

2011

---

ANÁLISIS DE VARIABLES AMBIENTALES EN UNA  
PLANICIE ALUVIAL CON ALTA INTROMISIÓN  
ANTRÓPICA, EN SITUACIÓN DE UNA CRECIDA  
EXTRAORDINARIA

TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN  
GESTIÓN AMBIENTAL

TESISTA: Lic. ANDREA C. BOSISIO

DIRECTOR: Ms. Lic. SILVIO D. GRACIANI

CO-DIRECTOR: Lic. CARLOS G. RAMONELL

---



# Índice

<b>Resumen</b> .....	4
<b>Palabras Claves</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	6
<b>Key Words</b> .....	7
<b>Contenido:</b>	
<b>1. Introducción</b> .....	8
<b>2. Problema de Investigación</b> .....	10
<b>3. Estado del Arte</b> .....	12
<b>4. Objetivos</b> .....	18
<b>5. Área de Estudio</b> .....	19
5.1. Fisiografía General y Clima.....	19
5.2. Geología.....	20
5.3. Geomorfología.....	20
5.4. Suelos.....	26
5.5. Vegetación.....	26
5.6. Aprovechamientos del río Neuquén y su Ambiente.....	28
5.7. La Crecida Extraordinaria de Julio de 2006.....	33
<b>6. Metodología de Análisis de Variables Ambientales</b> .....	36
6.1. Segmentación Geomorfológica.....	37
6.2. Identificación de Variables Ambientales.....	38
6.3. Reclasificación y Evaluación Jerárquica de las Variables Ambientales.....	42
<b>7. Resultados</b> .....	44
7.1. Diferenciación de Segmentos Geomorfológicos.....	44
7.1.1. Características geomorfológicas y naturales del Río Neuquén.....	44

7.1.2. Segmentos del Río Neuquén aguas abajo de Portezuelo Grande.....	48
7.2. Diferenciación de las Variables Ambientales.....	58
7.2.1. Variables Ambientales Naturales.....	58
7.2.2. Variables Ambientales Antrópicas.....	65
7.3. Reclasificación de las Variables Ambientales.....	73
7.3.1. Variables Ambientales Naturales Reclasificadas.....	74
7.3.2. Variables Ambientales Antrópicas Reclasificadas.....	79
7.4. Jerarquización de Variables Ambientales.....	84
7.5. Integración de Resultados: Diferenciación de las Subunidades de Gestión.....	90
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>98</b>
<b>9. Agradecimientos.....</b>	<b>101</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>102</b>
<b>11. Anexo: Cartografía Temática.....</b>	<b>108</b>

## Resumen

Las obras de infraestructura desarrolladas en sistema fluviales, como canalizaciones y embalses, aportan una modificación en la regulación de la magnitud y frecuencia de las crecidas en sus planicies aluviales. Estas obras favorecen el crecimiento social y económico en sus áreas de influencia, lo cual debe ser planificado y administrado de modo tal que el hombre no utilice indiscriminadamente las tierras potencialmente inundables y quede desprotegido frente a alteraciones en el equilibrio funcional de la cuenca.

El Río Neuquén en el tramo comprendido desde la presa Portezuelo Grande hasta el Embalse El Chañar (provincia de Neuquén) presenta una significativa y variada ocupación antrópica. En este escenario, el objetivo del trabajo fue identificar las variables ambientales (tanto naturales como antrópicas) que interactúan en torno de un evento de crecida extraordinaria, obstaculizando el escurrimiento de inundación; con el propósito de conformar una base que facilite la gestión territorial-ambiental en el área.

Utilizando técnicas de segmentación geomorfológica, teledetección y SIG, se logró obtener una ponderación cualitativa de las variables involucradas, y definir a partir de las mismas, subunidades de gestión del territorio para el tramo bajo estudio. Estas subunidades se definieron como áreas en las cuales las características de los atributos de sus variables ambientales, se repiten regularmente en toda su extensión siendo distinguibles y delimitables de los de áreas adyacentes. Se identificaron para el tramo tres tipos de subunidades: *Testigo*, *Crítica* y *en Crecimiento*.

Este es un enfoque novedoso en lo que hace a la gestión de planicies inundables, segmentando un territorio que normalmente se toma como homogéneo. La sencillez del análisis propuesto lo hace fácilmente extrapolable a otros casos en ambientes similares.

### **Palabras Clave**

Sistema fluvial regulado – planicie de inundación – crecida extraordinaria – antropismo – segmentación geomorfológica – Teledetección – SIG – gestión del medio ambiente.

