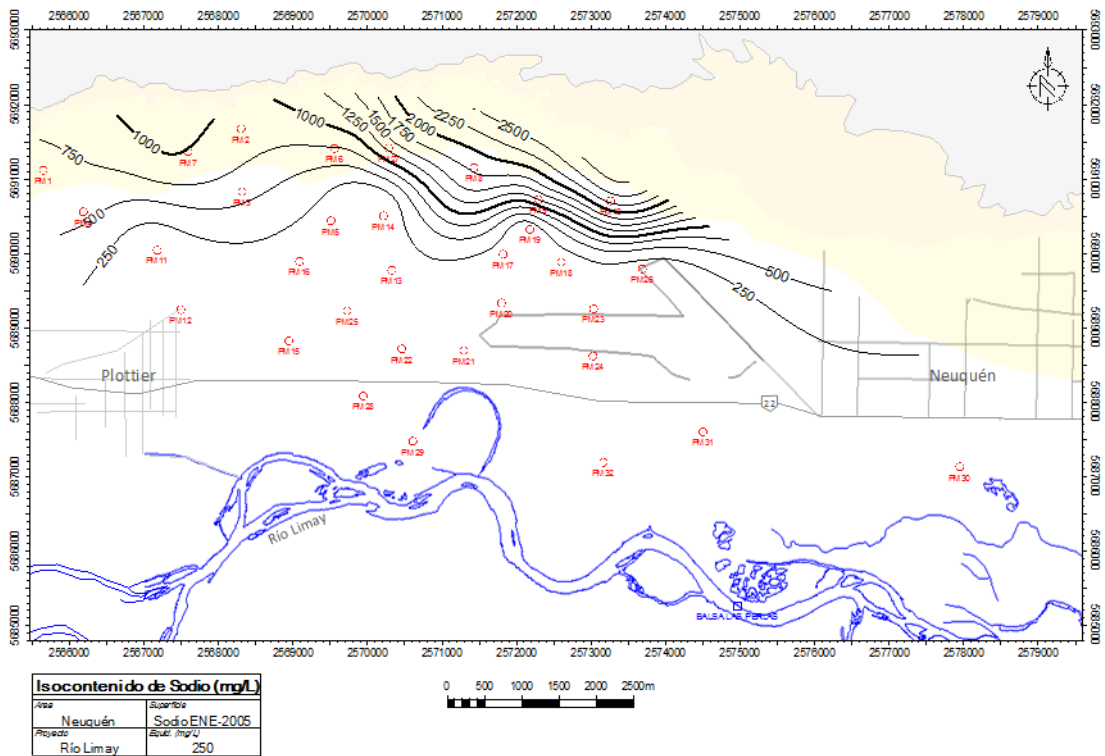
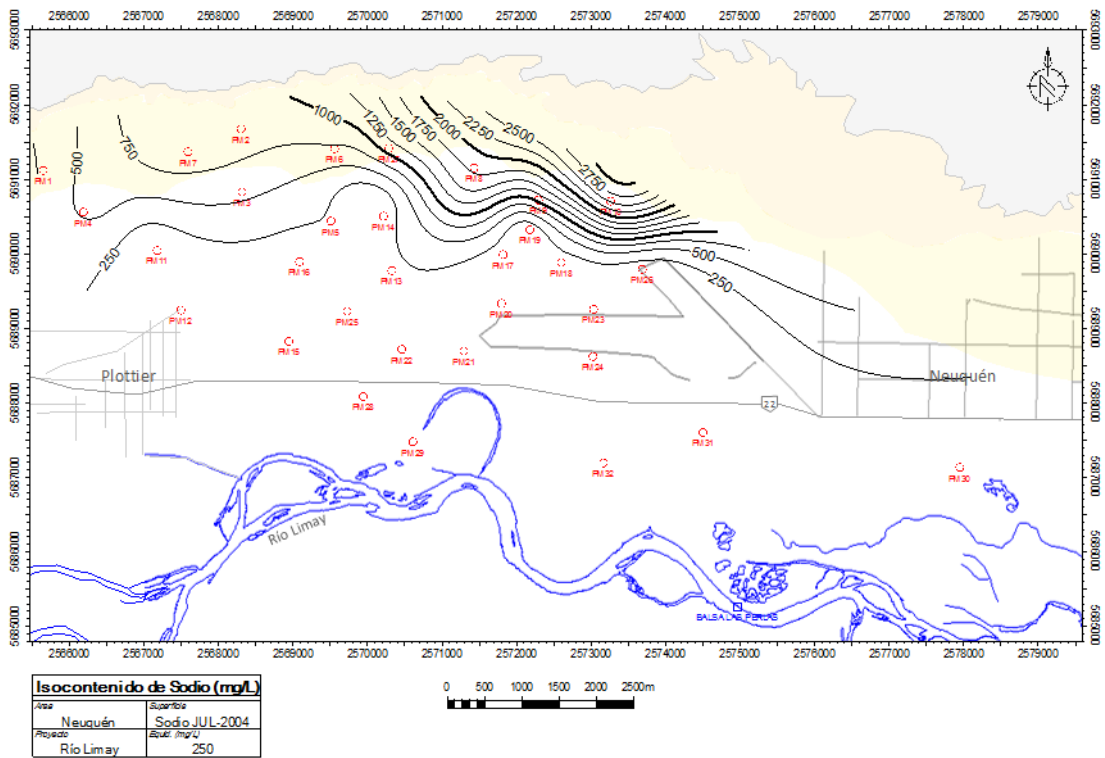


