

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO NEGRO**

**LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**



**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y  
APLICACIÓN DEL ÍNDICE  
HIDROGEOMORFOLÓGICO (IHG) EN EL ALTO  
VALLE DEL RÍO NEGRO**

**AUTORA: DÍAZ PRESAS, SOFÍA**

**DIRECTOR: CASELLI, ALBERTO**

**CO-DIRECTOR: MACCHI, PABLO**

**General Roca**

**2022**

## CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA E ÍNDICE HIDROGEOMORFOLÓGICO DEL ALTO VALLE DEL RÍO NEGRO

**Autora: Díaz Presas Sofía**

### **Resumen:**

El área de estudio abarca el tramo superior del río Negro (38°59'44.42"S, 67°59'55.31"O) en la provincia homónima, desde la confluencia de los ríos Limay y Neuquén hasta la localidad de Chichinales (39° 8'16.01"S, 66°47'31.05"O). Se realizó la caracterización geomorfológica fluvial y se aplicó el índice hidrogeomorfológico (IHG), que constituye la primera aplicación del mismo en un río de clima árido en Argentina

La geomorfología del río Negro presenta barras fluviales, llanuras de inundación, abanicos aluviales, terrazas fluviales, gran cantidad de meandros, vegetación ribereña, los que en conjunto forman al ecosistema fluvial. Dado el control que ejercen las represas y embalses en los ríos de cabecera, se provoca un descenso del caudal, las crecidas y estiajes son pobres, en consecuencia favorece que la dinámica fluvial sea carente en la zona.

La aplicación del IHG contribuyó al conocimiento de la geomorfología fluvial. Su estado ecológico ambiental, a partir de la valoración de tres componentes, calidad funcional del sistema fluvial, calidad del cauce y calidad de las riberas. Como resultado se obtuvo que la calidad hidrogeomorfológica del río Negro es moderada, lo que indica que hay que mantener el foco en la continua restauración fluvial y buscar el equilibrio entre el avance de la sociedad y el área propia del río.

## GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND HYDROGEOMORPHOLOGICAL INDEX (IHG) OF THE ALTO VALLE OF RÍO NEGRO

### **Abstract**

The study area covers the upper section of the Negro River (38 ° 59'44.42 "S, 67 ° 59'55.31" W) in the homonymous province, from the confluence of the Limay and Neuquén rivers to the town of Chichinales (39 ° 8'16.01 "S, 66 ° 47'31.05" W). The fluvial geomorphological characterization was carried out and the Hydrogeomorphological Index (IHG) was applied, which constitutes the first application of the same in a river with an arid climate in Argentina, in circumstances different from that of its creation and in this way to verify its effectiveness.

The geomorphology of the Negro River presents river bars, floodplain, alluvial fans, river terraces, and a large number of meanders, riparian vegetation, which make up the river ecosystem. Given the control exercised by dams and reservoirs in the headwaters, they cause a decrease in flow, floods, and drafts are poor, consequently favouring the lack of fluvial dynamics in the area.

The application of the IHG contributed to the knowledge of fluvial geomorphology. It evaluates its environmental ecological status, based on the assessment of three components, Functional Quality of the River System, Quality of the Channel, and Quality of the Banks. As a result, it was obtained that the Hydrogeomorphological quality of the Negro river is moderate, which indicates that it is necessary to maintain the focus on continuous river restoration and seek a balance between the advancement of society and the river's area.

## AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia por el acompañamiento durante toda esta etapa.

A los amigos que siempre estuvieron en mi vida y a los que conocí por la Geología, que también me permitió explorar lugares nuevos, conocer personas que serán futuros colegas y potenciar mi pasión por la montaña.

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Río Negro, a mi Director Alberto T. Caselli y Co Director Pablo A. Macchi.

A las personas que luchan y mantienen la educación pública.

A papá.

A Fran.

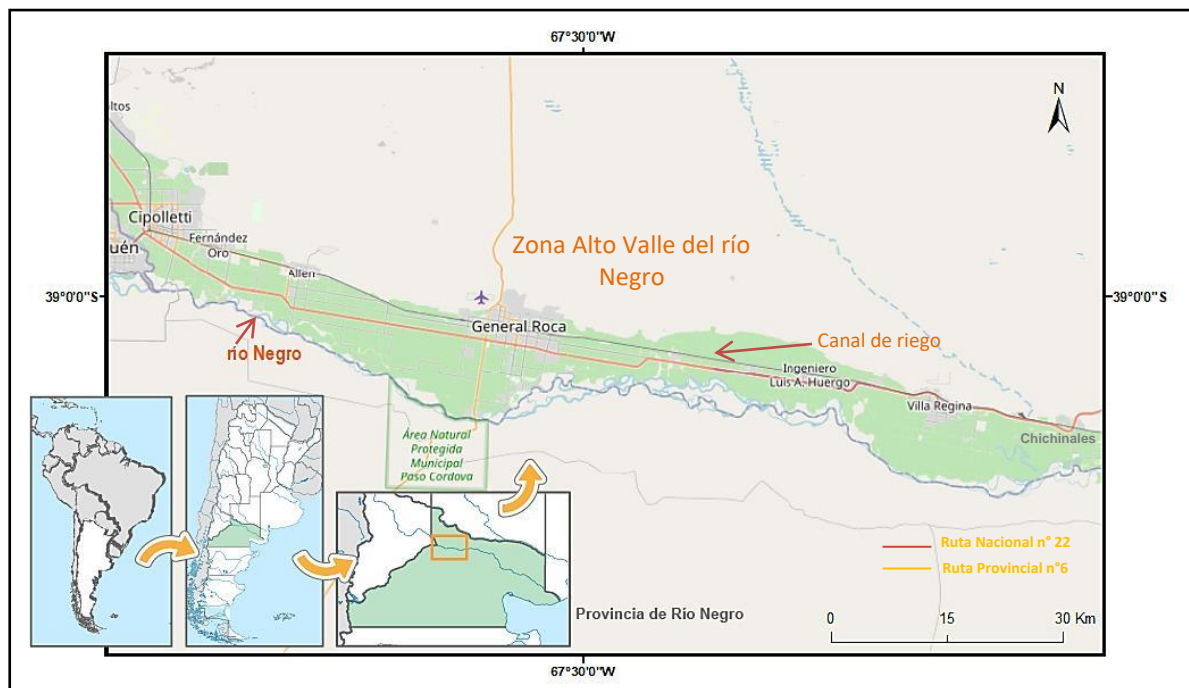
GRACIAS.

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1- Introducción .....	5
CAPÍTULO 2- Materiales y Métodos .....	8
CAPÍTULO 3- Área de estudio .....	12
Marco Geológico.....	12
Estratigrafía .....	13
Estructura.....	17
Efecto de las represas en el río Negro .....	22
CAPÍTULO 4- Resultados.....	24
Tramificación del río Negro.....	24
Aspectos geomorfológicos de los tramos del río Negro .....	36
Aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en cada tramo del río Negro.....	41
CAPÍTULO 5- Conclusiones.....	62
REFERENCIAS.....	64

## CAPÍTULO 1- Introducción

El siguiente trabajo aborda el estudio de la geomorfología fluvial en el tramo superior del río Negro, desde su nacimiento en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén ( $38^{\circ}59'44.42''\text{S}$ ,  $67^{\circ}59'55.31''\text{O}$ ) hasta la localidad de Chichinales ( $39^{\circ}8'16.01''\text{S}$ ,  $66^{\circ}47'31.05''\text{O}$ ) (Fig. 1). El cauce del río Negro atraviesa la provincia homónima en dirección noroeste a sudeste. Posee una extensión aproximada de 637 km hasta su desembocadura en el Mar Argentino.



**Figura 1: Ubicación del área de estudio**

Sobre los cauces de los ríos Limay y Neuquén tiene lugar el desarrollo de obras hidráulicas de regulación multipropósito, para control de crecidas, generación de energía eléctrica y abastecimiento de agua para riego y consumo humano.

La creación de estos embalses generó la adición de áreas fluviales a los sistemas productivos bajo riego. En la actualidad el creciente aumento demográfico y la consecuente necesidad habitacional, ocasionaron que varias tierras de cultivo fueran loteadas, produciendo la pérdida de un recurso limitado como el suelo agrícola (Ambrosio *et al.*, 2016).

El río Negro, es el más importante de la provincia, por tal motivo es necesario, conocer su estado ambiental presente. Los elementos geomorfológicos que componen al río (llanuras de inundación, barras fluviales, abanicos aluviales, terrazas, islas, etc.), son

los que resultan en mayor medida afectados por el impacto antrópico y no se tienen en cuenta en el momento de los estudios de impacto y calidad del agua. Es por ello que es necesario incorporar los elementos geomorfológicos en las evaluaciones del deterioro ambiental y el posible incremento de los riesgos ambientales que pueden sufrir los mismos (Ollero Ojeda, 2009).

Es así que en el presente trabajo se incorpora el índice hidrogeomorfológico (IHG) (Ollero Ojeda, 2009) como una guía metodológica y una herramienta de valoración de los indicadores hidromorfológicos para determinar el estado ecológico del río Negro. Este índice tiene como objetivo la búsqueda de impactos ambientales directos o indirectos. Se diseña un sistema de valoración que pueda ser útil para la ordenación del territorio, es decir, para fines como la conservación de los corredores ribereños, el estado geomorfológico, la gestión sostenible del agua o la zonificación en función del grado de riesgo.

La elección del índice hidrogeomorfológico (IHG) se basó en que destaca como característica principal la geomorfología fluvial. Su uso es ampliamente notorio a nivel mundial, incluso fue aplicado en Argentina, en el río Alisal en provincia de Salta, para evaluar la calidad de las riberas fluviales (Subelza *et al.*, 2019). El índice toma en cuenta todos los impactos humanos sobre el sistema fluvial, sean directos sobre el cauce o indirectos sobre cuencas y vertientes, o diferidos en el tiempo. Representa una respuesta al funcionamiento hidrológico y geomorfológico del sistema y a las propias morfologías del cauce y riberas (Ollero Ojeda, 2009).

Según algunos antecedentes, varios países tuvieron la iniciativa de crear índices para establecer un valor ambiental a los ríos, surgiendo así planes de ordenación, programas de conservación y restauración, normativas diversas que afectan a cauces y riberas. Hay una gran variedad de índices, por lo tanto, se puede tomar como referencia, para aplicar, o puede ser adaptado de acuerdo a las características particulares del río a analizar, ya sea por el clima, el terreno, la morfología, entre otros. Entre ellos se destacan el *proper functioning condition* (PFC) desarrollado en Estados Unidos (Prichard *et al.*, 1993), un método para definir si un espacio fluvial funciona adecuadamente en cuanto a su hidrología, caracteres geomorfológicos, vegetación y suelos. El *River habitat survey* (RHS), que se desarrolla en el Reino Unido desde 1993 (Raven *et al.*, 1997). Se aplica en tramos de 500 m de longitud, en cada uno de los cuales se realizan 10 perfiles en los que se observa el sustrato, flujo, caracteres de erosión y sedimentación en el cauce, estructura morfológica y de vegetación en las orillas, así como usos del suelo en el corredor ribereño (Ojeda *et al.*, 2007).

El sistema alemán es aplicable a cursos medianos y pequeños, realizándose evaluaciones cada 200 o 400 m de longitud, en función de las dimensiones del curso fluvial. Este sistema fue adaptado y mejorado por Fleischhacker y Kern (2002), que establecen el “estado ecomorfológico”, aplicable a ríos navegables. El sistema de evaluación francés (seq-Physique) se estructura en tres secciones dedicadas a la calidad físico-química del agua, al análisis de los seres vivos y al estado del lecho, orillas y cauce mayor.

La tramificación de los cursos fluviales, continúa con el análisis en el campo y finaliza con el cálculo de índices de calidad en porcentaje sobre una situación ideal (Ojeda *et al.*, 2007).

Es por ello que es necesario incorporar los elementos geomorfológicos en las evaluaciones del deterioro ambiental y el posible incremento de los riesgos ambientales que puedan sufrir los mismos (Ollero Ojeda, 2009).

La geomorfología fluvial no solo consiste en el análisis descriptivo, como la caracterización de cauces o en la explicación de los procesos de erosión, transporte y sedimentación, sino que puede convertirse también, en una herramienta útil en el diagnóstico sobre la situación ambiental del sistema fluvial (Ollero Ojeda, 2010). El reconocimiento de las geoformas ayuda a comprender si el río está activo, es decir, si existen crecidas/estiajes, sedimentación o reactivación de la vegetación ribereña, o si se encuentra inactivo, con estabilización de barras fluviales, abandono de canales, baja tasa de erosión, entre otros (Ollero Ojeda, 2011). Esto permite una mayor comprensión de la dinámica fluvial para una organización territorial, acorde al sistema río-urbanización. La forma de los ríos es entonces el fruto de un delicado e inestable equilibrio entre la hidráulica (caudales líquidos), el transporte de sedimentos (caudales sólidos) y la geomorfología (dimensión de sedimentos, geometría del lecho). Cualquier cambio en uno de estos componentes va a afectar a los otros, determinando de esta manera cambios morfológicos.

Así, el presente estudio constituye la primera aplicación sistemática completa en ecosistemas áridos regionales, con el objetivo de diagnosticar la calidad hidrogeomorfológica a partir de la valoración y caracterización a la geomorfología que presenta actualmente este sector del río Negro. En síntesis, los objetivos que se proponen son los siguientes:

- Describir las geoformas del río Negro a partir de la realización de un mapa geomorfológico.
- Comparar, a través de imágenes satelitales, cómo se modificó la geomorfología del río Negro desde 1970 a 2020.
- Estimar y valorar la calidad hidromorfológica del río Negro, en tramos seleccionados.