## **Abstract**

Infrastructure works as dams and pipelines developed in river system, provide a change in regulating the magnitude and frequency of floods in its alluvial plains. These works promote social and economic growth in their areas of influence, which must be planned and managed in a way such that men do not indiscriminately use potentially flooded land and be unprotected to alterations in the functional balance of the basin.

Neuquén River in the stretch from the Portezuelo Grande dam until the reservoir El Chañar (Neuquén province) has a significant and varied human occupation. In this scenario, the objective was to identify the environmental variables (both natural and anthropogenic) that interact around an extraordinary flood event, hindering flood runoff, with the purpose of forming a base to facilitate land management and environmental in the area.

Using geomorphological segmentation, remote sensing techniques and GIS, it was possible to obtain a qualitative weighting of the variables involved, and define from them, subunits of land management for the section under study. These subunits were identified as areas in which the characteristics of the attributes of environmental variables, are regularly repeated in its entirety to be distinguished and demarcated from adjacent areas. Were identified three types of subunits: *Testigo*, *Crítica* and *En Crecimiento*.

This is a novel approach in regard to floodplain management, segmenting a territory that is usually taken as homogeneous. The simplicity of the proposed analysis makes it easy to extrapolate to other cases in similar environments.

### **Key Words**

Regulated fluvial system – floodplain – extraordinary flood – anthropism – geomorphological segmentation – remote sensing – GIS – environmental management.

## 1. Introducción

Las obras de infraestructura desarrolladas en sistema fluviales, como canalizaciones y embalses, aportan una modificación en la regulación de la magnitud y frecuencia de las crecidas en sus planicies aluviales. Estas obras favorecen el crecimiento social y económico en sus áreas de influencia, incluso **dentro de tales planicies**, lo que normalmente no es acompañado por una adecuada planificación por parte de organismos locales y estatales, dando como resultado conflictos ambientales diversos.

El uso de la tierra, emprendimientos y desarrollos económicos, deben ser planificados y administrados de modo tal que el hombre no utilice indiscriminadamente las tierras potencialmente inundables y quede desprotegido frente a alteraciones en el pretendido nuevo equilibrio impuesto a la cuenca. Pero esas **situaciones de ocupación planificada son muy poco usuales de ver en la realidad**, aún a pesar de la gran tradición histórica del ser humano a la vera de los ríos, que se remonta a épocas previas a las de la civilización.

Factores muy diversos, desde netamente económico-productivos hasta jurídico-sociales, hacen que el hombre ocupe áreas sin haber tomado precauciones necesarias de resguardo del propio funcionamiento de los sistemas naturales, originando en ocasiones perjuicios producidos por la propia actividad en el sistema en el que se insertó. Esto está exagerado en los sistemas fluviales regulados por obras de ingeniería, en los cuales la modificación de los regímenes hidrológicos, y sobre todo de las situaciones extremas

(concretamente, atenuación o eliminación de crecidas), propician una rápida y casi siempre desordenada intromisión humana.

En ese marco, el objetivo del presente trabajo es evaluar jerárquicamente las variables ambientales (naturales y antrópicas) que actúan en una planicie aluvial intervenida por el hombre ante una situación de crecida extraordinaria, de modo tal de optimizar la gestión territorial-ambiental de estos espacios. La evaluación espacial se apoya principalmente en el análisis y la segmentación geomorfológicos, en la aplicación de técnicas de teledetección, además del relevamiento de antecedentes y trabajo de campo, incluyendo todo ello en un Sistema de Información Geográfica (SIG) preparado al efecto. La idea rectora es proponer un sistema simple de evaluación, que pueda tener un amplio rango de aplicación en planicies aluviales diversas de sistemas fluviales regulados, y fundamentalmente, que pueda ser utilizado por técnicos con una preparación no experta en la materia, a nivel de organismos municipales o comunales, por caso.

## 2. Problema de Investigación

Desde tiempos inmemoriales el hombre se ha asentado en áreas cercanas a fuentes de agua para satisfacer la necesidad de consumo que el desarrollo de la vida le demanda. Esto lo ha llevado muchas veces a ocupar áreas sin tomar precauciones de resguardo del propio funcionamiento de los sistemas naturales, originando en ocasiones perjuicios producidos por su propia actividad. A este respecto se conocen antecedentes lamentables y funestos a nivel mundial y para distintas épocas, pudiendo citarse en nuestro país los casos de las inundaciones de San Carlos Minas (1992), Mina Clavero (1993), Cañada de Gómez (2000), Tartagal (2006, 2009) y, como caso paradigmático, la de la propia ciudad de Santa Fe (2003), por nombrar sólo los más recientes.