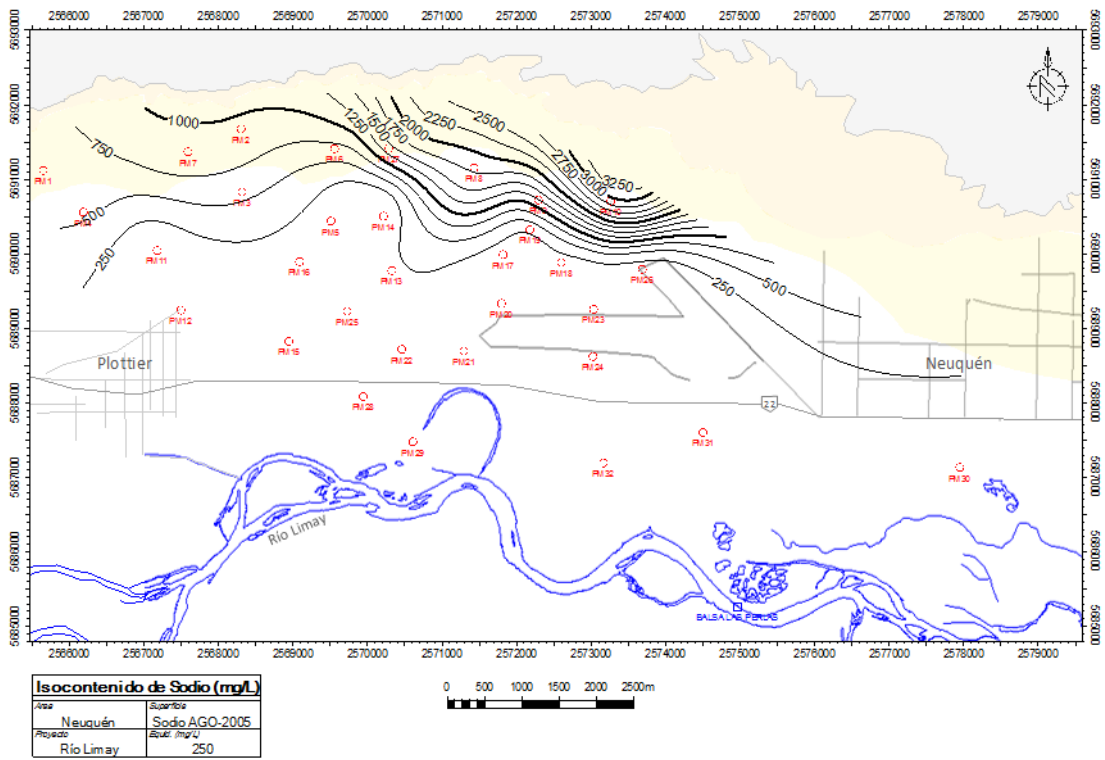


## **Sodio 2003 -2005**

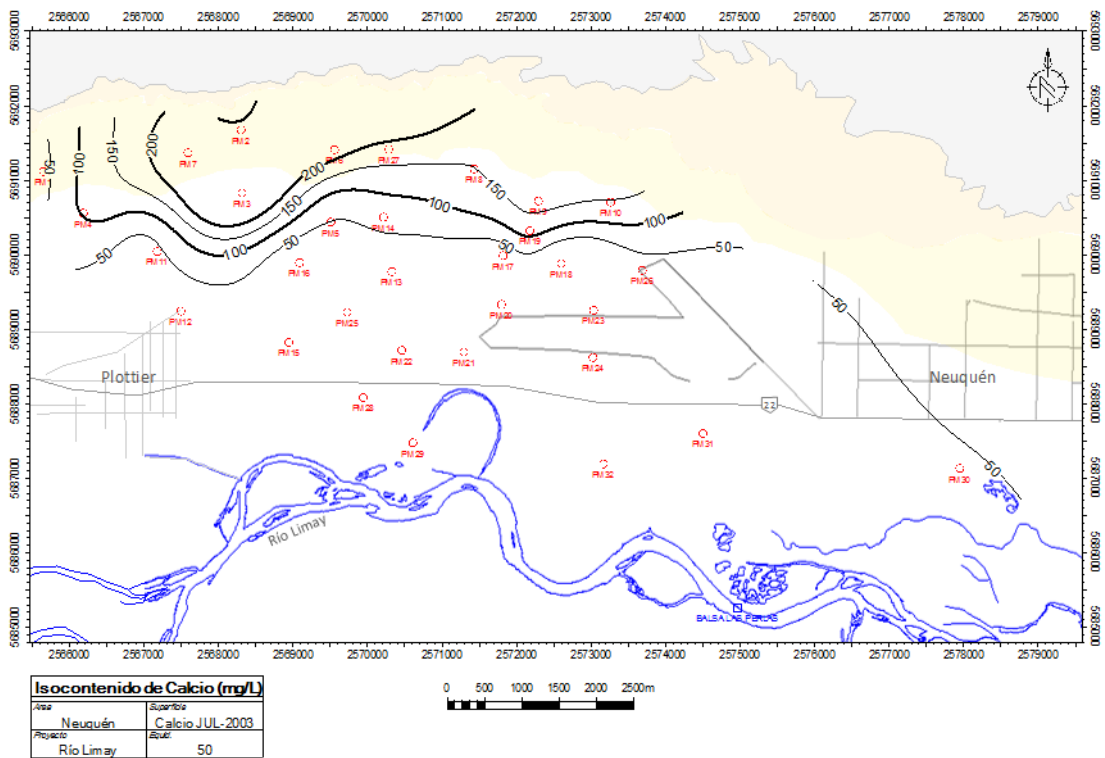
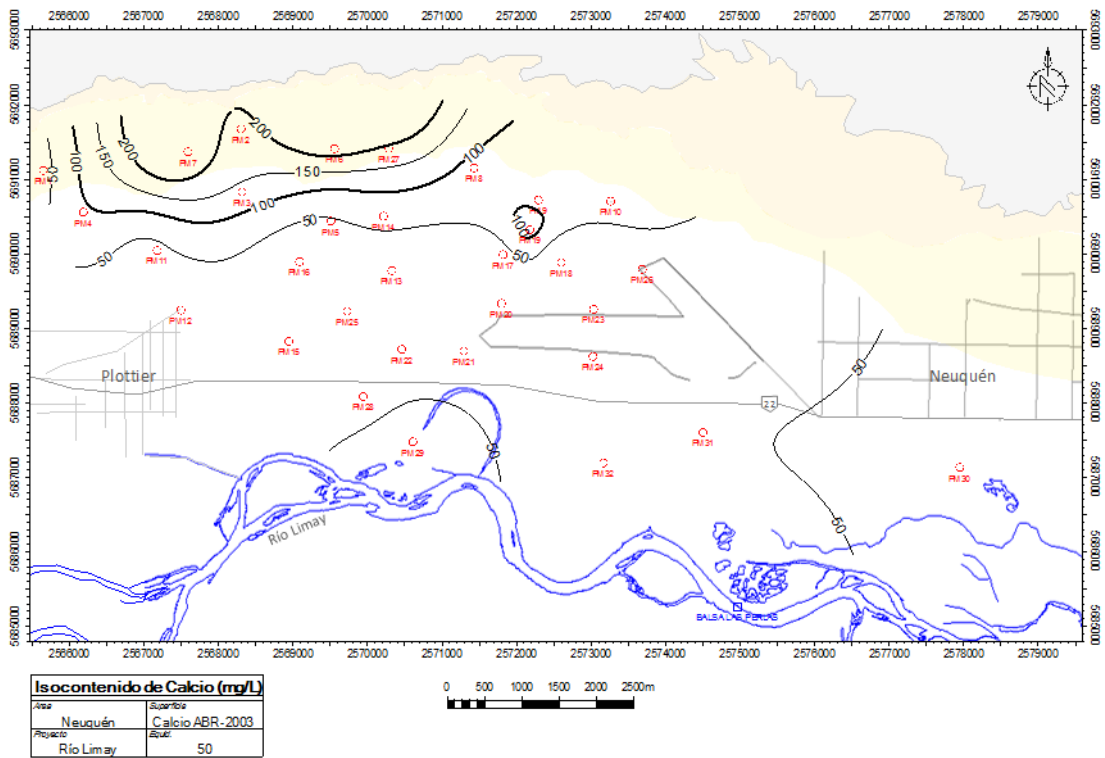