## CAPÍTULO 2- Materiales y Métodos

Para la elaboración del mapa geomorfológico se usó el sistema de información geográfica (SIG) de QGIS. La base del mapa que se utilizó fue un Modelo de Elevación Digital (DEM) provisto por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y un basemap que lo proporciona QGIS. A partir de la observación de imágenes satelitales y del DEM, se identificaron las geoformas fluviales, como barras fluviales, islas, abanicos aluviales y niveles de terrazas de ambas márgenes. La llanura de inundación se cartografió según el mapa que proporciona la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas (AIC) que indica las cotas más altas para áreas inundables dependiendo del caudal que se libere según la estación anual o demanda energética. Estas son áreas sujetas a inundaciones recurrentes y se ubican adyacentes al río. Este límite se puede identificar en las trazas de los meandros abandonados que yacen en las márgenes del río Negro.

Para realizar el mapa geológico se recopiló la información de las Hojas Geológicas de Neuquén (Leanza, 2007), General Roca (Leanza, 2001) y Villa Regina (Hugo y Leanza, 2001).

Las observaciones de los cambios geomorfológicos a lo largo del tiempo, se identificaron a través de imágenes satelitales. Estas imágenes fueron descargadas de forma gratuita de los archivos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS; <https://earthexplorer.usgs.gov/>). En este caso se buscó una imagen antigua del río Negro que fuera próxima a la fecha de inauguración del Embalse Ezequiel Ramos Mexía. De este modo, se logró descargar una imagen del año 1972 de calidad baja, pero que resulta útil para los propósitos de este trabajo.

Las imágenes que se descargaron fueron una por década, es decir en total 5 desde 1970 a 2020. Cada una de ellas se procesó utilizando el programa Envi, analizando y procesando las imágenes raster, variando de manera directa con las bandas en función de la misión espacial de la que provengan. La elección de las bandas de colores es a criterio propio, en este caso en las imágenes satelitales de los años 1986, 1999 y 2010, se utilizó la combinación de bandas 432 (falso color). Esta combinación de bandas posee una sensibilidad muy buena a la vegetación verde la cual aparecerá representada en una tonalidad roja, debido a la alta reflectividad en el infrarrojo y la baja en el visible. La banda 4 (infrarrojo cercano) es útil para identificar los límites entre el suelo y el agua y aparece en tonos azules. Los cuerpos de agua con sedimentos en suspensión aparecen en tonos azul claro y los que poseen pocos sedimentos en suspensión en azul oscuro.

La composición en falso color posee las siguientes tonalidades más habituales:

- Rojo, indica una vegetación sana y bien desarrollada
- Rosa, áreas vegetales menos densa o con vegetación menos desarrollada
- Blanco, áreas con escasa o nula vegetación
- Azul oscuro o negro indica la presencia de agua
- Marrón, vegetación arbustiva muy variable
- Beige-dorado, zonas de transición, prados secos asociados a matorral ralo



La imagen satelital del año 1972, se descargó con la combinación de bandas 754. Dado que el satélite Landsat 1 fue el primero que se lanzó para obtener información sobre los recursos terrestres, la resolución y la calidad de la imagen es baja. Debido a que no se encontraban disponibles las bandas 2 y 3, se optó por realizar otra combinación análoga a la 432, que poseen el resto de las imágenes de los años posteriores. La elección de las bandas 754 (7 para la banda roja; 5 para la banda verde y 4 para la banda azul) es similar a la infrarrojo o falso color, la vegetación se destaca en color rojo y el agua en azul.

En la imagen satelital del año 2018 obtenida por el satélite Landsat 8, la elección de bandas es diferente, ya que la banda 2 no existe, por lo tanto se optó por la combinación 543, infrarrojo, que destaca vegetación y agua. Las imágenes que corresponden a las décadas de 1980, 1990 y 2000 se descargaron con la combinación de bandas 432.

Para implementar en el río Negro el índice hidrogeomorfológico (IHG), se dividió el sistema fluvial en tramos o sectores, de manera que el índice se obtendrá para cada uno de ellos. El criterio utilizado para la tramificación se basó en la clasificación de Díaz Bea y Ollero (2005) que indica una metodología de tramificación del río, a partir de las características del valle y/o cauce, del cálculo de la pendiente y de la sinuosidad.

A partir de los resultados obtenidos se realizó una descripción geomorfológica de cada uno de los tramos y se calculó el IHG.

Para la evaluación del IHG se valorizan 9 atributos, distribuidos en 3 bloques:

1) Calidad funcional del sistema: a) naturalidad del régimen caudal, b) disponibilidad y movilidad de sedimentos y c) funcionalidad de la llanura de inundación.

2) Calidad del cauce: a) naturalidad del trazado y la morfología en planta, b) continuidad, naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales, c) naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral.

3) Calidad de riberas: a) continuidad longitudinal, b) ancho del corredor ribereño, c) estructura, naturalidad y conectividad transversal.

En cada uno de los nueve parámetros o variables evaluadas se asigna el valor 10 (máximo) si la situación es natural, pero si se observan determinados impactos y presiones se van restando puntos a ese valor 10 (Tabla 1) (Ollero *et al.*, 2009). Por lo tanto, se valora de forma integrada la hidrogeomorfología de cada sector del sistema fluvial, para lo cual se suman los 9 valores obtenidos, con un máximo de 90 puntos.

**Tabla 1: Rango de intervalos y puntuaciones del IHG (tomado de Ollero Ojeda, A., 2009).**

ESTADO	VALOR IHG
Muy Bueno	75-90
Bueno	60-74
Moderado	42-59
Deficiente	21-41
Malo	0-20

Calidad funcional del sistema fluvial: Aquí se valoran las bases del sistema fluvial, la materia y energía. La calidad funcional del sistema fluvial se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres subparámetros: la naturalidad del régimen de caudal, la disponibilidad y movilidad de sedimentos y la funcionalidad de la llanura de inundación (Ollero *et al.*, 2009).

a) Naturalidad del régimen de caudales: aquí se tiene en cuenta si el río lleva la cantidad de agua que debería llevar en condiciones naturales registrados por entes que miden el nivel del caudal a lo largo del tiempo. Si presenta cambios estacionales de caudal y/o registra crecidas. Las afecciones más graves en este componente son los embalses y derivación a canales de riego, centrales hidroeléctricas, etc.

b) Disponibilidad y movilidad de sedimentos: similar a la componente anterior, en este caso afecta a los sedimentos arrastrados por los cursos fluviales. Las afecciones más graves para este componente son los embalses y azudes, no tanto por su capacidad de derivación sino por el embalsamiento.

c) Funcionalidad de la llanura de inundación: hace referencia a las restricciones y modificaciones del espacio destinado a ser dinámico durante los procesos de crecidas en los ríos. Las canalizaciones, defensas e impermeabilizaciones son los impactos más graves que se pueden detectar en estos casos.

Calidad del cauce: El segundo apartado del IHG evalúa el cauce como elemento clave del sistema fluvial natural. El cauce es una geomorfología construida por el río, por lo que constituye un indicador fundamental de la salud del mismo. Un cauce natural con su dinámica geomorfológica propia garantiza un sistema fluvial sano con unos ecosistemas en buen estado, es decir, ríos primitivos donde no se encuentran afectados por embalses o diques que cambien su estructura inicial (Ollero *et al.*, 2010).

La evaluación del cauce y su dinámica se desarrolla desde una perspectiva tridimensional: longitudinal, transversal y vertical así, la calidad del cauce se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres parámetros: la naturalidad del trazado y de la morfología en planta, la continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales y la naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral.

a) Naturalidad del trazado y la morfología en planta: el cauce puede haber sido modificado en su trazado y la presencia de canalizaciones, tramos rectilíneos, rectificaciones o cortas son las afecciones que se detectan en esta componente.

b) Continuidad y naturalidad de los procesos longitudinales y verticales: La presencia de barreras en el cauce, como azudes o represas menores que suponen rupturas en la dinámica local del río. También se tienen en cuenta impactos más puntuales, como vados o puentes, que suponen cambios de pendiente artificiales. Los dragados y extracciones de áridos también suponen un impacto a tener en cuenta.

c) Naturalidad de las márgenes y movilidad lateral: La desnaturalización de las márgenes de los ríos también supone un importante impacto que limita la dinámica natural del sistema. Se observa si el cauce se encuentra defendido, ya sea mediante alteraciones menores de márgenes, o actuaciones más significativas, como la presencia de muros o gaviones de hormigón.

Calidad de ribera: El corredor ribereño es la zona donde se encuentra la vegetación nativa y también son denominados como “anexos fluviales” (canales de crecida, cauces abandonados, etc.). El corredor es la banda central de la llanura de inundación, la franja que integra el cauce, su cortejo de bosques ribereños y los paleocauces más recientes. Otros caracteres básicos son nivel freático alto y topografía llana afectados por inundaciones de crecidas por los ríos (Ollero *et al.*, 2009). La calidad de las riberas se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres parámetros: la continuidad longitudinal del corredor ribereño, la anchura del mismo y por la conectividad entre sus distintos ambientes (Ollero *et al.*, 2009).

a) Continuidad longitudinal: si el cauce se ve alterado por canalizaciones, escolleras, cultivos, urbanizaciones, etc.

b) Anchura del corredor ribereño: se analiza el ancho total del cauce teniendo en cuenta sus elementos principales, viendo cómo se fueron reduciendo en el caso de haber sufrido impactos. Es necesario recurrir a fotografías aéreas antiguas o documentos que atestigüen las características del corredor ribereño antes del estado actual.

c) Estructura, naturalidad y conectividad lateral: este componente analiza la presencia o ausencia de un buen desarrollo de las riberas, tanto interno como lateral o transversalmente, así como la presencia de plantaciones o vegetación alóctono que no debiera aparecer.

## CAPÍTULO 3- Área de estudio

### Marco Geológico

Las rocas que afloran en la región de estudio comprenden el intervalo de tiempo entre el Cretácico Superior a Holoceno, siendo las rocas más antiguas correspondientes a la sedimentación de la cuenca Neuquina, particularmente las sedimentitas de los grupos Neuquén y Malargüe.

La cuenca Neuquina (Fig. 2), se ubica en el centro oeste de la Argentina, en el sector norte de la Patagonia. Se extiende entre los paralelos 34° a los 41° y los meridianos 68° a 72°. Cubre un área superior a los 200.000 km<sup>2</sup> y registra una columna sedimentaria de más de 7.000 metros de espesor, que incluye rocas sedimentarias marinas y continentales que abarcan desde el Triásico Superior al Paleoceno (Ramos *et al.*, 2011). Esta cuenca presenta un basamento compuesto por rocas metamórficas e ígneas intrusivas y extrusivas del Triásico tardío. El movimiento tectónico que ocurrió en el margen centro-oeste de la placa Sudamericana estuvo sometido a procesos tectónicos extensionales asociados al desmembramiento de Pangea, esto dio lugar a hemigrábenes que fueron rellenados por sucesiones volcánicas y facies continentales, reunidos en el Grupo Precuyo (Triásico Tardío-Jurásico temprano) (Ramos *et al.*, 2011). Durante el Jurásico Inferior comenzó la subducción del margen occidental de Gondwana creando las condiciones para que se produjera la primera ingresión marina. La sucesión marina del Grupo Cuyo (Formación Los Molles y Formación Lajas) alcanza los 2.500m de espesor y durante su depositación se registró la máxima expansión del mar. (Ramos *et al.*, 2011).

La secuencia estratigráfica continúa sobre la discordancia Loténica o Intramálmica, sobre la cual se depositaron las sedimentitas del Grupo Lotena (Calloviano medio - Oxfordiano Superior), constituido por sedimentos clásticos y carbonáticas, con ausencia de sedimentos marinos profundos (Ramos *et al.*, 2011).

Luego de la discordancia reconocida como Intramálmica, se depositaron las sedimentitas continentales del Grupo Mendoza (Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano) (Ramos *et al.*, 2011). A partir del ciclo Ándico, que marcó un cambio importante en la topografía producto del alzamiento del arco volcánico, se restringió el ingreso del mar Pacífico, favoreciendo la sedimentación continental con facies fluviales, aluviales y eólicas.

Mediante una discordancia regional, denominada Intrabarremiana (Miránica Inicial), la cual marca el levantamiento de los Andes, se genera el retiro del mar y, hacia fines del Cretácico Inferior, se convierte en una cuenca de antepaís, dando lugar a la formación de la faja plegada y corrida del Agrio, con depósitos continentales y marinos del Grupo Bajada del Agrio (Leanza, 2009)

El establecimiento de una cuenca de antepaís en el Cretácico Superior a Paleógeno inferior (Tunik *et al.*, 2010), favoreció la acumulación de espesas sucesiones principalmente de origen continental integradas a los Grupos Neuquén y Malargüe. Estos dos grupos comprenden la etapa final de la configuración de la cuenca, con características de antepaís (Tunik *et al.*, 2010). Por otro lado, el grupo Neuquén (Cenomaniano Inferior - Campaniano

Medio) se encuentra limitado por dos discordancias, en su base por la discordancia Patagonídica (Leanza, 2009) y hacia el techo está la discordancia Huantráiquica (Leanza, 2009). El desarrollo de las sedimentitas de este grupo se produjo durante la etapa compresional sobre el margen andino, cuando la cuenca Neuquina se encontraba en fase de antepaís. En consecuencia, antiguas áreas extensionales produjeron una inversión en su estructura. Los sedimentos que posee son continentales predominantemente fluviales y en menor medida eólicos y lacustres (Garrido, 2010). Por último, durante la sedimentación del Grupo Malargüe ocurre la primera ingresión del mar proveniente del Atlántico. En este lapso la región norte de la Patagonia se cubrió por un mar epicontinental somero y su registro quedó plasmado como parte del Grupo Malargüe (Rodríguez *et al.*, 2011).