El común denominador de estos sucesos fue la **convergencia de un evento de crecida extraordinaria en una planicie aluvial, junto a una importante ocupación antrópica de su entorno**. Precisamente, en la Argentina se registran variadas formas de ocupación permanente de planicies fluviales activas, desde las exclusivamente urbanas (cuyo caso extremo podría corresponder al del río Salí, en San Miguel de Tucumán) hasta las principalmente frutihortícolas, como en varios de los oasis de riego del piedemonte andino central y de los principales ríos del norte patagónico.

Estas ocupaciones se potenciaron en los últimos 40 años siguiendo el desarrollo demográfico-histórico del país, y la construcción de grandes presas y obras de regulación fluvial, junto con el afianzamiento de las construidas con anterioridad.

A este escenario cambiante hay que sumarle una tercera variable, que es la de la variabilidad climática que se manifiesta desde 1970 aproximadamente, a través de la ocurrencia de extremos climáticos, que originan inundaciones como las mencionadas anteriormente (Boragni, 1986; Ferrari Bono, 2004; Latrubesse y Brea, 2010).

### **3. Estado del arte**

Argentina, con una diversidad de riesgos naturales dada su variedad fisiográfica y extensión, no posee un sistema actualizado donde estos estén convenientemente zonificados. La identificación de los fenómenos de riesgo ha sido compendiada en textos como el de Boragni (1986), con mapas poco detallados y en el caso específico de las inundaciones, su tratamiento ha sido fundamentalmente descriptivo-estadístico (e.g., Ferrari Bono, 2004; Amicarelli y Cornejo, 2005; Pochat, 2004). Consecuentemente, la falta de un plan nacional de manejo que armonice el planeamiento del uso de la tierra, evidencia en la regiones altamente productivas, problemas tales como el avance de la deforestación y las presiones ambientales (Latrubesse y Brea, 2010).

A partir de principios de este siglo, el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) inició la publicación de sus “Cartas de Peligrosidad Geológica”. Los principales fenómenos considerados en estas cartas son los derivados de procesos endógenos, tales como los riesgos volcánicos y sísmicos, y exógenos, englobando éstos a los procesos de remoción en masa (deslizamientos, hundimientos de terrenos), de inundación y crecidas, y procesos erosivos y de salinización de suelos, que a menudo causan pérdidas económicas importantes. Estos estudios no contienen aún información con el detalle suficiente sobre las variables a atender en el estudio de planicies aluviales ocupadas antrópicamente, con o sin regulación de sus ríos.

La falta de sustento técnico-científico es otro factor que incide desfavorablemente, junto con los vinculados a la toma de decisión política, para que ocurran inundaciones

catastróficas en diversos sitios del país, como las comentadas en la introducción de esta propuesta. Se destaca en tal sentido la falta de un abordaje integral del tema, a lo que se le puede sumar, a una escala mayor, internacional, la falta de una metodología *universalmente aceptada* para la evaluación de fenómenos de crecida **con elevada actividad antrópica** en el ámbito de planicies de inundación. Considerando las tendencias de planificación establecidas hace más de una década, y los requerimientos asociados de las instituciones financieras (por ejemplo, del Banco Mundial), se prefiere que los proyectos estén apoyados en planes integrales para aprovechar también oportunidades de desarrollo (Le Moigne et al., 1994).

En la perspectiva moderna de gestión del territorio, toda acción de planeamiento, ordenación ó monitoreo del espacio debe incluir el análisis de los diferentes componentes del ambiente, incluyendo tanto el medio físico-biótico como la ocupación humana y su interrelación. Es claro que considerar todos los parámetros que intervienen e interactúan es importante; pero también es conocido ya desde la teoría de sistemas que **no todas las variables operan al mismo nivel, y con igual importancia en un momento dado** (Schumm, 1977; Von Bertalanffy, 1978; Gaviño Novillo, 1997). En una planicie aluvial, por caso, un camino a nivel trazado en sentido paralelo al escurrimiento juega un rol diferente en la conducción de caudales de crecida a otro dispuesto en forma transversal, cambiando su influencia si la vía está sobreelevada respecto de la planicie. Casas, sembradíos, canalizaciones naturales, sitios de movimientos de suelos, etc., operan también en forma diferenciada.