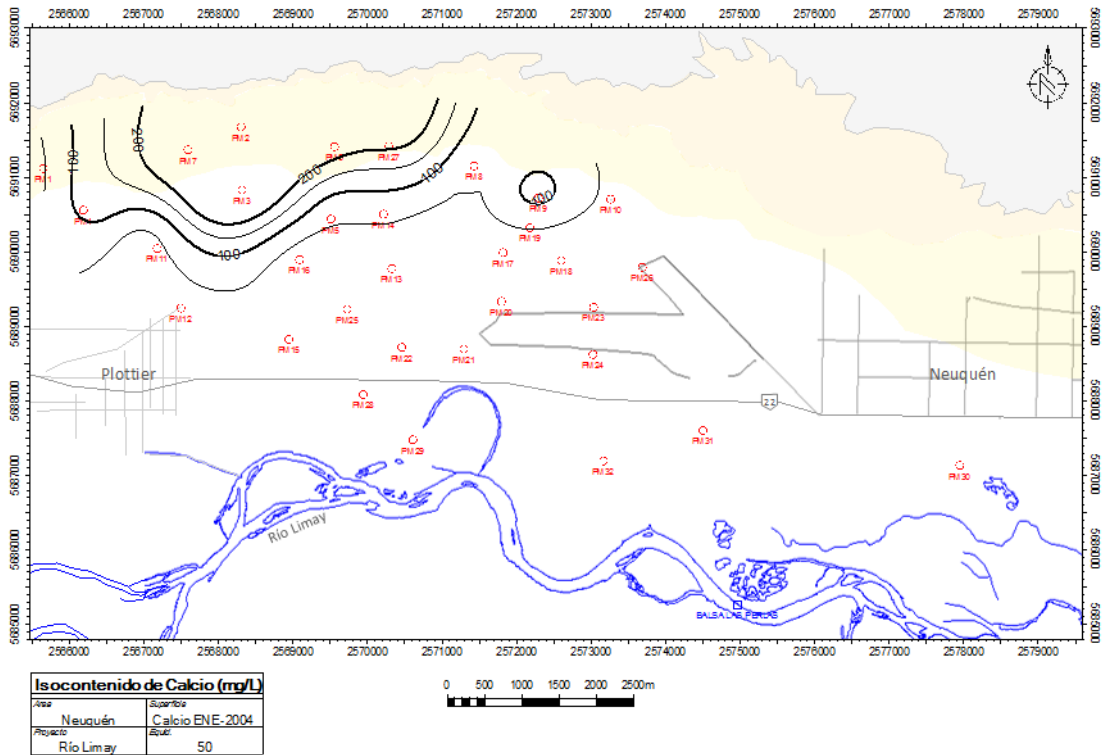
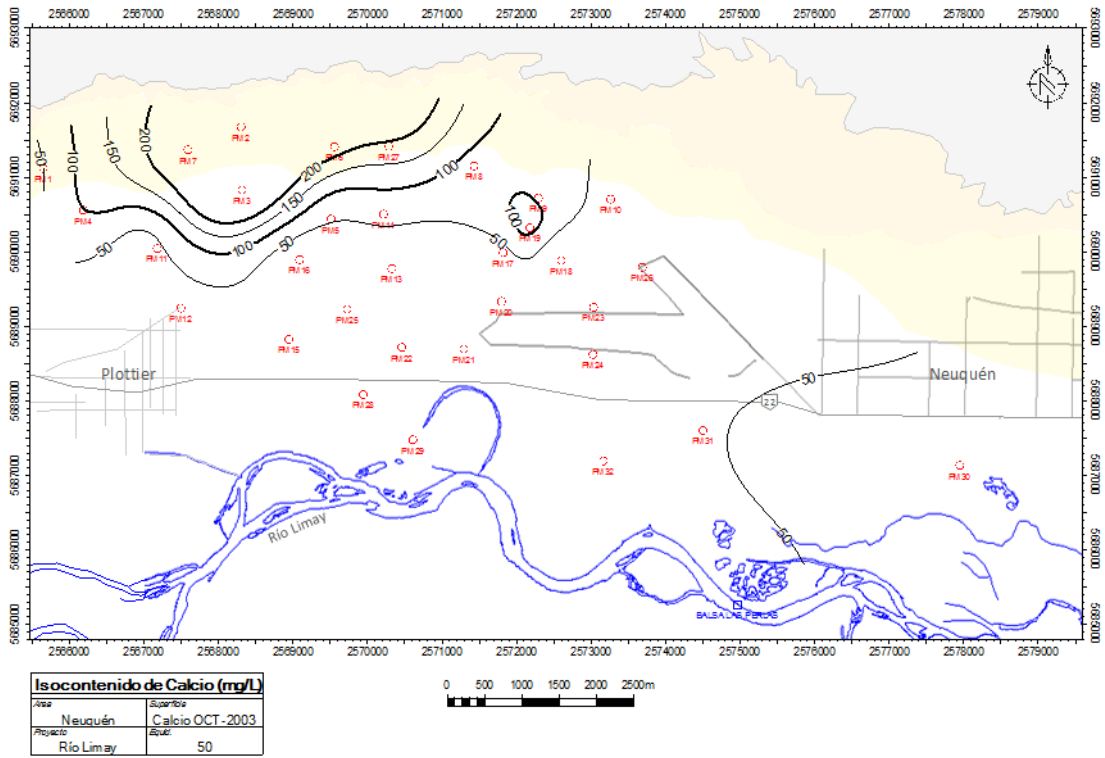




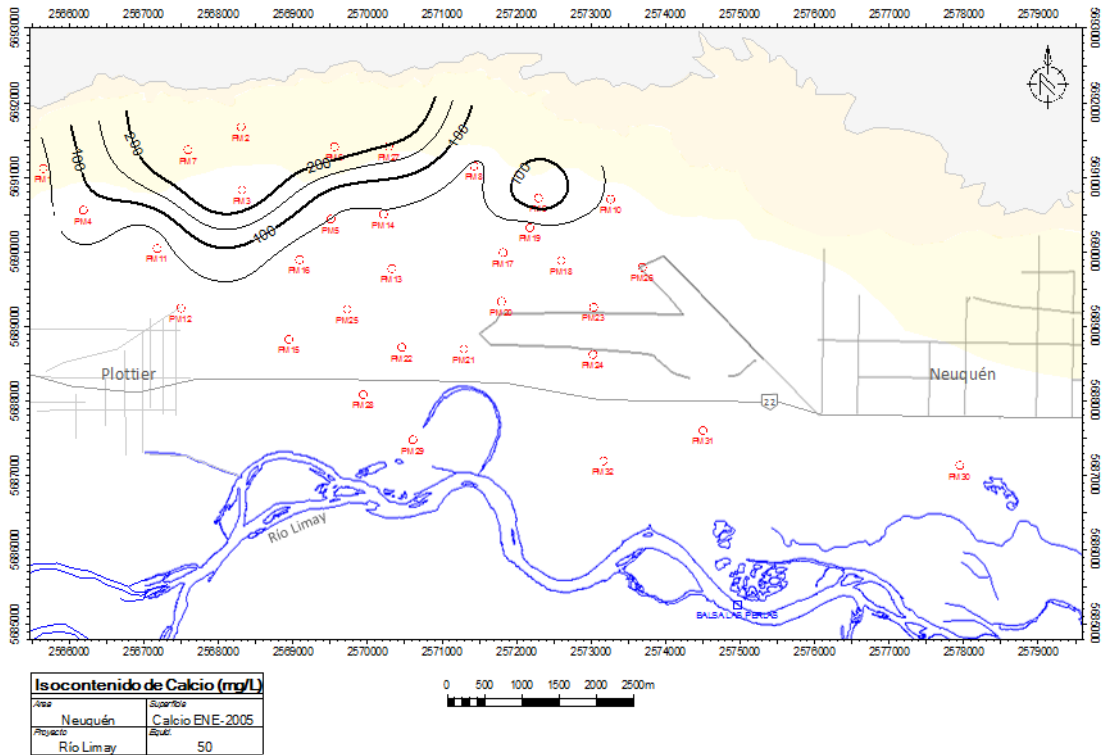
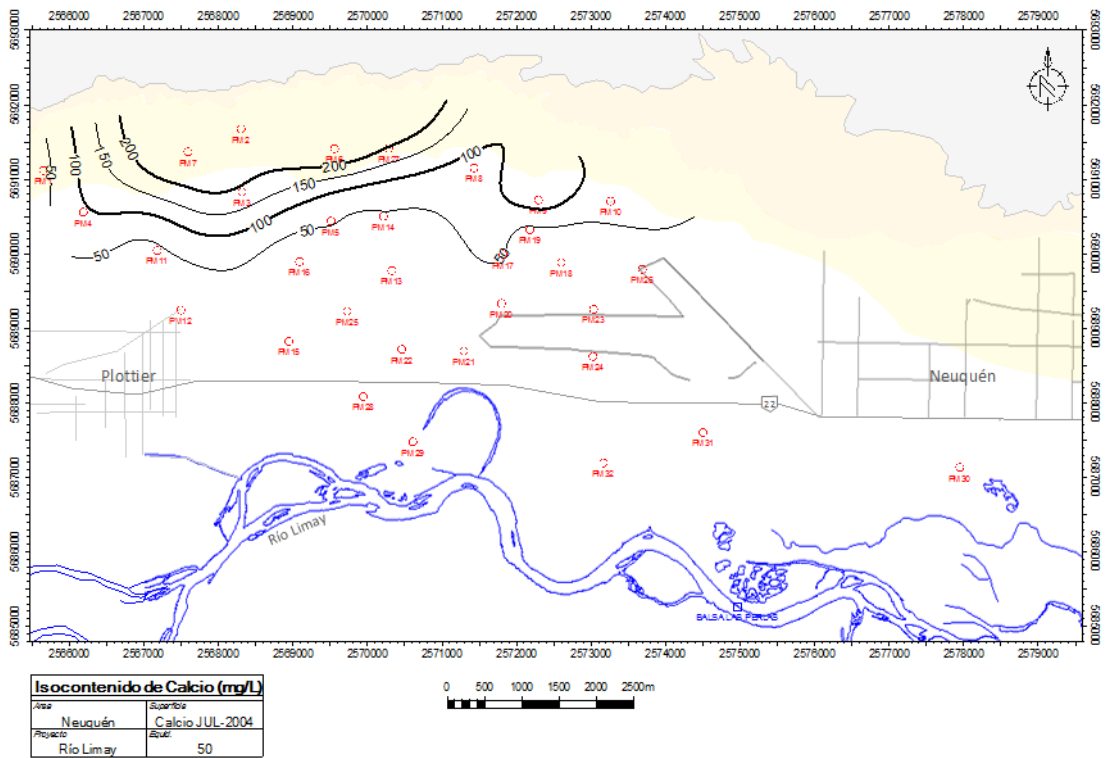