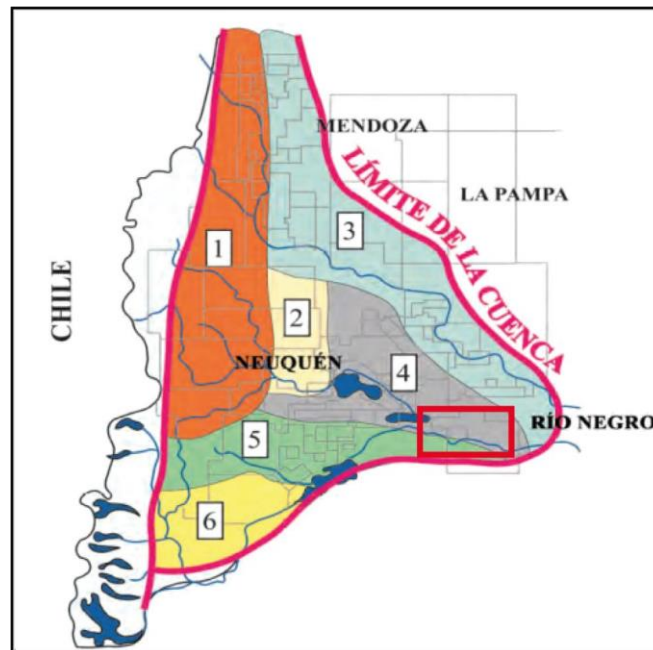


Figura 2: Cuenca Neuquina, zona de Engolfamiento N°4 y zona N° 5 Dorsal de Huincul, se encuentran los Grupos Neuquén y Malargüe, recuadro rojo indica el área de trabajo. Tomada y modificado de Casadío y Montagna (2015).

## Estratigrafía

Se presenta un mapa geológico del área de estudio (Fig. 3), obtenido a partir de la recopilación de información de las Hojas Geológicas de Neuquén, General Roca y Villa Regina. Las unidades que afloran en la región se presentan en el cuadro estratigráfico de la Tabla 2 y se describen brevemente a continuación.

Grupo Neuquén: Litoestratigráficamente está compuesto por tres subgrupos y nueve formaciones. Las formaciones que afloran en el área de estudio son:

La Formación Portezuelo (Turoniano superior), la cual conforma una sucesión alternante de unidades psamíticas y pelíticas de origen fluvial con escasa energía. La Formación Plottier posee predominio de fangolitas de color rojo que en sectores se intercala

con areniscas amarillentas a gris verdosas (Leanza *et al.*, 2007). La Formación Bajo de la Carpa (edad Santonina) formada por areniscas de diferentes coloraciones, es de origen continental de ambiente fluvial en condiciones de alta energía (Rodríguez *et al.*, 2007). La última formación que pertenece al Grupo Neuquén es la Formación Anacleto (Campaniano) aflora en el margen derecho del río Negro, en el área de Paso Córdoba. Constituida por sedimentitas morado-rojizas, que alternan con niveles blanquecinos de calcáreos concrecionales (Hugo y Leanza, 2001). El ambiente de depositación es fluvial de bajo gradiente y por lo tanto de poca a moderada energía.

Grupo Malargüe: está conformado por las siguientes formaciones, de base a techo: Formación Allen (Campaniano) que aflora en el área Protegida Paso Córdoba al sur de la localidad de General Roca. Compuesta por areniscas de grano medio a fino con alternancia de limolitas friables con tonalidades amarillentas (Hugo y Leanza, 2001). El ambiente de sedimentación está dado por un ambiente fluvial de energía moderada (Hugo y Leanza, 2001). La Formación Jagüel (Cretácico Superior) está representada en la margen norte del río Negro. Constituida por limolitas y arcillitas grises amarillentas a verdosas. El ambiente es netamente marino (Hugo y Leanza, 2001). La Formación Roca (Paleógeno-Paleoceno) posee calizas grises a amarillentas, margas verdosas, con gran contenido fosilífero, alternando con arcillitas (Hugo y Leanza, 2001). Esta formación se depositó en un ambiente marino somero y de transición.

La Formación El Carrizo (Paleoceno) aflora al norte de la meseta en General Roca, compuesta por arcillitas y fangolitas verdosas macizas con intercalaciones de margas blancas. De origen continental, se desarrolló en ambiente fluvial meandriforme (Hugo y Leanza, 2001). La Formación Chichinales, aflora en ambos márgenes del río Negro. En el área de Paso Córdoba afloran sedimentitas, tufitas castaño claras friables y macizas con areniscas castaño grisáceas que alternan limolitas y arcillitas, con conglomerados con cemento calcáreo (Rodríguez *et al.*, 2007). El ambiente de depositación fue bajo condiciones fluviales generado por un paleoclima de tipo subtropical.

Formación El Palo (Mioceno Superior) se presenta en ambos márgenes del río Negro, compuesta por psamitas grises a pardas de grano grueso y en parte se presentan conglomerádicas (Hugo y Leanza, 2001) con presencia de niveles de paleosuelos. Los sedimentos fueron depositados en un ambiente fluvial de energía variable. Formación Rentería (Plioceno Superior) coincide geográficamente con la planicie homónima. Presenta una litología de conglomerados clastos sostén polimícticos, además cuenta con presencia intercalada de lentes de areniscas amarillentas (Rodríguez *et al.*, 2007). Formación Bayo Mesa (Plioceno Superior-Cuaternario) se extiende al Norte del río Negro, está compuesta de conglomerados clasto soporte, con lentes intercalados de areniscas amarillentas gruesas. Esta formación se apoya concordantemente sobre Formación El Palo (Rodríguez *et al.*, 2007).

Los depósitos de pedimentos y niveles de terrazas de edad Cuaternaria que abarcan gran parte del área de estudio (ver mapa Fig. 3) están compuestos por: arenas finas a gruesas, gravas y conglomerados.

Tabla 2: Cuadro estratigráfico de los Grupos Neuquén y Malargüe.

<b>CENOZOICO</b>	<b>CUATERNARIO</b>	PLEISTOCENO		Niveles de Terrazas (2°, 3°, 4°, 5°, 6° y 7°)	
				Depósito superficial de pedimentos	
				Depósitos de planicie aluvial El Cuerno	
				Depósitos que cubren pedimentos locales	
				Depósito aluvionales de cauces y lagunas actuales	
				Depósito de antigua planicie aluvial	
	<b>NEÓGENO</b>	PLIOCENO	Superior	Fm. Bayo Mesa Fm. Rentería	
			Inferior	Fm. El Palo	
		MIOCENO	Superior		
			Medio Inferior		
	<b>PALEÓGENO</b>	OLIGOCENO	Superior	GRUPO MALARGÜE	
		PALEOCENO	Daniano		
Fm. Roca					
<b>MESOZOICO</b>	<b>CRETÁCICO</b>	SUPERIOR	Maastrichtiano	Fm. Jagüel	
			Campaniano	Fm. Allen	
			Santoniano	Fm. Anacleto	
			Coniaciano	Fm. Bajo de la Carpina	
			Turoniano	Fm. Plottier	
			Cenomaniano	Fm. Portezuelo	
		<b>GRUPO NEUQUÉN</b>			

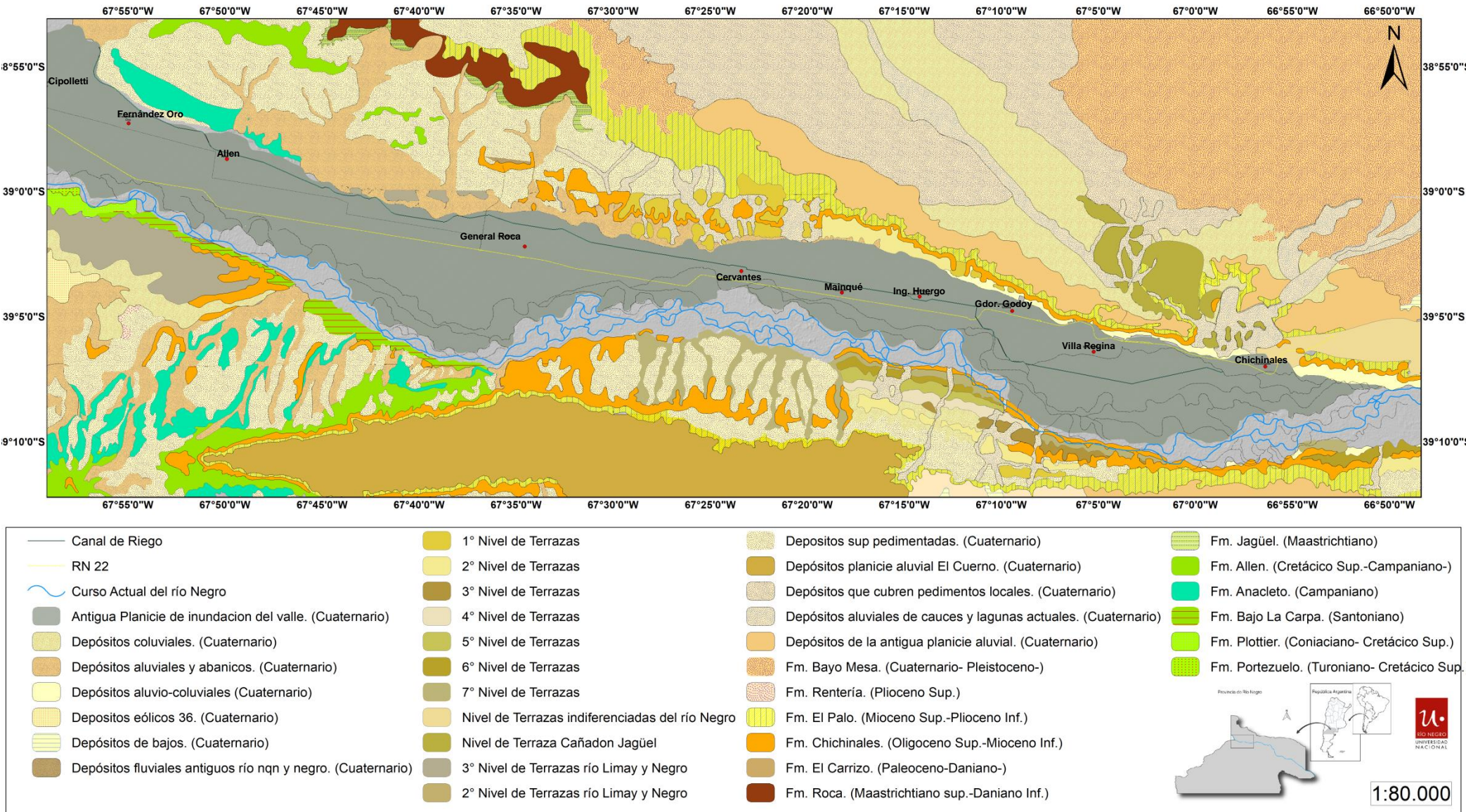


Figura 3: Mapa Geológico del área de estudio



## Estructura

El río Negro está controlado por una estructura interna de gran alcance, dada por la Dorsal de Huincul y la falla Huincul, también denominada por Orchueta y Ploszkiewicz (1984) como falla Río Negro, la cual atraviesa la provincia en dirección oeste-este (Fig. 4). Además se presentan lineamientos tanto compresivos como transcurrentes, que se extienden dentro del territorio de Neuquén y Río Negro por más de 270 km de largo, afectando estructuras en un ancho de más de 100 km con orientaciones diferentes (Mosquera y Ramos, 2011). Se presenta al NE; un sector oriental caracterizado por lineamientos NO de tipo transcurrentes; un sector central en donde predominan estructuras generadas por inversión oblicua con orientación E-O y un sector norte donde las estructuras desarrolladas son enteramente transcurrentes y de orientación NO, sujetas a la estructura principal (Silvestro y Zubiri, 2009).

La dorsal de Huincul es un lineamiento estructural de escala regional que se extiende aproximadamente por alrededor de 300 km, a la latitud de 39°S. Se dispone con orientación E-O, de manera transversal a la cordillera de los Andes, marcando el límite natural norte de la Patagonia (Mosquera y Ramos, 2011). La dorsal tuvo un fuerte control en la sedimentación de la evolución de la cuenca Neuquina desde el Triásico Superior al Jurásico Inferior (Pángaro *et al.*, 2009). Está constituida por un conjunto de estructuras anticlinales de orientación preferencial este-oeste, fuertemente asimétricas con vergencia predominante hacia el sur, involucrando desde el basamento Paleozoico hasta los sedimentos del Cretácico Superior. La evolución de la dorsal comenzó con la formación de una serie de hemigrábenes con orientación noroeste. El desarrollo de un sistema compresivo que persistió desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior impuso a la dorsal de Huincul su configuración estructural actual (Fig. 4). Según Pángaro (2009) la cuenca Neuquina posee tres etapas en el relleno de los hemigrábenes. La primera está dominada por una fuerte subsidencia tectónica y volcanismo bimodal agrupados dentro del Ciclo Precuyano. La segunda etapa, que abarca desde el Pliensbachiano hasta el Toarciano Inferior muestra aún una sedimentación dominada por una fuerte subsidencia tectónica; y la tercera etapa está signada por una subsidencia tectónica póstuma y un predominio del control eustático sobre los sistemas depositacionales.

La falla Huincul tendría incidencia sobre el curso del río Negro hasta la localidad de Chelforó, por lo tanto, se puede inferir que la morfología del río, en ese trayecto, podría responder al control estructural. El resultado de la morfología fluvial es que el río presenta una zona de conformación recta, semiconfinado, dado por los niveles de terrazas que se encuentran en la margen sur del río. En la margen norte, en cambio, no hay confinamiento y es donde se desarrolla el valle fluvial junto con la llanura de inundación del río, a pesar de no poseer una topografía que impida su libre movimiento, éste se mantiene recostado sobre la margen sur, demostrando de esta manera el control estructural que hay sobre el río.