El conocimiento del desarrollo sustentable establece que *las acciones de ocupación del territorio deben ser precedidas de un análisis que abarque los impactos del ambiente a*

corto, medio y largo plazo. Tal situación es difícil de observar en la práctica, debido a que **el territorio ya se encuentra ocupado y modificado por el hombre**; de hecho, hoy en día no se han concretado en el país, salvo a nivel de propuestas, planes de reubicación de la población fuera de áreas de riesgo (e.g., Schnack et al., 1995). El vacío jurídico en torno a sistemas naturales regulados artificialmente y, además, de control estatal en los ambientes de planicies de inundación vuelven más irregular la situación (Valls, 1999; Berra Estrada de Pigretti, 2001).

Existen numerosos antecedentes, tanto nacionales como internacionales, que versan sobre la problemática abordada, aunque en su gran mayoría se trata de **estudios de casos y/o de propuestas académicas**, que abarcan parcialmente el área de gestión. Hay antecedentes, en el plano de las propuestas académicas, donde se establece a la cartografía geomorfológica como una herramienta de peso para evaluar los procesos naturales que de una u otra forma pueden llegar a influir en el uso y ocupación de los terrenos, más aún si es con fines urbanos; ejemplo de esto son los trabajos realizados para el gran Buenos Aires y la ciudad de San Carlos de Bariloche (Pereyra, 2004, 2007); la cartografía temática aparece aquí como una herramienta fundamental para la solución de los problemas ambientales.

De la misma manera, en trabajos concernientes a evaluaciones de riesgo, la producción de mapas de zonificación de inundaciones, basados en la interpretación de imágenes de radar y satélite, y en fotografías aéreas, es considerada una herramienta de planificación y control (CEDEX, 2002; Córdoba, 2007).

En los estudios de casos del Área Metropolitana del Gran Resistencia (Alberto y Schneider, 2005), se caracteriza y analiza el proceso de ocupación del suelo en ámbitos urbanos correspondiente a la planicie de inundación y ambientes fluviolacustres, concluyendo en la necesidad de una ocupación planificada del suelo, cualquiera sea su uso, que ordene el escurrimiento superficial y logre un mejor balance entre los distintos usos. De un modo similar se realiza el análisis de las causas y consecuencias de las inundaciones urbanas en El Salvador en donde se propone un plan de gestión integrada de control de crecidas y drenaje urbano como respuesta a la falta de planificación de infraestructura urbana (Martínez, 2007).

En la línea ejemplificada de antecedentes de tipo académico para evaluación de riesgo, los antecedentes son numerosos, como por ejemplo el análisis del riesgo de inundación y medidas correctoras de Algemesí (Valencia), donde se analiza el riesgo de inundación a partir de la cartografía existente (García y Ibor, 2004). U otros trabajos en los cuales se destacan los elementos conceptuales para la prevención y reducción de daños originados por amenazas socio-naturales y en los cuales se resalta la necesidad de fortalecer las actividades orientadas a una gestión del riesgo (Ávila y Reese, 2005).

Todos estos antecedentes coinciden en la necesidad e importancia de la cartografía como herramienta de análisis aportando aspectos metodológicos de interés y utilidad para esta propuesta. Sin embargo, la temática que aquí se plantea, orientada a brindar herramientas que optimicen la *gestión territorial en planicies aluviales ya ocupadas* por el hombre ante situaciones de crecidas extraordinarias, no ha sido abordada convenientemente en la literatura analizada.

En este marco, la tecnología SIG, que en la última década ha ganado prestigio como aplicación computacional para el manejo de la información espacial, posibilita estos estudios de integración del medio ambiente natural y social y las geociencias, convirtiéndose en una herramienta importante para la ayuda en el proceso de toma de decisiones en diferentes niveles de gestión (Buzai, 1998).

Específicamente en el área de estudio de esta propuesta, Ciminari y otros (2003) cartografiaron los conflictos ambientales en el área de los valles inferiores de los ríos Limay y Neuquén, caracterizando la alta densidad poblacional y asentamientos espontáneos que ocupan las áreas de mayor complejidad. Los autores concluyen y recomiendan estudios que profundicen en detalle los asentamientos en áreas de riesgo, con el objetivo de analizar la amenaza y la vulnerabilidad social, y evaluar de esta manera el riesgo ambiental existente frente a crecidas extraordinarias de estos ríos.

Asimismo, un análisis de vulnerabilidad realizado para el área por la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC, 2002), enfatiza en la necesidad de efectuar una planificación integrada del uso del territorio, considerando que el tramo en estudio es una unidad económica importante para la región y que para su desarrollo faltan políticas de control integradas con planes de emergencias.