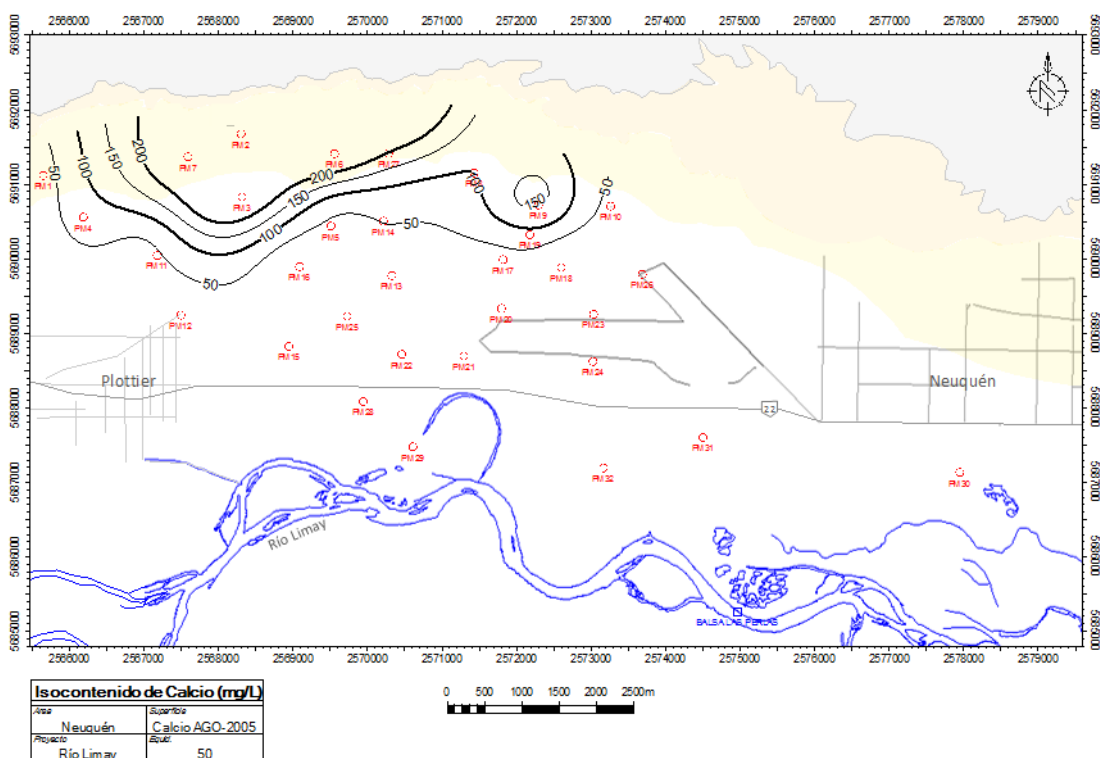
## **1.1. Calcio 2003 -2005**



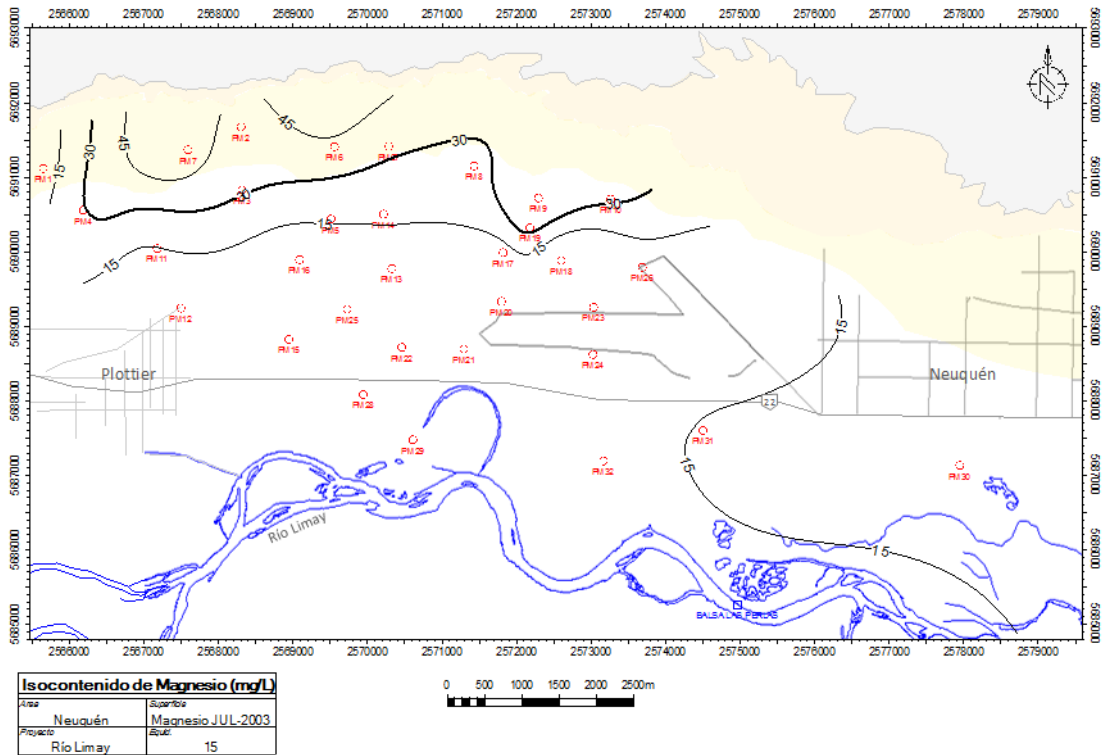
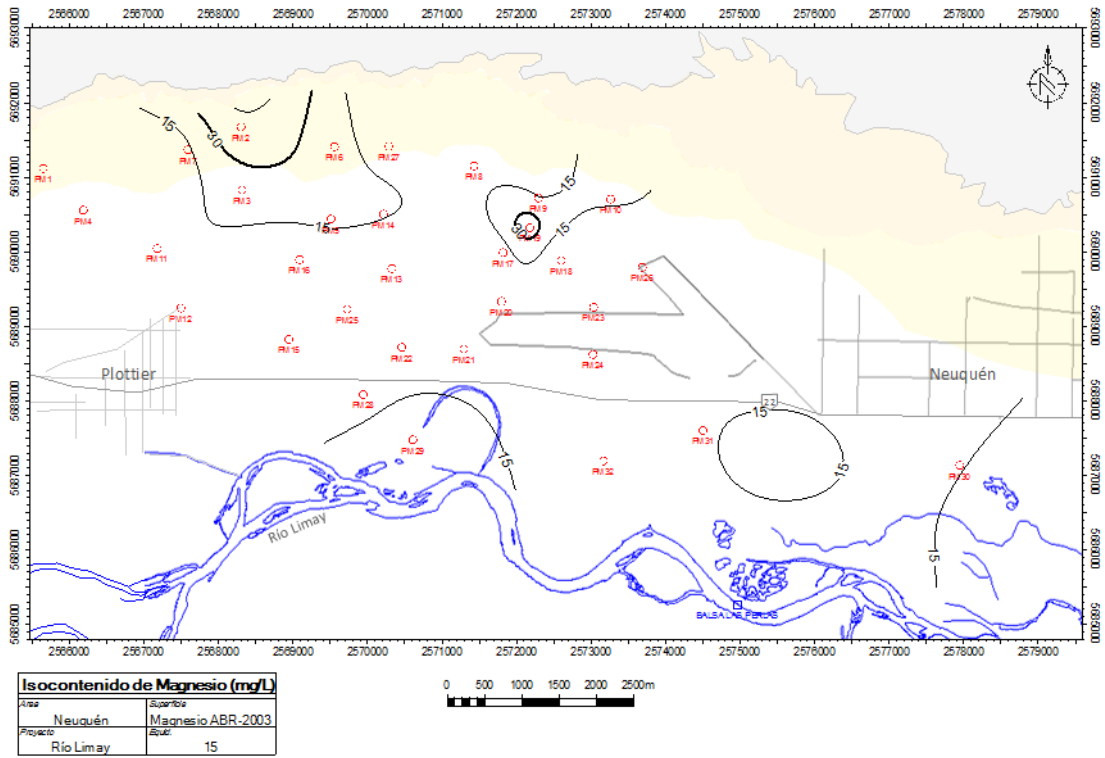