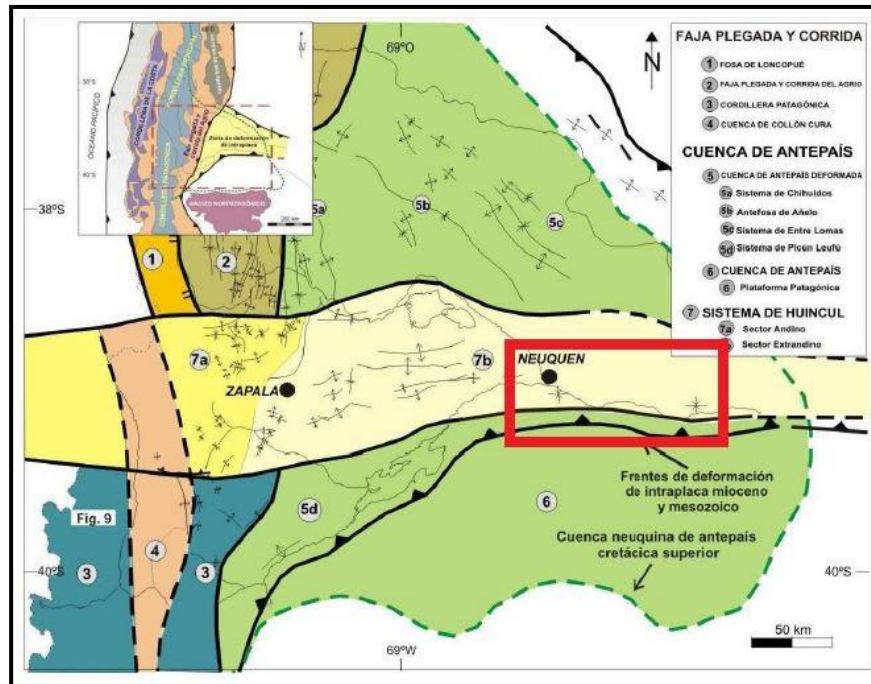


Figura 4: Dorsal de Huincul y la falla asociada a ella que afecta al río Negro dentro del rectángulo rojo. Tomado y modificado de Mosquera y Ramos (2011).

### Cuenca hidrográfica del río Negro

Las cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro constituyen el sistema hidrográfico más importante de todos los que se extienden íntegramente en el territorio de la Nación Argentina (La Cuenca, (s.f), <http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuenca>). Drena una superficie de 140.000 km<sup>2</sup> y cubre casi la totalidad del territorio de la Provincia de Neuquén y parte de las Provincias de Río Negro y Buenos Aires. El río Neuquén, con un módulo de 280 m<sup>3</sup>/s, drena un área de 30.000 km<sup>2</sup>; el río Limay tiene un módulo de 650 m<sup>3</sup>/s y drena un área de 56.000 km<sup>2</sup>. Ambos conforman el río Negro que drena una cuenca de 116.000 km<sup>2</sup>, con un módulo de 930 m<sup>3</sup>/s (La Cuenca, (s.f), <http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuenca>).

### Cuenca del río Limay

El río Limay (Fig. 5), topónimo que en araucano significa "transparente, límpido", se extiende a lo largo de 430 km con dirección noreste, es un límite natural entre las dos provincias: Neuquén y Río Negro. Tiene su nacimiento en el lago Nahuel Huapi y fluye hasta la unión con el río Neuquén, para dar nacimiento al río Negro. Es alimentado por 42 lagos, posee un régimen propio de los cursos de agua emisarios de comarcas lacustres en las que las precipitaciones pluviales y níveas son embalsadas por esos lagos, los cuales devuelven los volúmenes de agua retenidos en forma gradual, disminuyendo así la

violencia de las crecidas y aumentando el caudal de los estiajes (La Cuenca, (s.f), <http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuenca>).

En el río Limay se construyeron las represas hidroeléctricas Alicura, Piedra del Águila, Pichi Picún Leufú, Chocón y Arroyito (La Cuenca, (s.f), <http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuenca>). La creación de estas obras reguló el caudal del río Negro, evitando crecidas extraordinarias que pusieran en riesgo a la población y a los cultivos y suministró energía hidroeléctrica a todo el sector.

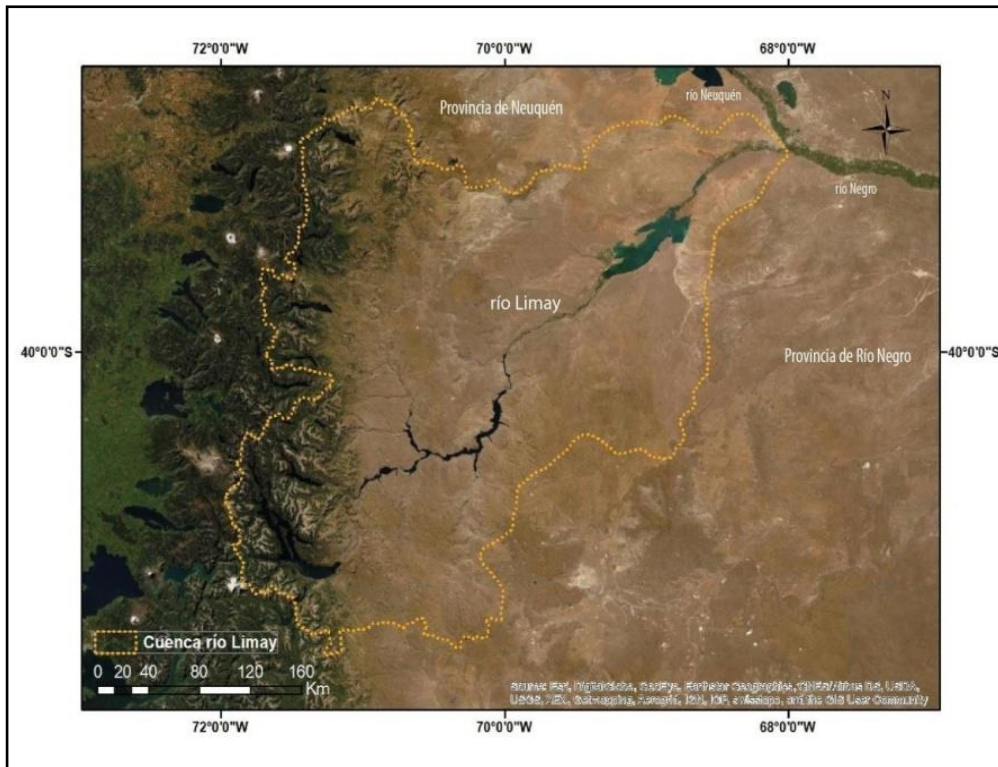


Figura 5: Cuenca hídrica del río Limay.

### Cuenca del río Neuquén

La cuenca del río Neuquén (Fig.6) se localiza en el sector norte de la provincia homónima ocupando una porción en el noroeste de la provincia de Río Negro. Nace en el Cajón de los Chenques, en la cordillera de los Andes y recibe al río Varvarco, su principal afluente y también recibe afluentes desde la cordillera, por parte del río Troncomán y del río Agrio (Fig.6). Las mayores crecidas se dan por acción de las precipitaciones en los meses que van de mayo a julio y por deshielo entre los meses octubre a diciembre. El régimen hidrológico del río principal es de característica pluvionival y no se altera hasta llegar al Complejo Cerros Colorados, ubicado en la parte inferior de la cuenca. En el sitio Portezuelo Grande se ha emplazado un azud derivador de caudales a dos cuencas laterales consecutivas, Los Barreales y Mari Menuco, sobre la margen derecha. Entre ambos reservorios se ubica la obra de control Loma de la Lata, que posibilita que el lago

Mari Menuco posee nivel constante. Más adelante, desde la central hidroeléctrica Planicie Banderita se reintegra el agua al curso del río mediante un canal de restitución, aunque con un régimen visiblemente diferente al que naturalmente posee aguas arriba de la derivación. Aguas abajo del sitio de restitución se han emplazado la presa compensadora de caudales El Chañar y el dique derivador Ingeniero Ballester, el cual permite desviar caudales a la cuenca Vidal, conocida como Lago Pellegrini, y captar caudales para el riego del sistema Alto Valle en la margen izquierda y la Colonia Centenario en la margen derecha (La Cuenca, (s.f), <http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuena>).

La cuenca del Lago Pellegrini se ubica a 15 km de la localidad de Cinco Saltos al NO de la provincia de Río Negro. Este cuerpo de agua de aproximadamente 112 km<sup>2</sup> está situado desde los 68° 6' a los 67° 56' de longitud Oeste y desde los 38° 36' a los 38° 46' de latitud Sur. Las características geológicas del lago son de origen eólico, vinculada con la evolución del valle del río Negro, que constituye la parte más baja de un área más extensa conocida como Cuenca Vidal.

El embalse Cuenca Los Barreales era una depresión natural ubicada en la meseta patagónica, que fue convertida en lago al recibir, mediante una derivación antrópica, los aportes del río Neuquén. El fin principal de esta derivación fue la atenuación de crecidas. El dique se denomina Loma de la Lata y fue inaugurado en 1977. La cuenca desagua hacia el embalse Mari Menuco, junto con el cual conforman el complejo Cerros Colorados (La Cuenca, (s.f), <http://www.aic.gov.ar/sitio/lacuena>).

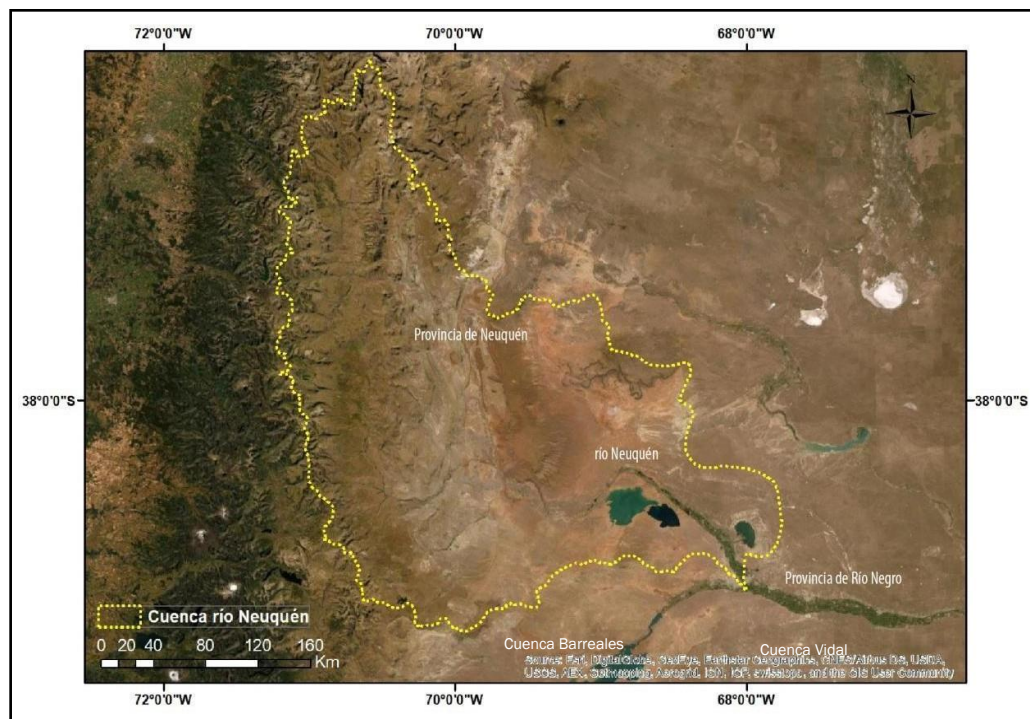


Figura 6: Cuenca hídrica del río Neuquén.

## Cuenca del río Negro

La cuenca del río Negro (Fig. 7) constituye una de las cuencas hídricas más importantes de la Argentina al sumarle las cuencas de los ríos Limay y Neuquén. Nace a partir de la confluencia de los ríos Limay y Neuquén y atraviesa la provincia de Río Negro a lo largo de 630 km en dirección noroeste-sudeste siendo, en su tramo inferior, límite natural con la provincia de Buenos Aires. Drena un área de 125.500 km<sup>2</sup>, desaguando finalmente en el océano Atlántico. El río Negro, por las características de sus principales afluentes, presenta una crecida regular en primavera cuando se fusiona la nieve en las altas cumbres, sin embargo, sus caudales están regulados por las mencionadas obras hidráulicas en los ríos Limay y Neuquén (Mohor, 2015).

El río transcurre por un valle conformado a partir de un intenso proceso erosivo desarrollado en las mesetas patagónicas. Este valle posee un ancho variable, desde 5 km en Chelforó hasta 25 km en Choele Choel, limitado por “bardas” y niveles de terrazade altura variable.

Desde su nacimiento, en la confluencia de los ríos Limay y Neuquén, hasta su desembocadura en el océano Atlántico, el cauce varía en su morfología, comportándose como un cauce único bien definido o formando varios brazos (De Río, 2015). El ancho del río varía entre los 200 y 400 m.