En este marco, este trabajo pretende proporcionar una propuesta de enfoque integrador basado en la recopilación y análisis de antecedentes inherentes a las variables ambientales (naturales y antrópicas) con su consecuente producción cartográfica, a fin

de visualizar y evaluar procesos de cambio y uso que de algún modo interfieran con el flujo de inundación en el área en cuestión.

## **4. Objetivos**

### **Objetivo general**

Identificar y evaluar cualitativamente variables ambientales en la planicie aluvial intervenida antrópicamente del río Neuquén, que conformen una base para facilitar la gestión territorial-ambiental de este espacio, en consideración de situaciones de crecidas extraordinarias.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Identificar las variables ambientales (tanto naturales como antrópicas) que interactúan en el área de estudio en torno de un evento de crecida extraordinaria.
- ✓ Efectuar la cartografía temática de las variables identificadas, integrándolas en un SIG.
- ✓ Adaptar un método de evaluación jerárquica de las variables consideradas.
- ✓ Establecer pautas de evaluación que optimicen los procesos de gestión de territorio, basándolas en el análisis de obstaculización al flujo de inundación de las diferentes variables ambientales.

## **5. Área de Estudio**

### **5.1. Fisiografía General y Clima.**

El ámbito del estudio lo constituye el tramo del río Neuquén comprendido entre la presa Portezuelo Grande y el embalse San Patricio de El Chañar (en adelante, “El Chañar”) (Fig. 5.1), con una longitud de 61 km y una superficie de 191 km<sup>2</sup>, siendo su ancho promedio de 2,5 km. En este tramo el río Neuquén corre en su totalidad dentro de la provincia homónima, entre cotas de 425 y 330 m.s.n.m.

La cuenca del río Neuquén está comprendida entre los paralelos de latitud 36° 10' S y 39° 05' S, y entre los meridianos de longitud 68° 00' W y 71° 10' W, abarcando una superficie aproximada de 30.000 km<sup>2</sup> (AIC, 1994) (Fig. 5.2), con cotas máximas de 4700 y mínimas menores a 300 m.s.n.m.

El río Neuquén tiene un régimen de alimentación nivo-pluvial, presentando un período de aguas bajas en marzo-abril y dos épocas de creciente: una de invierno, en mayo-agosto, producida por lluvias en la parte baja de la cuenca activa y otra llamada de verano en noviembre-diciembre, producto de la fusión nival en la alta cordillera.

Se destaca un clima de tipo continental, cálido y seco en verano, frío y húmedo durante el invierno. De acuerdo a los datos de la Estación Meteorológica Cutral Co, Departamento Confluencia, las precipitaciones oscilan entre los 150 y 200 mm anuales y la evapotranspiración es muy alta. Las temperaturas medias varían desde los 4°C a los 20°C, y se registran valores ligeramente mayores en el valle del río debido a efectos micro climáticos. Esta zona presenta una marcada amplitud térmica estacional.