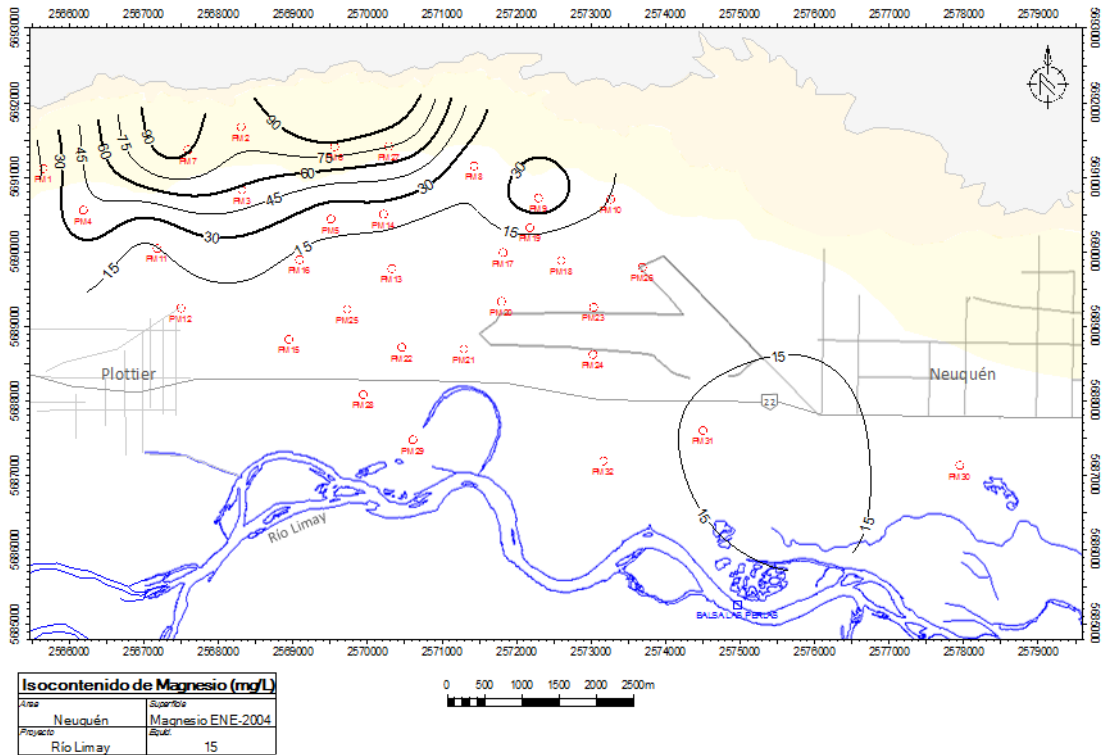
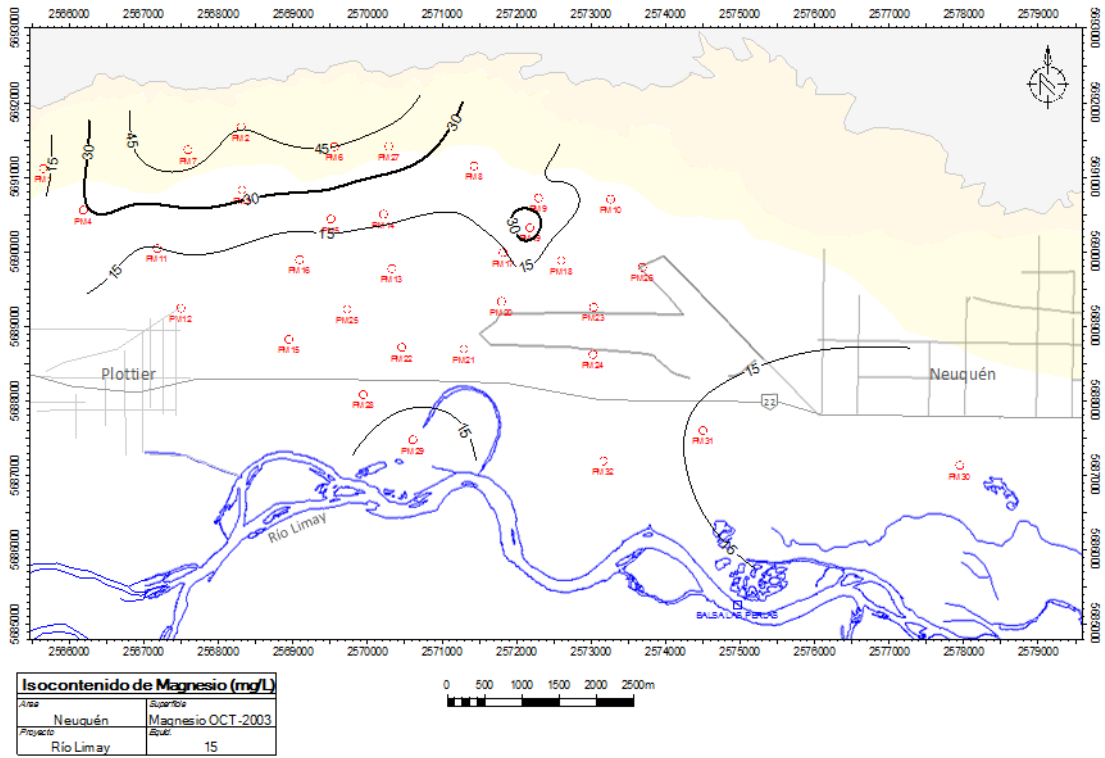