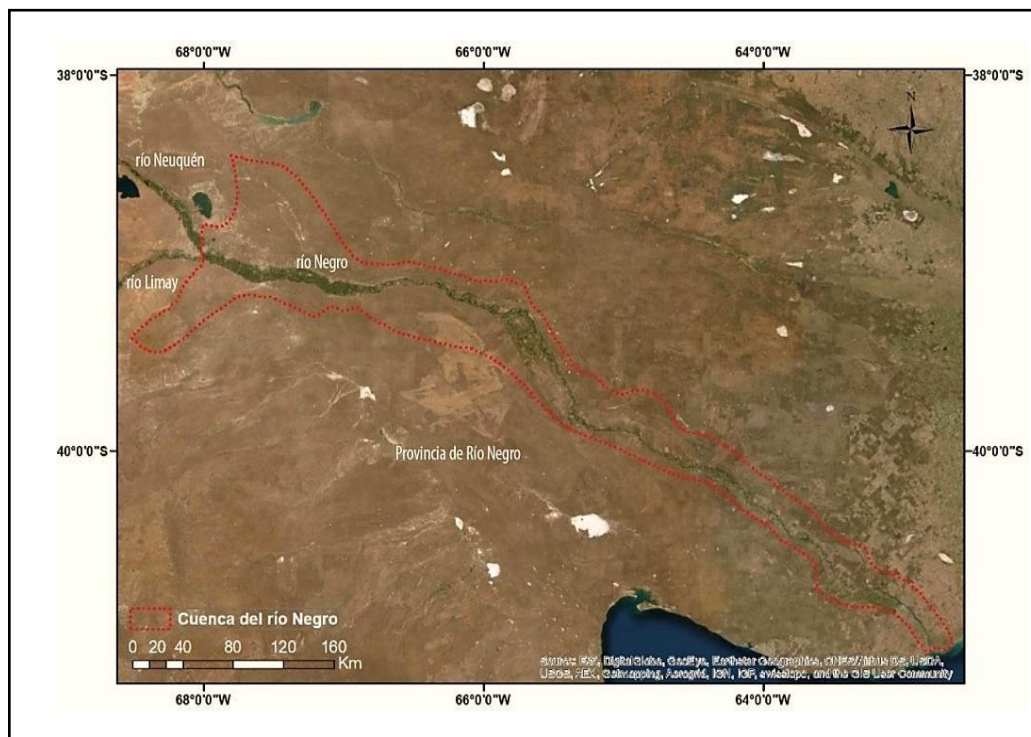


Figura 7: Cuenca hídrica del río Negro.

## Efecto de las represas en el río Negro

Las represas y embalses de grandes proyectos hidroeléctricos son una prioridad a la hora de la demanda energética especialmente en las ciudades, la industria y el turismo. Estos proyectos promueven por un lado, el desarrollo económico del lugar y por otro generan impactos ambientales, que se deberían de controlar y/o reducir. En el caso del valle del río Negro, la creación de las represas en los ríos Limay y Neuquén sirvieron para generar energía, consumo humano y para el riego, también para atenuar las grandes crecidas que se producían y ponían en riesgo a la población aledaña a las costas del río, así como también a la producción frutihortícola de la provincia.

La implantación de una represa altera sustancialmente las variables que controlan la morfología de un río, principalmente, el régimen hídrico y el aporte de sedimentos (Kalees *et al.*, 2008). En la literatura han sido documentados casos típicos de fenómenos de incisión, aguas abajo de las represas, debido al paso de las "aguas claras", es decir, privadas de sedimentos (Kalees *et al.*, 2008).

El río Negro a lo largo de toda su extensión no presenta obras de embalse o represas, pero sí sus afluentes, el río Limay y el río Neuquén (Fig. 8). La instalación de estas obras repercute directamente sobre la geomorfología fluvial y la ecología del río Negro.

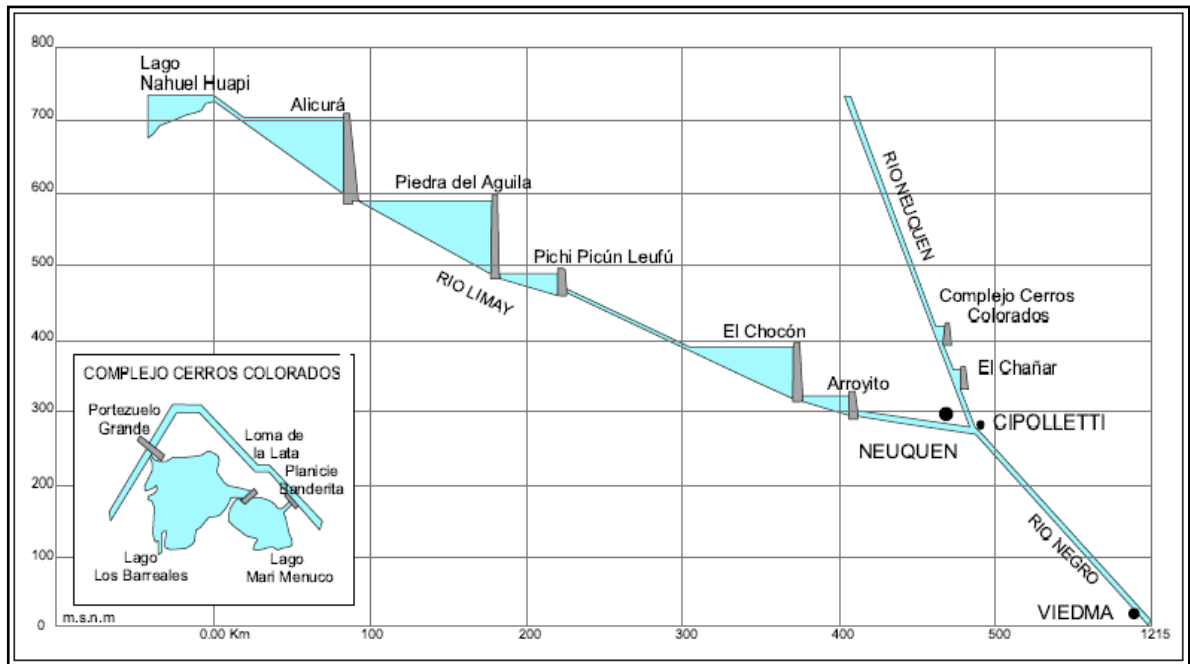
Es importante resaltar que el clima de la región es árido y templado frío. Se trata del tipo climático denominado como "clima árido mesotermal" (Mohor, 2015). Las condiciones de aridez son suficientemente extremas como para determinar que la producción agrícola dependa principalmente del auxilio del riego, ya que la precipitación media es de 197 mm/año y la evapotranspiración es de 791 mm (Fuente: AIC). Debido a esto resultó necesario generar obras ingenieriles para garantizar el riego en toda la zona del valle del río Negro.

Los embalses de la alta cuenca del río Negro tienen una alta eficiencia de retención de sedimentos por lo que los caudales sólidos del río Neuquén, aguas abajo del Embalse El Chañar, se ven notablemente reducidos, por lo tanto tiene incidencias directas en la calidad del agua utilizada para el riego (Mohor, 2015).

Como consecuencia en las cuencas de los ríos Limay y Neuquén, se ha modificado el caudal formador, reduciéndose de aproximadamente 2.650 m<sup>3</sup>/s a 1.600 m<sup>3</sup>/s (Fuente: AIC), acompañado por una sensible reducción del aporte sólido.

La implementación de represas y/o embalses en la región permitió obtener el control de las crecidas y generar grandes beneficios, ya que se logró disminuir en casi su totalidad las emergencias hídricas. Aunque aguas abajo el riesgo a inundaciones todavía sigue existiendo, esto se debe principalmente por parte de las poblaciones que se encuentran dentro del territorio fluvial, como en las planicies de inundación. Esto ocurre como consecuencia de la falsa creencia que con la construcción de obras hidráulicas los riesgos de inundación han sido erradicados y por lo tanto se emplazan en estas áreas con construcciones habitacionales y/o cultivo. El conflicto entre los asentamientos poblacionales y los ríos de la cuenca se produce porque ambos compiten por un mismo espacio. En efecto, los ríos en períodos de estiaje, que pueden ser prolongados, y por efectos del cambio de régimen provocado por las grandes represas, dejan al descubierto grandes áreas transitoriamente "secas". Estas tierras son apetecibles tanto para la ocupación urbana como

para la rural.



**Figura 8: Esquema de ubicación de las represas y/o embalses de los ríos Limay y Neuquén. Tomado de Cazeneuve et al., 1998.**

Otras consecuencias de la generación de las represas aguas abajo, es una atenuación significativa de los picos del hidrograma natural y a la vez un aumento de los caudales de estiaje. Esto originó cambios en la geometría de las secciones y en la pendiente del fondo a lo largo del río. Es decir que la atenuación de crecidas proporciona que los cauces menores de los ríos afectados por las represas y el río Negro, se reduzcan hasta casi desaparecer, ya que el caudal que se extendía por la llanura de inundación no es el mismo (Ollero et al., 2011). Se crean obstrucciones naturales y una paulatina degradación de la llanura y por otro lado, la actividad humana que ha ido poniendo límites crecientes al escurrimiento activo de dichos cauces pequeños.

Las acciones antrópicas han modificado la morfología fluvial natural acelerando el proceso de cambio morfológico con tendencia a un cauce único, con reducción del ancho superficial, favorecido por el acorazamiento del lecho fluvial que restringe la erosión.

## CAPÍTULO 4- Resultados

### Tramificación del río Negro

En este apartado se describen las características morfológicas del área de estudio. El procedimiento seguido en la clasificación y tramificación del curso fluvial se basó únicamente en aspectos geomorfológicos: (i) morfología del valle, (ii) morfología del cauce (índice de sinuosidad y clasificación morfológica fluvial) y (iii) pendiente del cauce.

Se llevó a cabo un análisis de la longitud total del curso del río Negro desde su nacimiento hasta la localidad de Chichinales. Se dividió en tres tramos (Fig. 9) funcionales: Tramo 1 (39 km), Tramo 2 (28 km) y Tramo 3 (36 km) a partir del desarrollo con las 3 variables geomorfológicas citadas en el párrafo anterior.

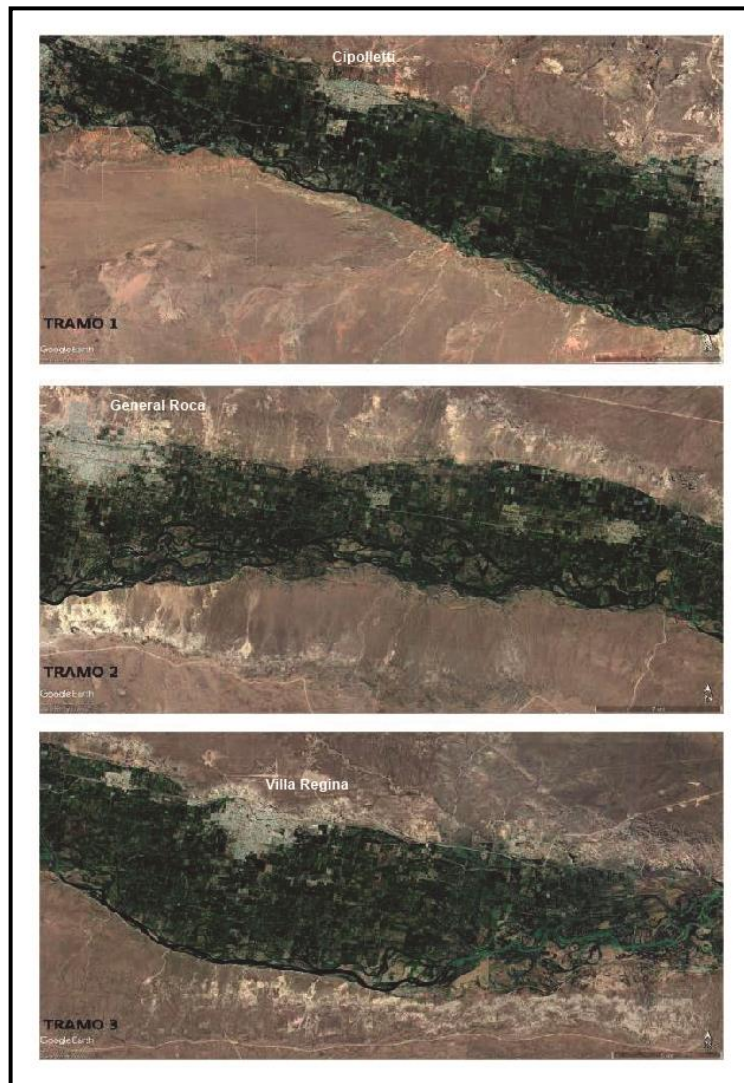


Figura 9: Tramificación del río Negro.



(i) Morfología del valle fluvial

El concepto de valle hace referencia a una morfología de depresión entre dos estructuras de relieve positivo (García, 2011). Según Ollero (2011) hay tres grupos de clasificación de los valles: (i) topográfico, (ii) fisiográfico y (iii) genético (Díaz Bea y Ollero, 2005).

La clasificación topográfica (i), consiste en un: criterio cuantitativo, que se basa en la medición de ciertos parámetros como pendiente, amplitud, etc. Este criterio es el que mejor caracteriza los valles. Los dos últimos grupos se dividen en: fisiográficos (valle en cuenca y valle en cauce) y genético (origen: fluvial, glaciar y tectónico), los cuales no se emplearán en el presente trabajo.

El modo de proceder a la caracterización del valle fluvial consistió en trazar sucesivas secciones transversales sobre el cauce y valle, en donde se presentaban cambios notables geomorfológicos a simple vista (Fig. 10 y 11).