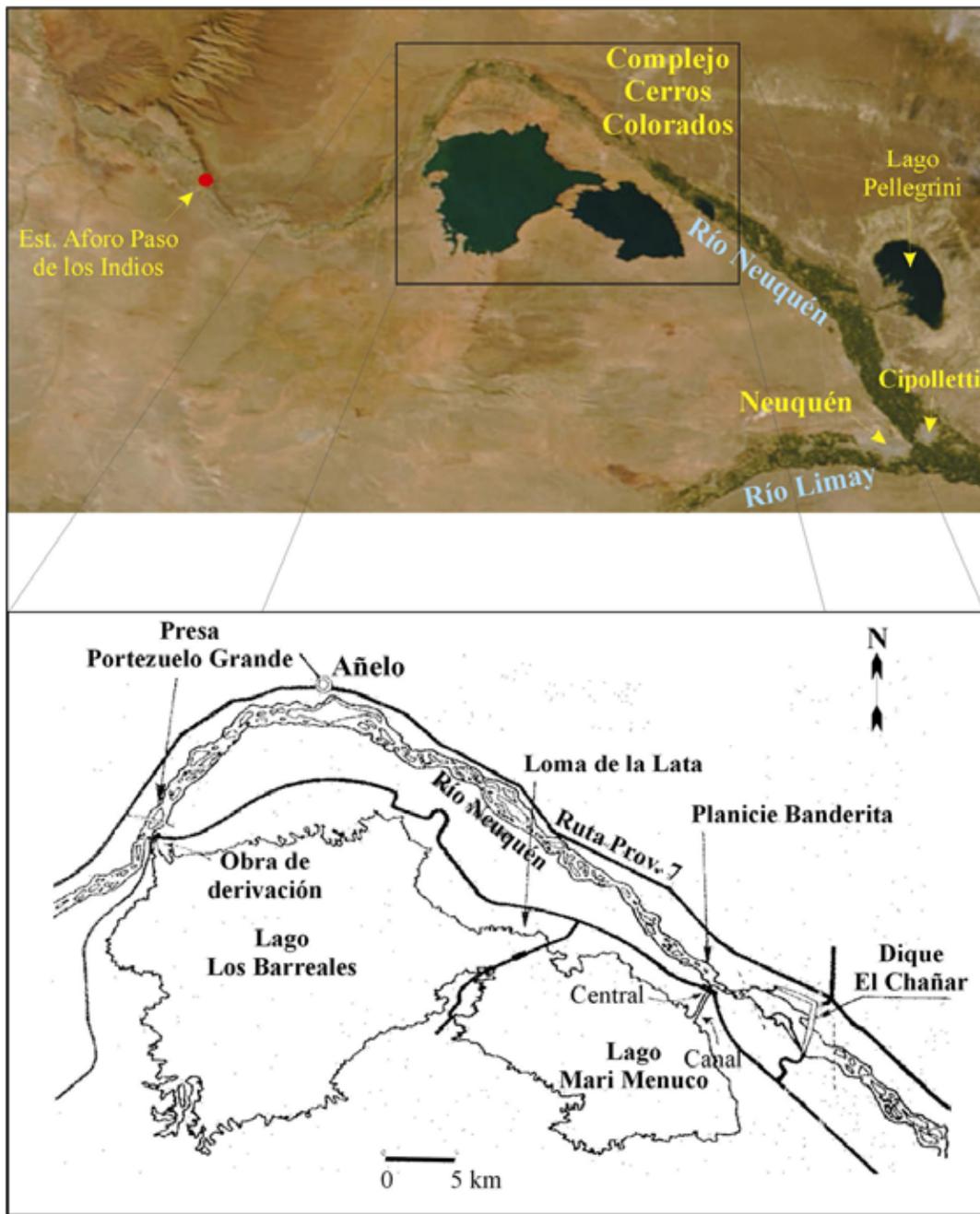


Fig. 5.1. Ubicación del área de estudio.

La dirección de los vientos predominantes es del Oeste en el invierno, y para la época estival del Sud-sudoeste. Estos fuertes vientos, en conjunto con el déficit hídrico y el stress ocasionado por las bajas temperaturas, imponen condiciones fuertemente determinantes sobre las características ambientales del sitio.

## **5.2. Geología.**

En la zona están ampliamente distribuidas las sedimentitas del Grupo Neuquén, integradas por las formaciones Anacleto, Bajo de la Carpa, Plottier, Portezuelo, C° Lisandro, Huincul y Candeleros (Fig. 5.3 y 5.4). Se trata de areniscas gruesas a finas, poco seleccionadas, de cemento ferruginoso o carbonático, moderadamente litificadas a friables. Los colores predominantes son el amarillo y en menor medida el rojizo. Las unidades pelíticas presentan escasa litificación, estando compuestas mayoritariamente por fangolitas rojas, moradas y, en menor proporción, gris verdosas (Holmberg, 1978). La formación Portezuelo y la formación Bajo la Carpa, constituyen los laterales del valle del río Neuquén en el tramo de interés, estando en contacto con la planicie aluvial mediante taludes pronunciados que en el lenguaje regional son denominados “bardas”.

## **5.3. Geomorfología.**

Geomorfológicamente, el área de estudio se encuentra comprendida dentro de la región de “Mesetas Patagónicas Neuquinas” (Holmberg, 1978; González Díaz y Ferrer, 1986), o de las también denominadas “Planicies de la Patagonia Central” (Méndez et al., 1995).

Esta región se caracteriza por el desarrollo de un relieve conformado por extensas superficies mesetiformes que incluyen bajos sin salida, cerros testigos y profundos cañadones (Fig. 5.5). Los bordes erosionados de las mesetas generan marcados resaltos topográficos, dando origen a las bardas, cuyas cotas máximas en la región alcanzan los 1100 m.s.n.m.

En líneas generales, la actual configuración del relieve responde a la acción erosiva de los cursos fluviales desde el Neógeno Tardío, controlados principalmente por los lineamientos estructurales del subsuelo. El actual valle del río Neuquén ha sido labrado durante el Cuaternario en sedimentitas cretácico-terciarias a través del control estructural ejercido por el denominado “Lineamiento de Añelo” (Ramos, 1978).