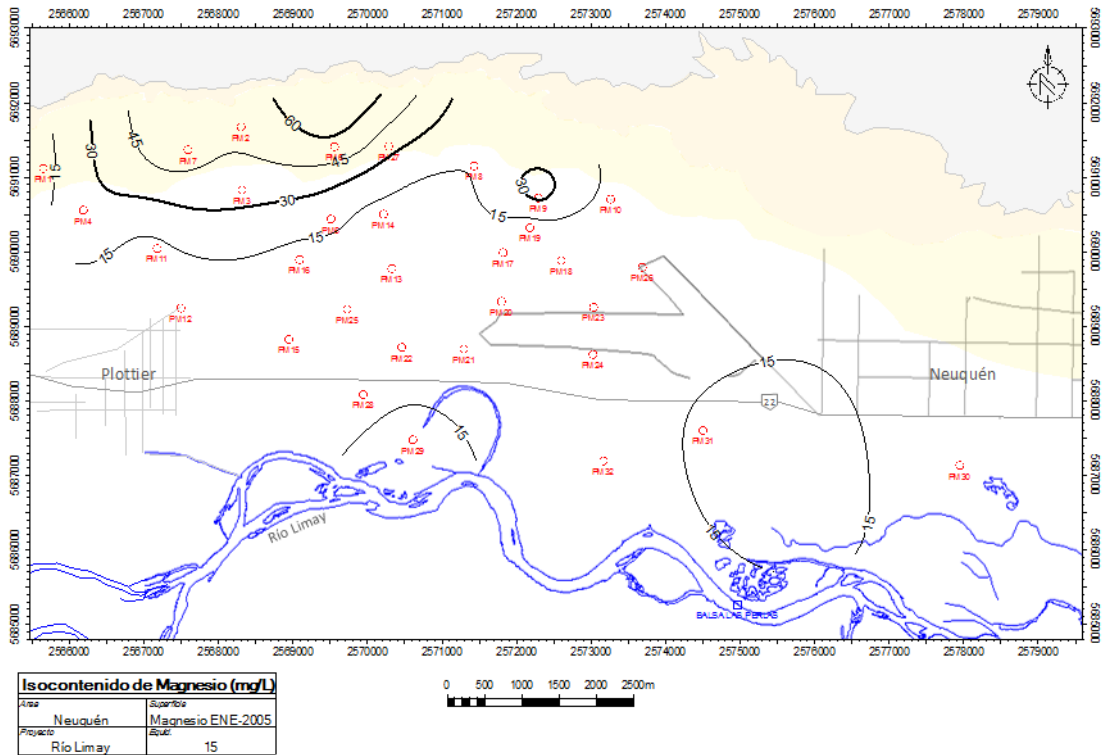
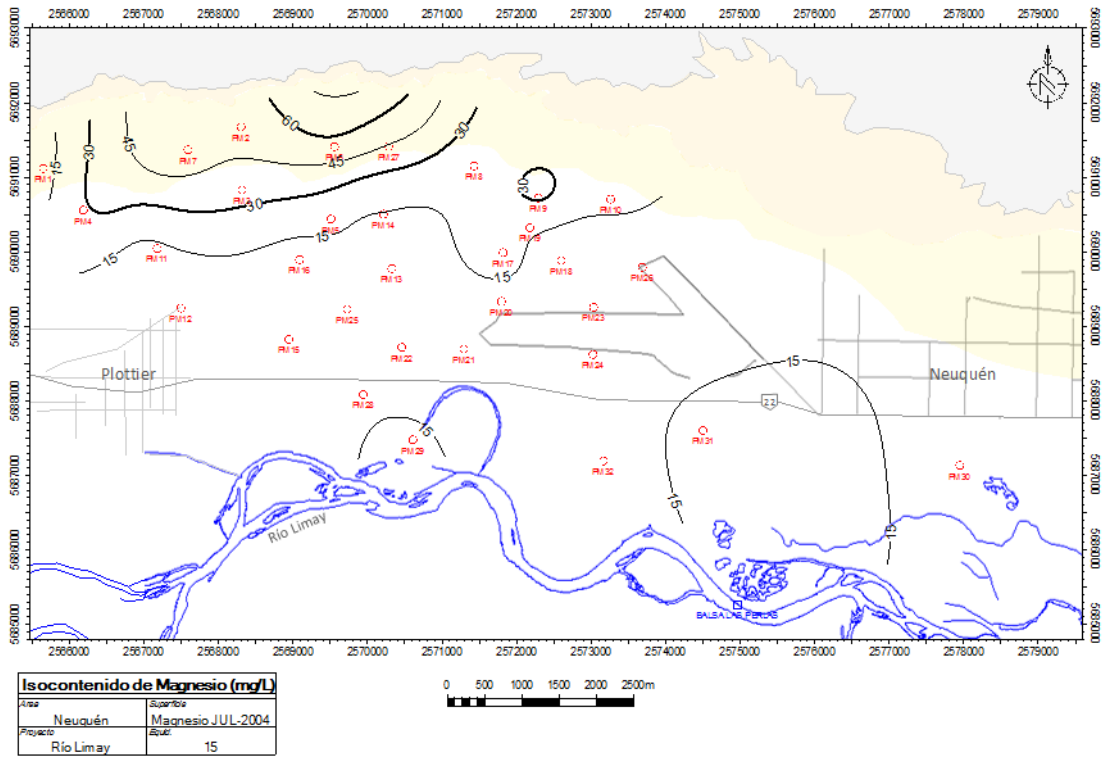