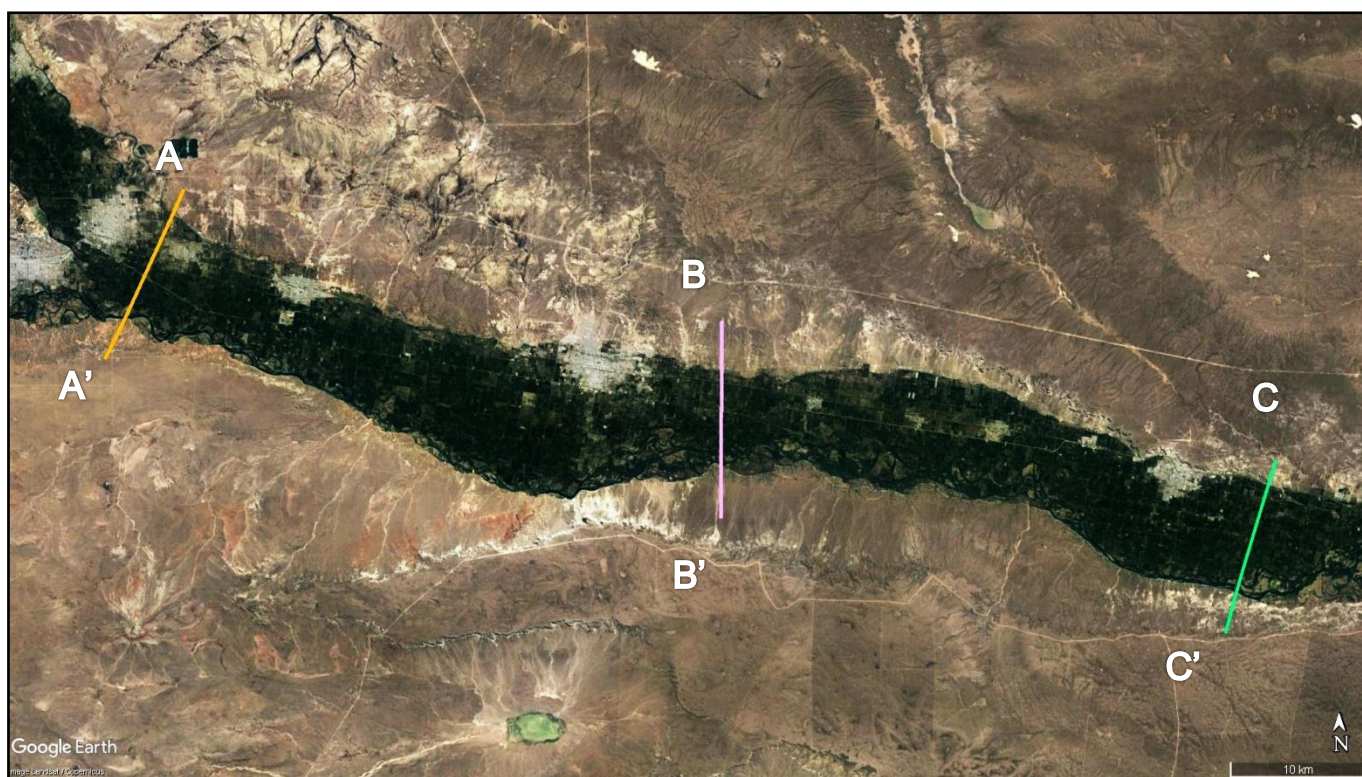


Figura 10: Cortes transversales del valle fluvial del río Negro.

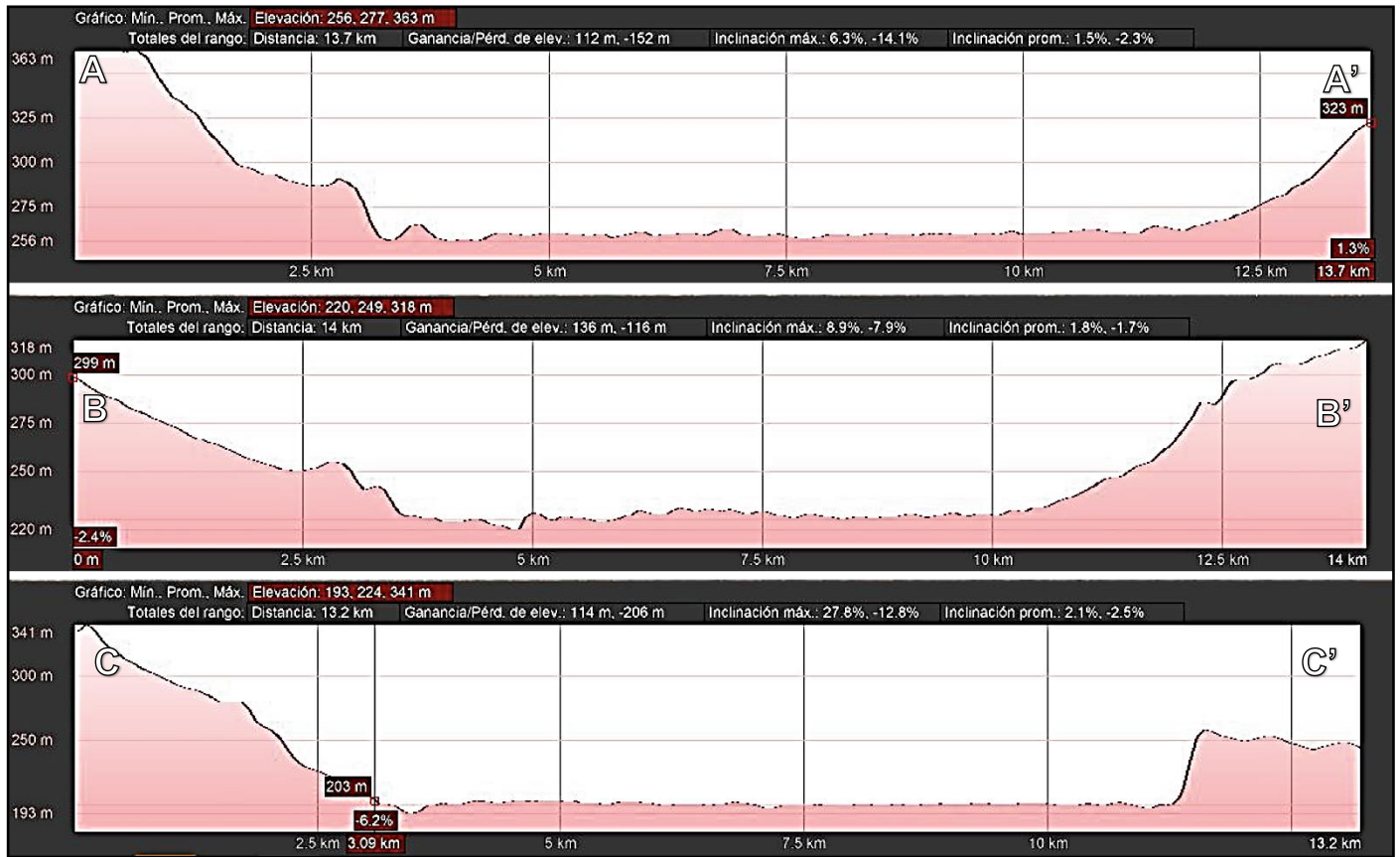


Figura 11: Perfil de elevación de las secciones del valle fluvial del río Negro.

Para caracterizar la geometría transversal del valle se siguió el método de Horacio y Ollero (2011) quienes proponen una tabla (Tabla 3) en la cual se plantean una serie de descriptores obligatorios y otros criterios optativos, que resultan válidos según el sistema fluvial a tratar. Los parámetros seleccionados son los siguientes: factores obligatorios son dos: el encajamiento y la anchura del valle (ver en Tabla 3 recuadro en rojo). Criterios optativos son: la simetría del ancho y fondo del valle y las longitudes que posee el valle fluvial con respecto al cauce, a partir del corte transversal del valle (ver en Tabla 3 recuadro en verde). De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados para cada uno de los tramos (Tablas: 4, 5 y 6).

Tabla 3: Descriptores obligatorios y parámetros optativos que fueron seleccionados.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	FÓRMULAS
z_max_i	cota del max. Detectado a la izq. Del eje sobre el perfil transversal.	
d_zmax_i	distancia horizontal entre el max a la izq. y eje del cauce en el perfil transversal	
z_max_d	cota del max. Detectado a la derecha del eje sobre el perfil transversal.	
d_zmax_d	distancia horizontal entre el max a la derecha y eje del cauce en el perfil transversal	
A1	distancia horizontal entre lo dos max. (izq y der)	
A2	distancia horizontal del fondo del valle	
dci	distancia horizontal entre el punto inicial del fondo (izq) y la cota del eje del cauce en el perfil transversal	
dcd	distancia horizontal entre el punto inicial del fondo (der) y la cota del eje del cauce en el perfil transversal	
A1/p	índice de encaimamiento A1/iz_m	$A1/P=A1/iz_m$
sA1	simetría del ancho del valle	$sA1=(d_zmax_d - dzmax_i)/A1$
sA2	simetría del fondo de valle	$sA2=(dcd-dci)/A2$
iz_m	media de las diferencias de cota entre el eje del cauce y los max por izq y der.	

Tabla 4: Cálculo cuantitativo de los parámetros obligatorios y optativos para el Tramo 1.

PARÁMETRO	TRAMO 1: DATOS (metros)	FÓRMULAS
z_max_i	323	
d_zmax_i	1040	
z_max_d	363	
d_zmax_d	2640	
A1	13700	
A2	8600	
dci	8480	
dcd	178	
A1/p	$A1/P=A1/iz_m$	45,065789
sA1	$sA1=(d_zmax_d - dzmax_i)/A1$	1600
sA2	$sA2=(dcd-dci)/A2$	-0,9653488
iz_m	304	

Tabla 5: Cálculo cuantitativo de los parámetros obligatorios y optativos para el Tramo 2.

PARÁMETRO	TRAMO 2: DATOS (metros)	FÓRMULAS
z_max_i	318	
d_zmax_i	9222	
z_max_d	307	
d_zmax_d	4999	
A1	14400	
A2	10700	
dci	5570	
dcd	1120	
A1/p	$A1/P=A1/iz_m$	57,142857
sA1	$sA1=(d_zmax_d - dzmax_i)/A1$	-0,2932639
sA2	$sA2= (dcd-dci)/A2$	-0,4158879
iz_m	252	

Tabla 6: Cálculo cuantitativo de los parámetros obligatorios y optativos para el Tramo 3.

PARÁMETRO	TRAMO 3: DATOS (metros)	FÓRMULAS
z_max_i	258	
d_zmax_i	3450	
z_max_d	341	
d_zmax_d	3480	
A1	13200	
A2	8270	
dci	7780	
dcd	4,89	
A1/p	$A1/P=A1/iz_m$	46,478873
sA1	$sA1=(d_zmax_d - dzmax_i)/A1$	0,0022727
sA2	$sA2= (dcd-dci)/A2$	-0,9401584
iz_m	284	

El encajamiento del valle es un carácter morfológico que refleja el ambiente que envuelve al cauce y la anchura del fondo del valle, es indicativo del grado de movilidad o confinamiento del cauce, los resultados reflejan un índice de encajamiento con valores de 45 (tramo 1), 57 (tramo 2) y 46 (tramo 1). La anchura que supera los 8 km, (8.6 km tramo 1; 10.7 km tramo 2; 8.2 km tramo 3) lo cual determina que el valle fluvial del río Negro es de tipo valle abierto y muy ancho (Fig. 12).

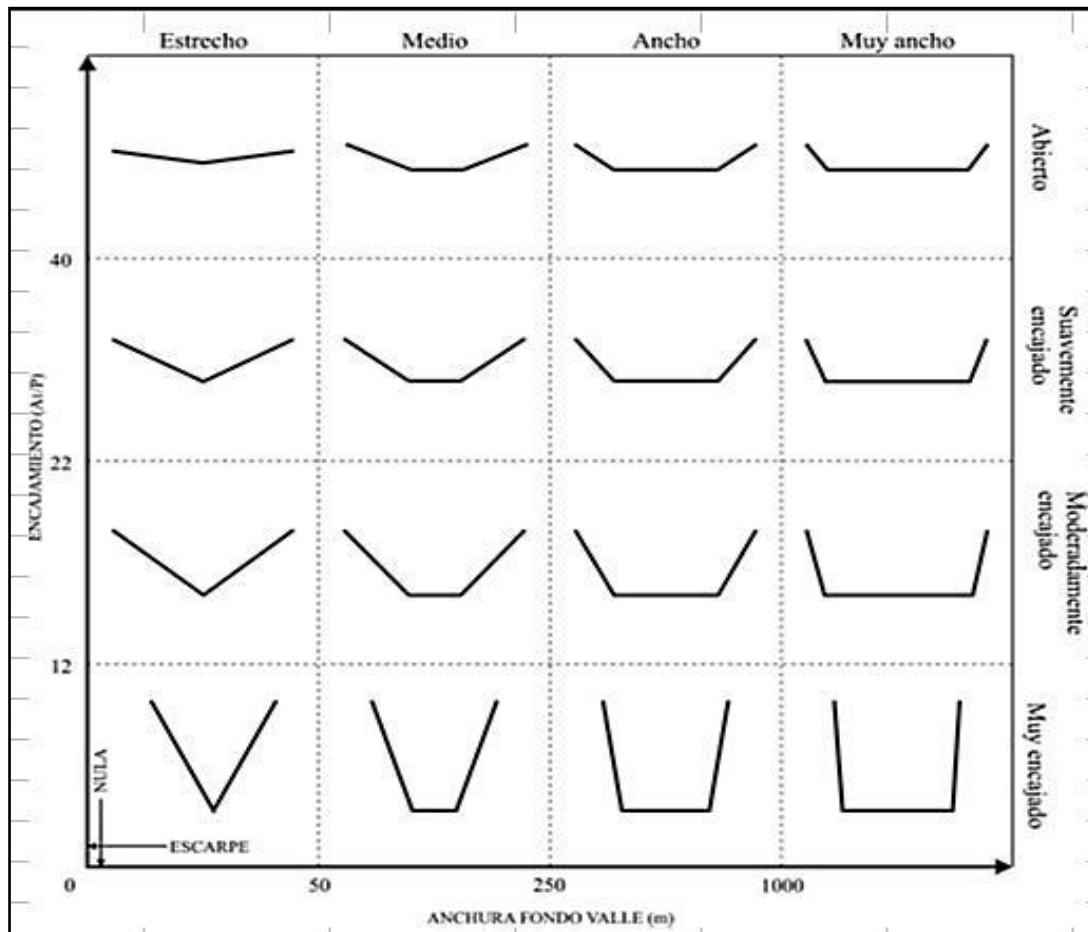


Figura 12: Morfología del valle en relación de su encajamiento y ancho de fondo. Tomado de García y Ollero (2011).