En torno del cauce del río Neuquén, los rasgos geomorfológicos distintivos están genéticamente vinculados a procesos exógenos derivados del proceso fluvial, reconociéndose una planicie aluvial actual y remanentes de otra antigua, que constituyen un nivel de terraza sobreelevada aproximadamente unos 4 metros respecto del nivel general de la anterior.



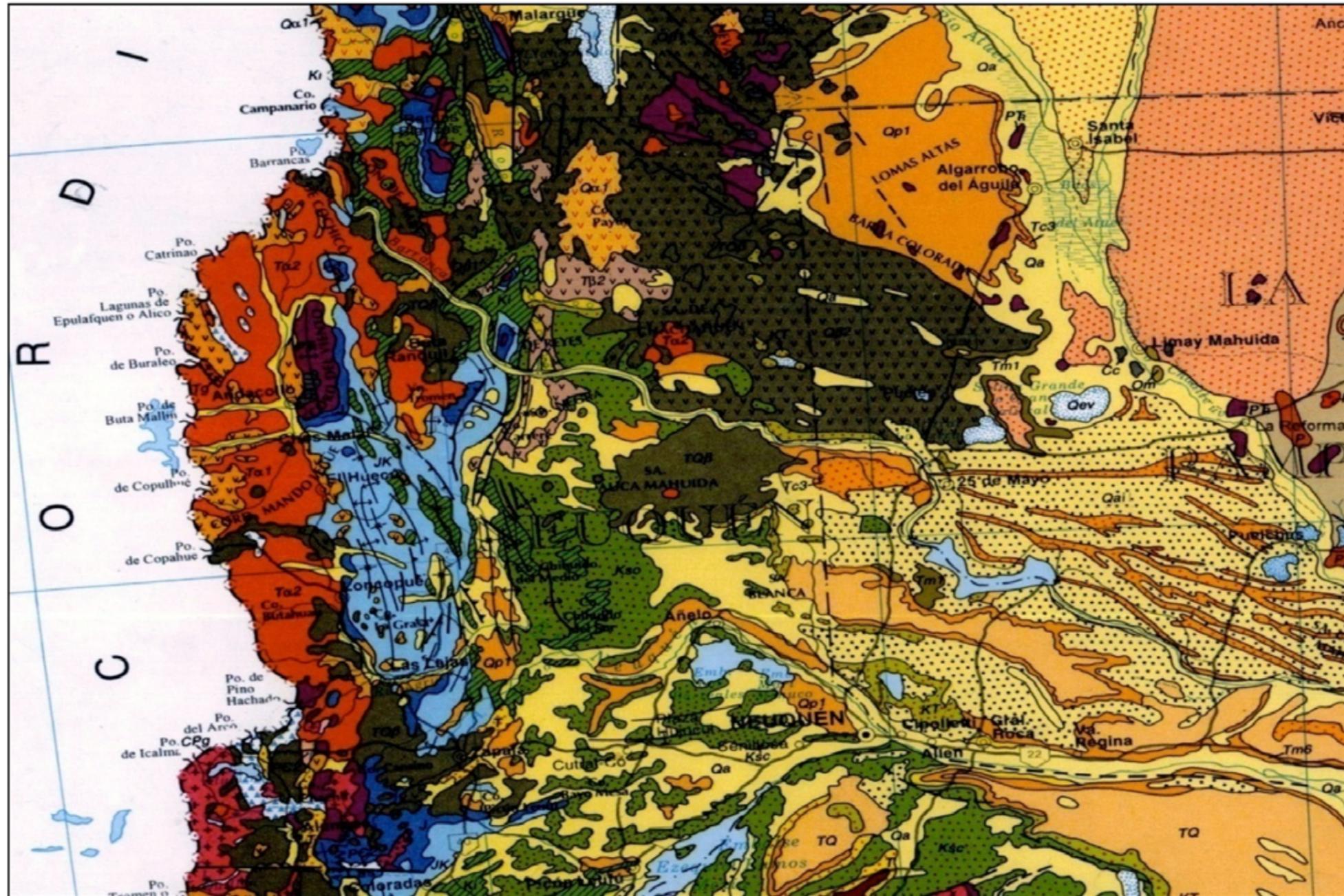


Fig. 5.3 Mapa Geológico de la Cuenca del Río Neuquén (Tomado del Mapa Geológico de la Rca. Argentina, SEGEMAR, 1997). Referencias: Qev: depósitos evaporíticos; Qe: depósitos eólicos arenosos; Qa: depósitos aluviales y