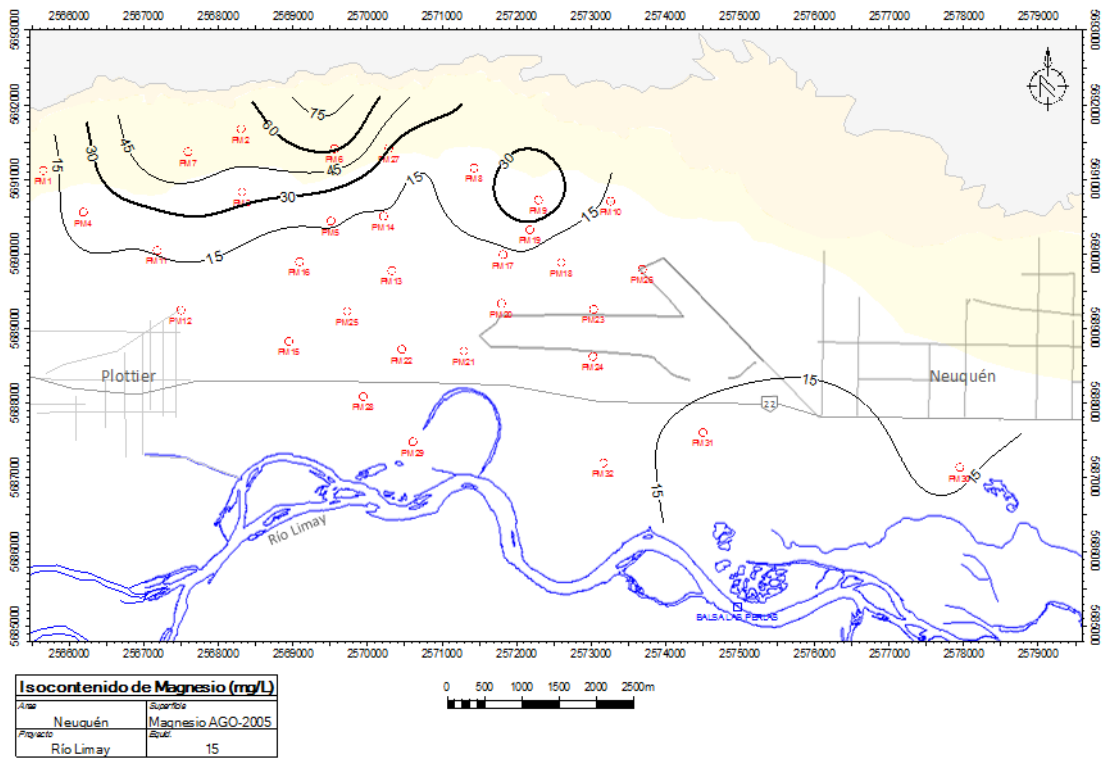


## **Magnesio 2003 – 2005**



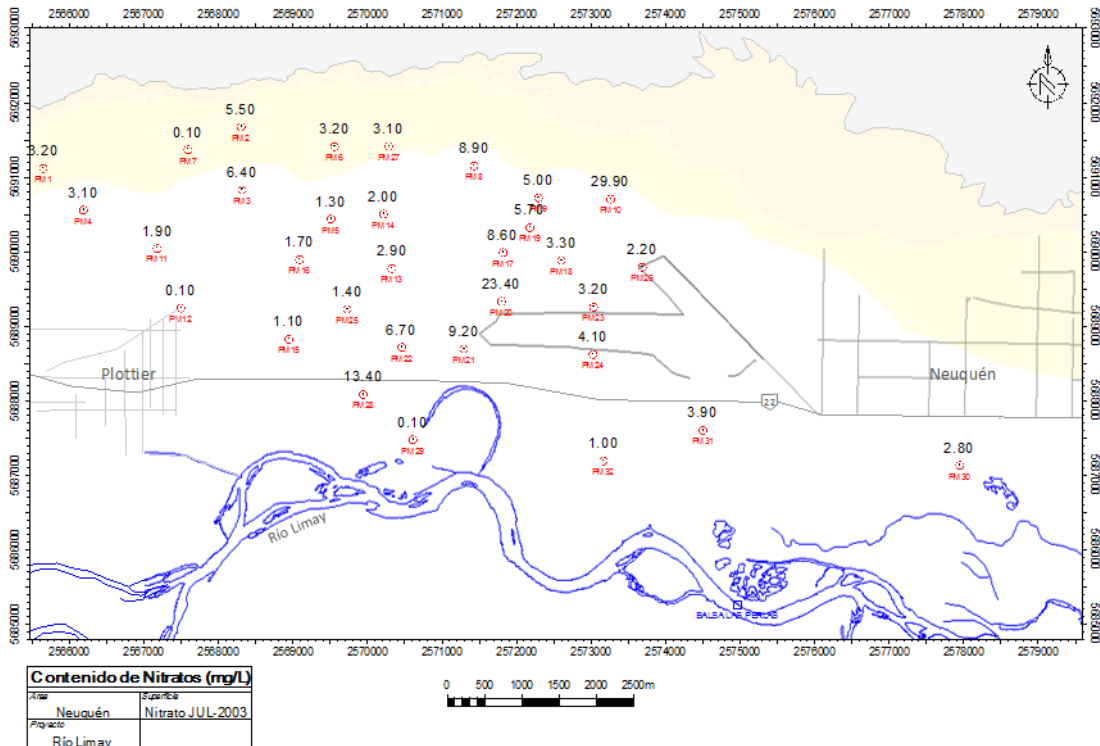
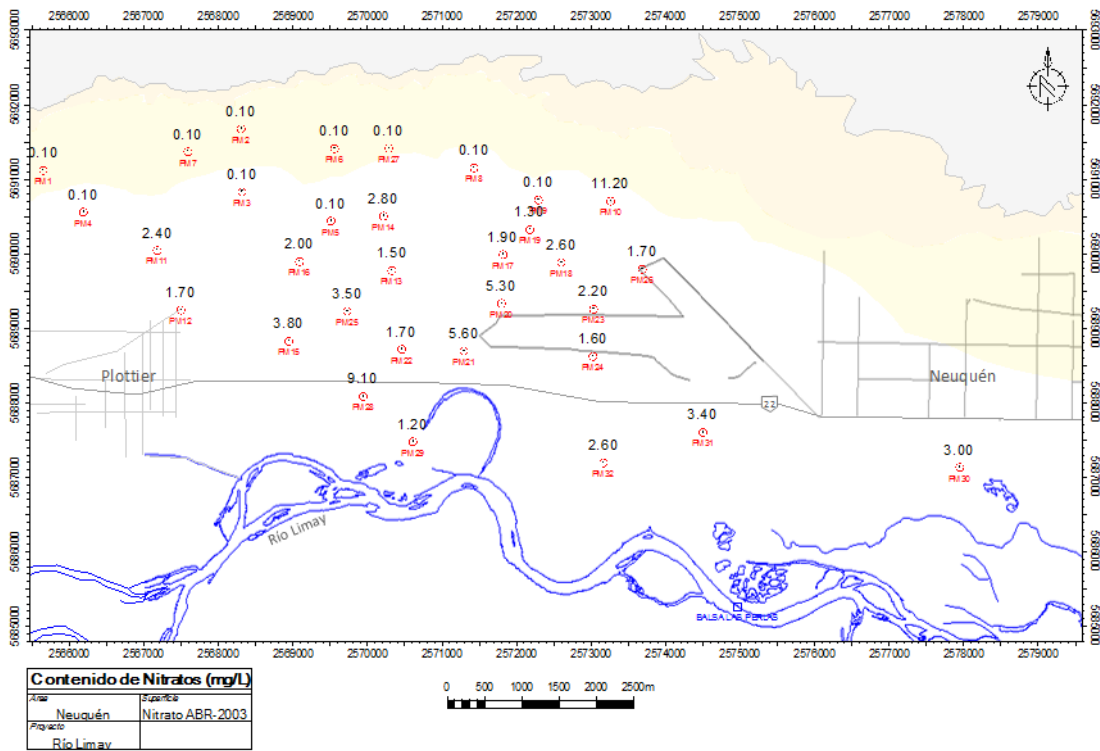


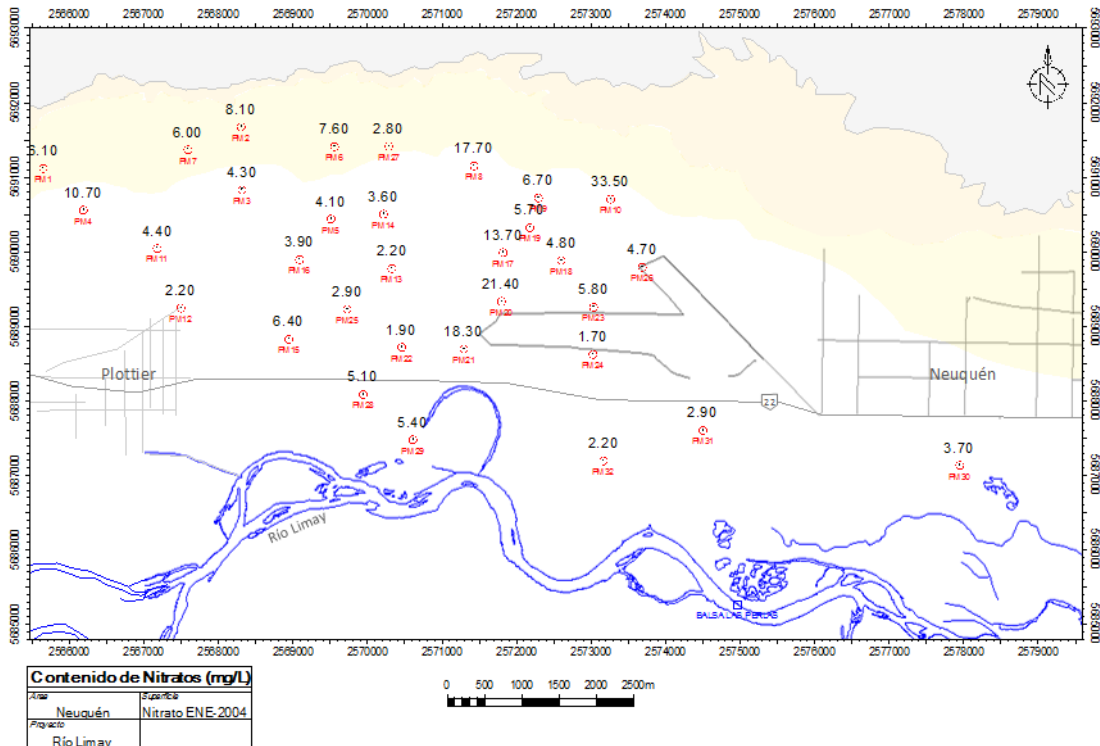
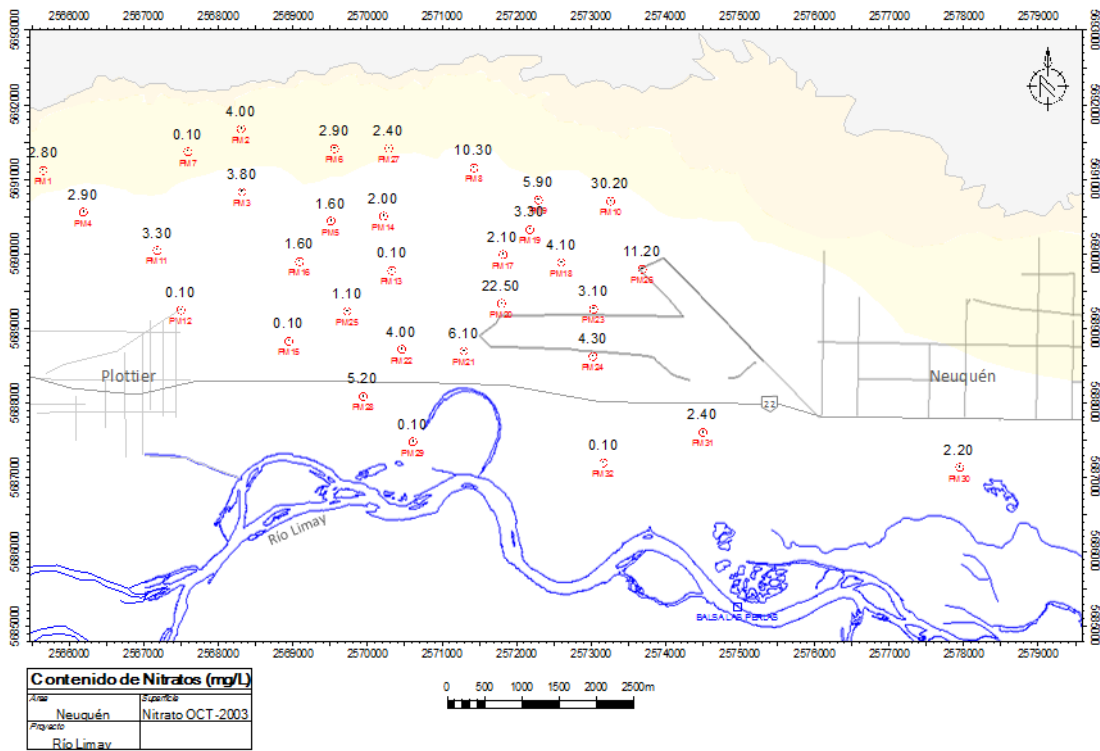