Con respecto a la variable simetría, se obtuvieron datos de la simetría del ancho de valle, este parámetro se mueve dentro del intervalo (-1, 1). Valores próximos a 1 indican asimetría de la sección transversal hacia la derecha; 0 señala simetría total y valores próximos a -1 indican asimetría hacia la izquierda. En el factor simetría del fondo del valle, la variable se mueve dentro del intervalo (-1, 1). Los valores que se obtuvieron para el factor simetría del ancho del valle para el tramo 1 fueron de 0.11 indicando simetría total ya que se encuentra muy próximo a 0. En el tramo 2 se obtuvo -0.29, lo cual indica asimetría de la sección transversal hacia la izquierda. Para el tramo 3 se obtuvo 0.002, indica simetría total. El factor de Simetría del fondo del valle se obtuvieron los siguientes resultados: tramo 1: -0.96; tramo 2: -0.41 y tramo 3: -0.94 los tres tramos presentan asimetría hacia la izquierda.

(ii) Morfología del cauce: El concepto de sinuosidad de un río, es el índice que representa cuánto el trazado del río se aparta de una línea recta. En el presente trabajo se ha estimado, para los tres tramos, un índice de sinuosidad basado en la relación longitud del cauce/longitud del eje central de los meandros, aplicando el método de Brice (Brice, 1964 en García y Ojeda, 2011). Se seleccionó este método ya que es de rápido cálculo y aplicado universalmente.

Mediante este cálculo se considera un cauce rectilíneo aquel que tiene una sinuosidad inferior a 1.05 y sinuoso cuando el índice queda comprendido entre 1.05 y 1.5. Un cauce meandriforme tiene, en cambio, una sinuosidad superior a 1.5 y consta de curvas alternantes que proporcionan un acusado trazado serpenteante.

En las tablas de cálculo realizadas para los tres tramos, da como resultado general valores bajos, para el tramo 1 el valor medio del índice de sinuosidad (IS) fue de 1.13, el del tramo 2 el IS fue de 1.05 y el del tramo 3 el IS fue de 1.01. El valor medio del IS total fue de 1.06, por lo tanto, se lo clasifica como un río rectilíneo que presenta suaves curvas de gran radio y en tramos se hace anastomosado

Tabla 7: Cálculo del Índice de Sinuosidad (IS) para el Tramo 1.

TRAMO 1		
Longitud del cauce (km)	Longitud eje central meandro (km)	Índice de Sinuosidad (IS)
6,1	4,6	1,33
4,82	3,85	1,25
2,46	1,71	1,44
3,84	3,23	1,19
3,41	3,25	1,05
2,1	2	1,05
1,62	1,53	1,06
2	1,74	1,15
3,98	3,83	1,04
2,79	2,63	1,06
3,37	3	1,12
1,68	1,65	1,02
1,39	1,45	0,96

Tabla 8: Cálculo del Índice de Sinuosidad (IS) para el Tramo 2.

TRAMO 2		
Longitud del cauce (km)	Longitud eje central meandro (km)	Índice de Sinuosidad (IS)
2,84	2,76	1,03
2,54	2,27	1,12
1,8	1,71	1,05
2,14	2,1	1,02
1,61	1,63	0,99
1,11	1,15	0,97
3,68	3,63	1,01
1	1	1,00
1,5	1,34	1,12
2	1,85	1,08
1,89	1,72	1,10
1,5	1,51	0,99
1,13	1,24	0,91
2,1	2	1,05
1,7	1,41	1,21
2,12	2,1	1,01
2,53	2,43	1,04
1,87	1,78	1,05
2,1	1,93	1,09
0,97	0,82	1,18
1,98	1,91	1,04
0,82	0,85	0,96
1,6	1,62	0,99
3,31	2,75	1,20
3,68	3,22	1,14
1,37	1,37	1,00
1,78	1,76	1,01



Tabla 9: Cálculo del Índice de Sinuosidad (IS) para el Tramo 3.

TRAMO 3		
Longitud del cauce (km)	Longitud eje central meandro (km)	Índice de Sinuosidad (IS)
3,96	3,92	1,01
1,26	1,27	0,99
1,61	1,67	0,96
1,29	1,33	0,97
4,46	4,33	1,03
2,1	2,1	1,00
1,39	1,42	0,98
1,16	1,18	0,98
1,95	1,93	1,01
2,72	2,64	1,03
1,13	0,98	1,15
1,47	1,43	1,03

## Pendiente del cauce

Se ha utilizado el cálculo de la pendiente longitudinal (se corresponde con la variación longitudinal de la pendiente del cauce en tramos homogéneos).

La fórmula aplicada consiste en la relación del desnivel entre los extremos del tramo del cauce y la longitud horizontal del tramo del cauce:

$$S=H/L$$

Donde:

*S= pendiente del tramo del cauce*

*H= desnivel entre los extremos del tramo del cauce*

*L=longitud horizontal del tramo del cauce*

Tabla 10: Aplicación de la fórmula para la obtención de la pendiente del cauce.

	H	L	S	S%
<b>Tramo 1</b>	23	37077	0,00062033	0,06203307
<b>Tramo 2</b>	24	35342	0,00067908	0,06790787
<b>Tramo 3</b>	19	27132	0,00070028	0,07002801

En la Tabla 10 se observan las pendientes de cada tramo: Tramo 1 0.062 %, Tramo 2 0.067 % y Tramo 3 0.070 %. Evidenciando en general una pendiente suave.

Correspondiéndose con la geomorfología de valle, con una gran extensión de su llanura de inundación y una sinuosidad baja, presenta morfología fluvial evidenciada por meandros suaves y en ocasiones formación de barras longitudinales, que separan el cauce del río en canales pequeños.

En la siguiente figura (Fig. 13) extraída de Díaz Bea y Ollero (2005) se correlaciona la pendiente con la sinuosidad y la consecuente morfología del cauce que adopta a partir de esos parámetros. De esta forma, el río Negro presenta una morfología de valle abierto y muy ancho, con una sinuosidad que varía entre 1.13 a 1.06 y, con una pendiente entre media y baja de 0.006 % a 0.007 % (Fig. 13), generando meandros de alta amplitud con desarrollo de barras de espolón, longitudinales y laterales.

Otros factores que condicionan al río es el control estructural que posee en el tramo 1 debido a la falla Huincul (ver Sección "Estructura"), además del control del caudal por las represas en sus ríos afluentes. Al perder la dinámica natural ya no divaga por la llanura de inundación como está registrado en la geomorfología. La vegetación de la ribera y el estancamiento de las barras fluviales son otros factores que colaboran a que, el trazado del río sea más rectilíneo. Así mismo, su ancho disminuye como consecuencia directa del bajo caudal que presenta el río debido al control del flujo que ejercen las represas de los ríos Limay y Neuquén.

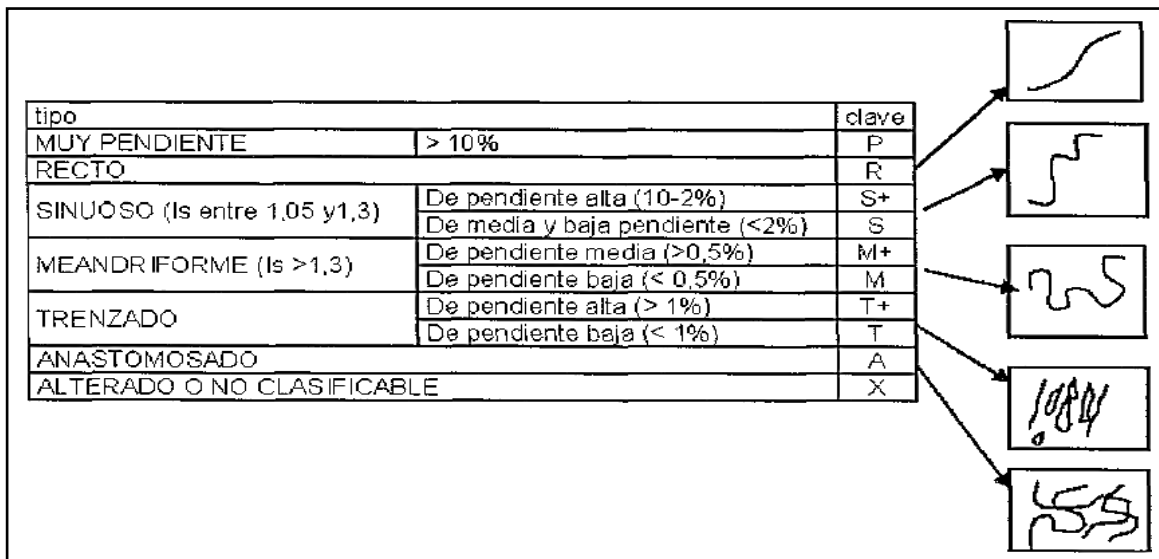


Figura 13: Clasificación de la morfología del cauce según la pendiente que presente. Tomado de Díaz Bea y Ollero (2005).

La tramificación del río Negro se realizó a partir de sus características geomorfológicas dadas por las diferencias externas del trazado del río. La diferencia de sinuosidad fue el factor condicionante en el momento de seleccionar los tramos, ya que la morfología del valle es homogénea en toda el área, al igual que la pendiente que presenta un leve incremento en el Tramo 3. Este factor genera en el cauce, el desarrollo de

meandros y/o canales secundarios menores, causando un diseño anastomosado con barras fluviales e islas en su interior que se diferencian del primer tramo con morfología en planta cuasi recta. Por lo tanto, la tramificación queda de la siguiente manera:

- Tramo 1, con pendiente baja, sinuosidad media-baja (IS: 1,13) y morfología sinuosa
- Tramo 2, pendiente baja, sinuosidad baja (IS: 1,05) morfología sinuosa
- Tramo 3, pendiente baja, sinuosidad baja (IS: 1,01) con morfología mixta recta y sinuosa.

La clasificación de la morfología fluvial de río recto, entrelazado, anastomosado y meandroso se basa en el grado de sinuosidad del mismo y es ilustrativa de las formas principales que suelen tener los ríos. Estas diferentes formas pueden presentarse en tramos sucesivos de un mismo río, en función de la pendiente, del caudal líquido, del caudal sólido (sedimentos en suspensión), de la granulometría y de otros factores. Naturalmente hay estados transitorios o intermedios (Felices, s.f). Los ríos, como puede comprobarse fácilmente, tienen formas muy diversas y, además, muy variables en el tiempo (Díaz Bea y Ollero, 2005). Cada tramo fluvial, tiene una forma característica, en la naturaleza prácticamente no existen ríos rectos. Se les suele considerar como un estado transitorio al meandroso. La tendencia a formar meandros es característica de los ríos, es por eso que se dice que son serpenteantes, es decir que tienen una tendencia natural a no seguir un curso rectilíneo, lo que constituye una expresión de su inestabilidad. El alineamiento meandriforme parecería ser la forma más plausible y eficiente a través del cual el sistema tiende a minimizar progresivamente su pendiente para aproximarse a la condición de equilibrio dinámico (Díaz Bea y Ollero, 2005). Aunque se observa en el río Negro largos tramos cuasi-rectilíneos, la mayor parte de los ríos de llanura desarrollan meandros más o menos regulares como los que se presentan aquí. El IS que se obtuvo es bajo para clasificar como típicamente meándrico. La pendiente, otra variable importante que se debe tener en cuenta para clasificar los ríos resultó ser también baja. El río Negro posee ciertas características que hacen al desarrollo de meandros, ellas son: baja pendiente, llanura de inundación amplia, transporte de materiales finos y márgenes erosionables en casi todo su recorrido. Estas variables que facilitan su proceso de formación, en el mapa geomorfológico (ver mapa en Fig. 14) se cartografiaron los antiguos meandros abandonados del río. Esto es una evidencia que el río divagaba por su llanura de inundación. Sin embargo, estos procesos no continuaron en el tiempo, debido a la regulación del caudal, por la instalación de las represas en su cuenca alta, favoreciendo una morfología cada vez menos sinuosa. El río atravesaba un proceso de transición entre un río de conformación geométrica en planta trenzada, hacia uno meandroso recto. Con la realización de las obras se aceleró dicho proceso, con tendencia a un abandono de cauces menores y concentración en un cauce único con reducción del ancho principal y del gradiente de energía (Mohor, 2015).

El crecimiento de las principales ciudades ubicadas en los valles inferiores de los ríos Limay y Neuquén, y en el alto valle del río Negro, se produce siguiendo los ejes de los ríos. La expansión urbana se da a lo largo de una angosta franja delineada entre el río y la meseta contigua. El avance urbano no solo genera un cambio en el uso de la tierra y la pérdida de zonas productivas, sino que, problematiza en gran forma el mantenimiento de

los sistemas de riego existentes, generando además focos de contaminación sobre canales y colectores de drenaje. Si bien la mayoría de las ciudades tienen Código de Planeamiento Urbano o herramientas similares, estos han sido progresivamente dejados de lado, normalmente a través de su no aplicación, con algunas excepciones a los mismos, o periódicas modificaciones (Mohor, 2015).