coluviales; Qβ2: basaltos y sed. piroclásticas; Qα1: volcanitas ácidas y mesosilícicas; Qp1: depósitos aluviales aterrazados; Qβ1: volcanitas básicas; Tqβ: volcanitas básicas y sed. piroclásticas; Tc3: sed. continentales epiclásticas; Tq2: volcanitas ácidas y sed. piroclásticas; Tg: granitoides; T: sed. continentales; Tβ2: volcanitas básicas; KT: sed. Gr. Malargüe; Ksc: sed. Gr. Neuquén; Ki: sed. Gr. Rayoso; JK: sed. Gr. Mendoza; J: sed. Grs. Cuyo y Lotena; PT: volcanitas y sed. Gr. Choyoi y Lihuel Calel

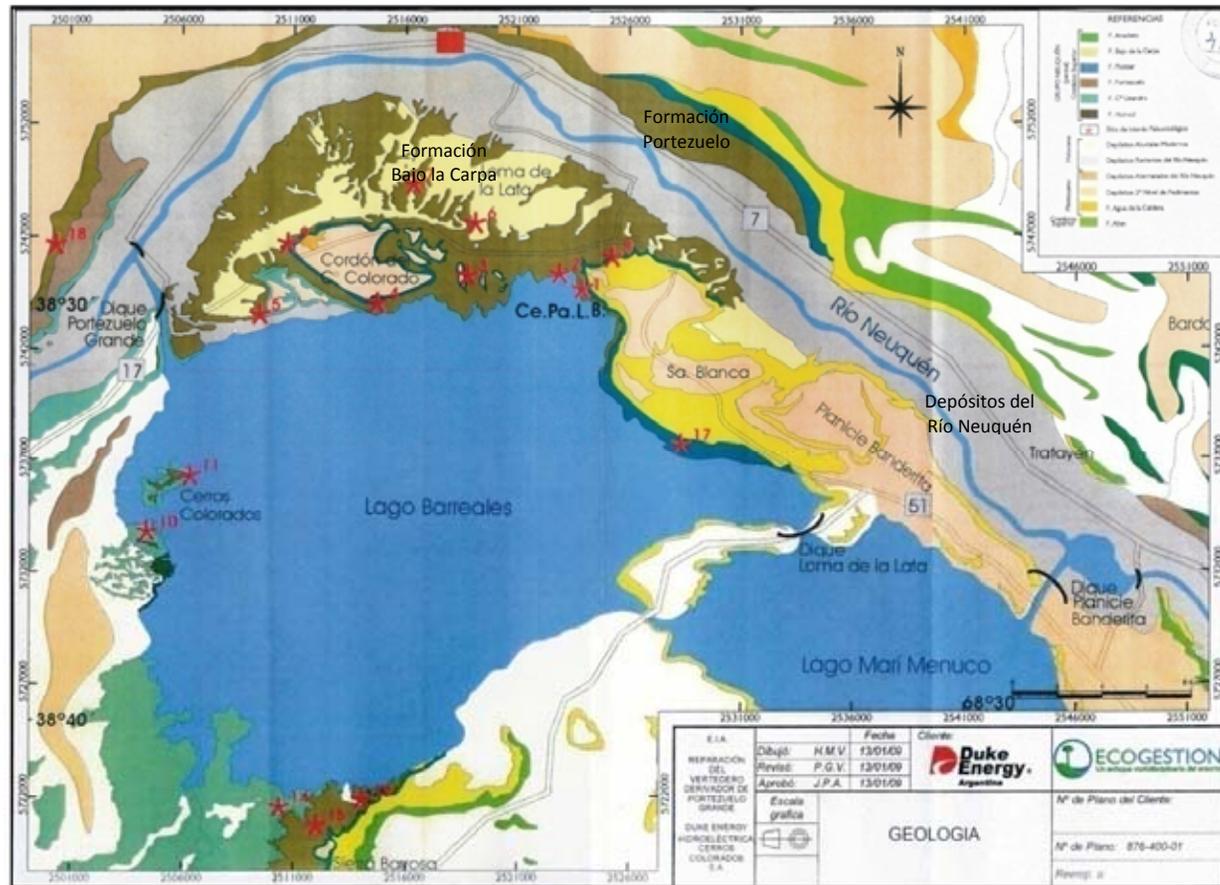


Fig. 5.4 Mapa geológico del tramo de estudio (Tomado de Duke Energy, 2009).