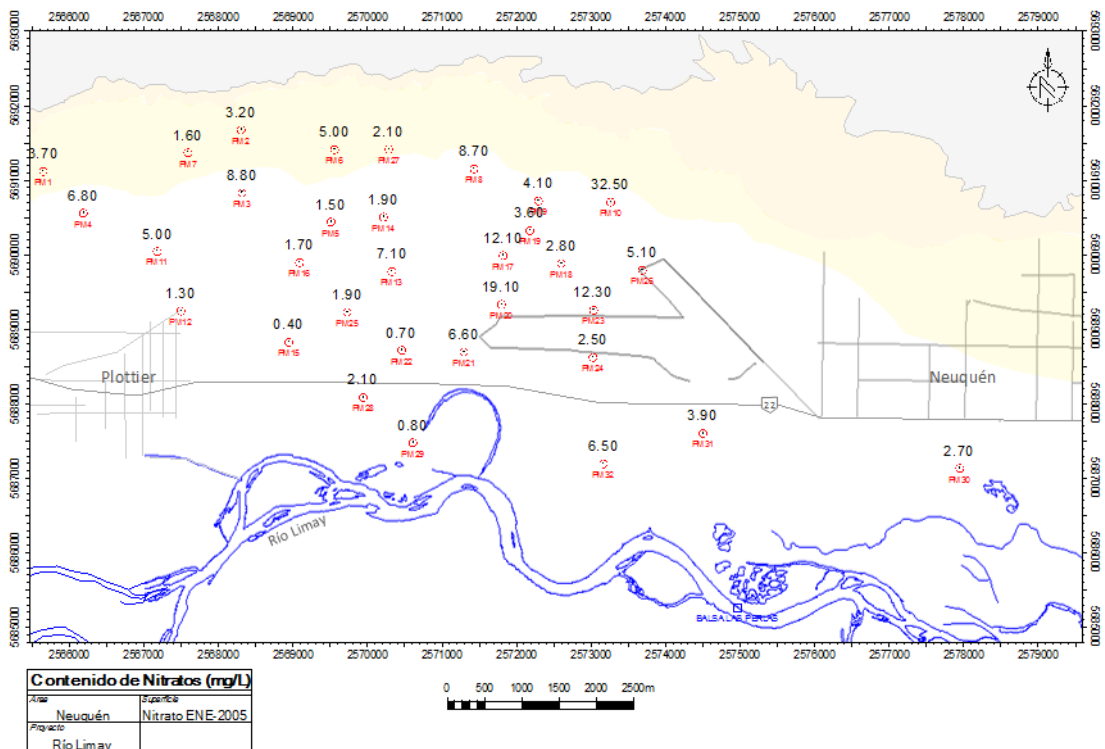
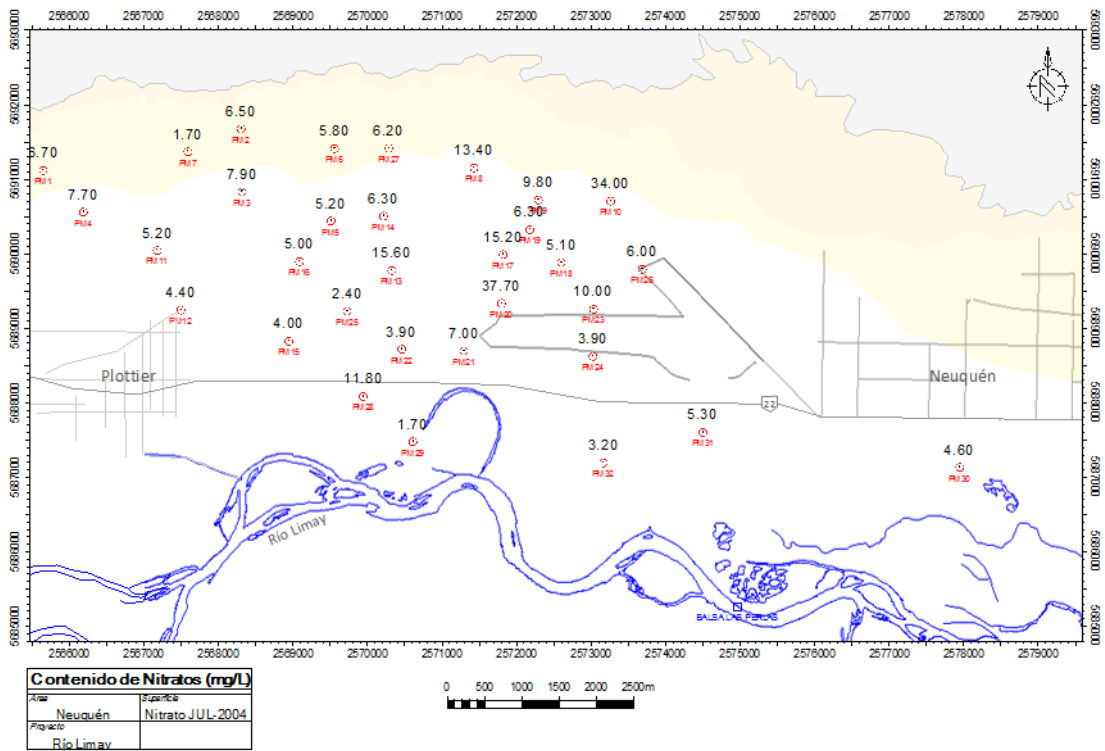


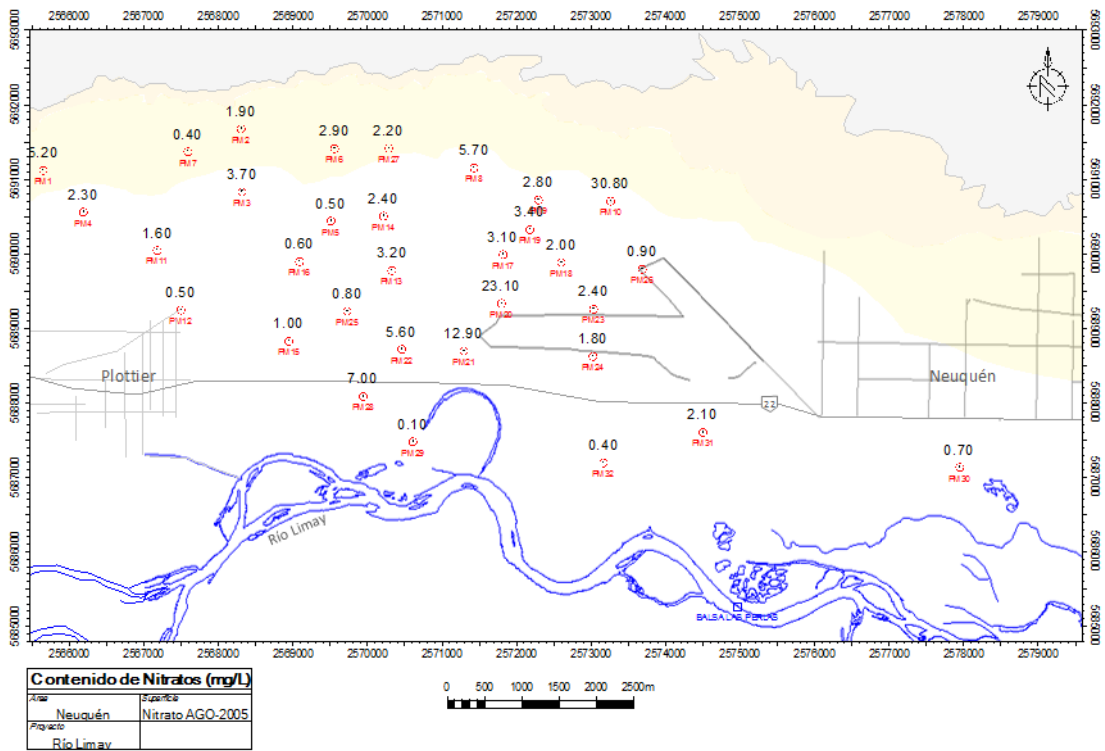
## **Nitratos 2003- 2005**











## **Manganeso 2003-2005**