Otra consecuencia que provocan las represas, es la disminución de la turbidez de las aguas, que genera una proliferación de la vegetación acuática, además incita a un aumento del nivel de agua en la napa freática que crea salinización de los suelos agrícolas (Sánchez, 2015). Las malas prácticas del manejo del riego también perjudican al suelo, aumentando la salinidad del mismo. La salinización de los suelos es, en la mayoría de los casos, un proceso reversible y con un adecuado manejo se pueden recuperar los suelos dañados (Sánchez, 2015). Por lo tanto, el aprovechamiento del agua por parte de las represas tiene dos aristas a tener en cuenta, ya que posee el beneficio de generar energía eléctrica y tener un control del caudal para prevenir inundaciones y así brindar lugar a que haya suelos agrícolas y urbanos. Pero también provoca consecuencias directas en el cauce fluvial que deben ser tomadas en cuenta por parte de profesionales del área, para que no continúe degradándose el estado ambiental del río y sus alrededores. La dinámica natural fluvial, también se modifica por la vegetación de la ribera y las barras fluviales, que quedan fijas o a da lugar al desarrollo de islas interfluviales, provocando disminución en la calidad fluvial, ya que el agua no tiene la capacidad de erosionar o crear nuevas geoformas naturales.

## **Aspectos geomorfológicos de los tramos del río Negro**

La caracterización de la geomorfología del río Negro queda plasmada en un mapa de escala 1:80.000 (Fig.14), en el cual se cartografiaron todos los elementos geomorfológicos que se observaron en el área de trabajo, como: llanura aluvial, niveles de terraza, abanicos aluviales, barras fluviales, islas, meandros abandonados, entre otros.

La descripción de cada elemento se realizó en función de los tramos seleccionados para obtener la geomorfología del río Negro por sectores y detallada.

### **Tramo 1**

La ubicación de este tramo comienza en el nacimiento del río Negro ( $38^{\circ} 59.778'S$   $67^{\circ} 59.863'O$ ), próximo a la localidad de Cipolletti y finaliza cerca de la ciudad de General Roca ( $39^{\circ} 6.693'S$   $67^{\circ} 35.639'O$ ).

En el tramo analizado, la llanura de inundación posee diferentes usos de suelo; sobre la margen izquierda es agrícola-ganadero y sobre la derecha no hay desarrollo urbano, ya que se encuentra la meseta donde se presentan las formaciones geológicas más representativas Bajo de la Carpa, Portezuelo, Chichinales y Allen además de niveles de terraza del río. Estas formaciones son todas de origen continental fluvial, predominan las areniscas de grano fino con alternancias de pelitas y psamitas, la energía de depositación fue baja a moderada.

La llanura de inundación del antiguo valle fluvial es asimétrica, presenta un ancho que varía de 7 a 12 km, la llanura de inundación activa posee un ancho de entre 50 a 300 m y tiene mayor desarrollo sobre la margen izquierda (Fig. 15 A). La margen derecha tiene terrazas (Fig. 15 B) que están constituidas mayormente por depósitos de arenas finas a gruesas, gravas y conglomerados. Además, cuenta con gran desarrollo de abanicos aluviales (Fig. 15 D) que provienen de la meseta sur, que transportan material sedimentario y depositan en el río cuando las precipitaciones son abundantes.

Las barras fluviales son la característica distintiva de la morfología fluvial, son una expresión clave del comportamiento del río, ya que proporcionan información sobre los procesos activos y del régimen de sedimentación (Rice, 2009). Las barras pueden formarse por erosión o por sedimentación, en cuyo caso tienen gran interés sedimentológico, pero la mayoría de las que se conservan en el registro fósil consisten simplemente en restos erosionados, testigos de una historia larga y compleja anterior a su enterramiento definitivo. El cauce cuenta con la presencia en mayor proporción de barras longitudinales y laterales, y en menor medida las barras en espolón.

La morfología del cauce es sinuosa, siendo propicias para que evolucionen las barras de tipo longitudinal, que se presentan en forma elongada en dirección del flujo, se forman en el centro del canal. En su base predomina el tamaño arena y hacia el techo posee gravas o cantos rodados. En épocas de inundación quedan completamente cubiertas y cuando es estiaje, queda sobre la superficie el manto de gravas expuesto. Algunas de las barras longitudinales, hoy ya son grandes islotes que poseen vegetación y, por lo tanto, quedaron fijadas en el lugar.

Barras laterales: son barras que se desarrollan en áreas de energía relativamente baja, es decir en las partes laterales de la corriente y junto a los márgenes. En el río Negro, este tipo de barra está bajo influencia de los abanicos aluviales, que llegan al río desde las bardas a través de los cañadones. Presentan una morfología elongada con el eje principal que coincide con la corriente, la litología predominante es arena gruesa, por lo general se encuentran vegetadas y sufren erosión por la corriente que las arrastra.

Sobre la margen izquierda se observan meandros abandonados, por lo que evidencia la divagación que antiguamente tenía el cauce del río Negro sobre su valle fluvial.

## Tramo 2

El segundo tramo se ubica desde la proximidad de la localidad de General Roca, en el Área Protegida Paso Córdoba (39° 6.904'S, 67° 35.918'O) hasta aproximadamente la localidad de General Enrique Godoy (39° 7.620'S, 67° 11.432'O). Las formaciones principales que se encuentran son, Formación El Palo y Formación Chichinales, en conjunto con niveles de terraza y depósitos cuaternarios, predominan las areniscas finas y arcillitas. Los colores van del amarillento a gris claro y el ambiente de depositación es continental dentro de un sistema fluvial (Hugo y Leanza, 2001).

La morfología del cauce presenta mayor sinuosidad con generación de meandros de curvas suaves, lo que favorece el desarrollo de barras en espolón en comparación con las barras longitudinales y laterales, que se encuentran en menor medida (Fig. 15 D). Se

destaca en este tramo, la bifurcación del cauce principal en canales secundarios provocando desarrollo de meandros e incremento de barras longitudinales que con el tiempo quedaron inmobilizadas aumentando su tamaño, dando origen a islas con numerosa vegetación en su interior.

La llanura de inundación posee mayor desarrollo del suelo en la margen izquierda por lo que favorece a la producción agrícola y asentamientos urbanos. En la margen derecha, próximo a la ciudad de General Roca no hay desarrollo urbano ni agrícola, aunque puede haber pequeños asentamientos con producción ganadera en pequeña escala, esto es porque la zona es Área Protegida provincial y su uso es sólo recreativo, para preservar la fauna, flora y ambiente del lugar. El valle fluvial se presenta en algunos sectores más angosto si se lo compara con el tramo 1, con un ancho entre 7 a 9 km. En las márgenes del río se exhiben niveles de terraza (Fig. 14) compuestas principalmente por conglomerados con intercalaciones de arenas y pelitas. Los niveles de terraza presentan una erosión hídrica muy marcada que provocó cañadones pronunciados y el desarrollo de abundantes abanicos aluviales que tienen origen en la meseta y finalizan su recorrido en el río (Fig. 14). La génesis de los distintos niveles de terrazas que se presentan a lo largo de la zona de estudio de mayor desarrollo, se remontan al Pleistoceno, ya que, fue un período de drásticos cambios climáticos.

### Tramo 3

El tramo 3 se ubica desde aproximadamente la localidad de General Enrique Godoy (39° 7.620'S, 67° 11.432'O) hasta la proximidad de la ciudad de Chichinales. Aquí los afloramientos corresponden a sedimentitas, tufitas castaño claras friables y macizas con areniscas castaño grisáceas que alternan limolitas y arcillitas, con conglomerados con cemento calcáreo, asignados a la Formación Chichinales y también aflora la Formación El Palo, que se presenta en ambas márgenes del río Negro, compuesta por psamitas grises a pardas de grano grueso y en parte se presentan conglomerádicas.

La llanura de inundación tiene diferentes usos del suelo dados principalmente por la acción antrópica. Sobre la margen izquierda se mantiene como en los tramos anteriores la producción agrícola y el desarrollo urbano y sobre la margen derecha está acotado por la meseta y las terrazas fluviales. Esto se conserva en los primeros 15 km, luego la traza fluvial cambia de dirección y se coloca de manera oblicua al valle fluvial, perdiendo el confinamiento por parte de la margen derecha para acomodarse sobre la margen izquierda, creando una llanura de inundación con uso de suelo agrícola en la margen derecha y confinado por terrazas fluviales y mesetas en la margen izquierda. El límite de la llanura de inundación es determinado por la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas (AIC) y el Departamento Provincial de Aguas (DPA), con el fin de establecer el territorio fluvial, para evitar inundaciones sobre áreas urbanas. La zona comprendida de máxima inundación se determina a partir de los caudales liberados, la traza antigua de meandros abandonados más alejados del cauce fluvial indican la máxima inundación.

Los abanicos aluviales (Fig. 15 C) son un conjunto de sedimentos que pueden ser gravas, arenas y material fino que parte de un área con pendiente pronunciada y se

deposita en zonas llanas dando lugar a una forma cónica o lobulada (Gómez Villar, 1996). Los abanicos aluviales (Fig. 15 C) en esta zona son muy particulares, debido a que el origen de los mismos es en la meseta sur, margen derecha del río. El río recibe este aporte de sedimentos que recorren una distancia considerable de 1 a 2km aproximadamente y se desplazan por cañadones confinados a semiconfinado.

En lo que respecta de la margen norte se presentan niveles de terrazas y geoformas de mesetas denominadas de manera informal “bardas”. El movimiento de sedimentos originados por abanicos aluviales en las laderas y/o cañadones, son accionados por abundantes precipitaciones. Estos abanicos están restringidos por estructuras ingenieriles, obras correspondientes a un “Sistema de Defensa Aluvional”, destinadas a proteger el canal principal de riego del Alto Valle de los recurrentes “aluviones” o crecientes que ocasionaban importantes perjuicios en la ciudad y que tenían su origen en las cuencas locales, producto de las intensas precipitaciones caídas en la zona adyacente a las bardas norte. El Departamento Provincial de Aguas (DPA) y Agua y Energía Eléctrica llevaron a cabo un conjunto la construcción de dos nuevos diques: Catini y J. J. Gómez. A. El objetivo de estas obras es de contener los flujos, controlar el escurrimiento superficial encauzado y el grado de erosión lineal. Las aguas que escurrían desembocaban en el río Negro, mediante el antiguo “zanjón Roca”, actual calle Maipú. Posteriormente se logró llevar sus excedentes a través de un canal derivador al dique Catini, que luego conecta nuevamente con el río Negro mediante zanjás (Chávez y Caba, 2004).

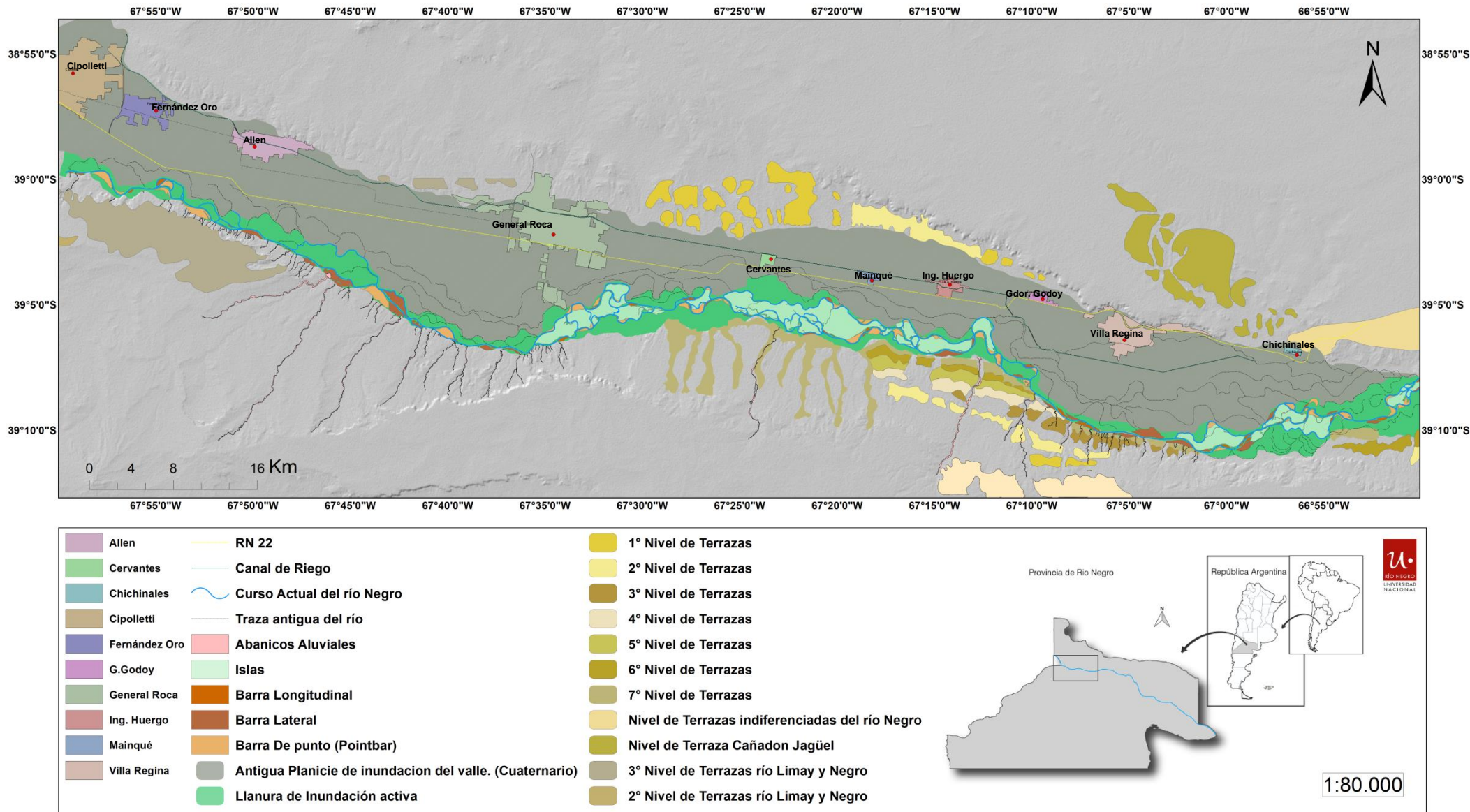
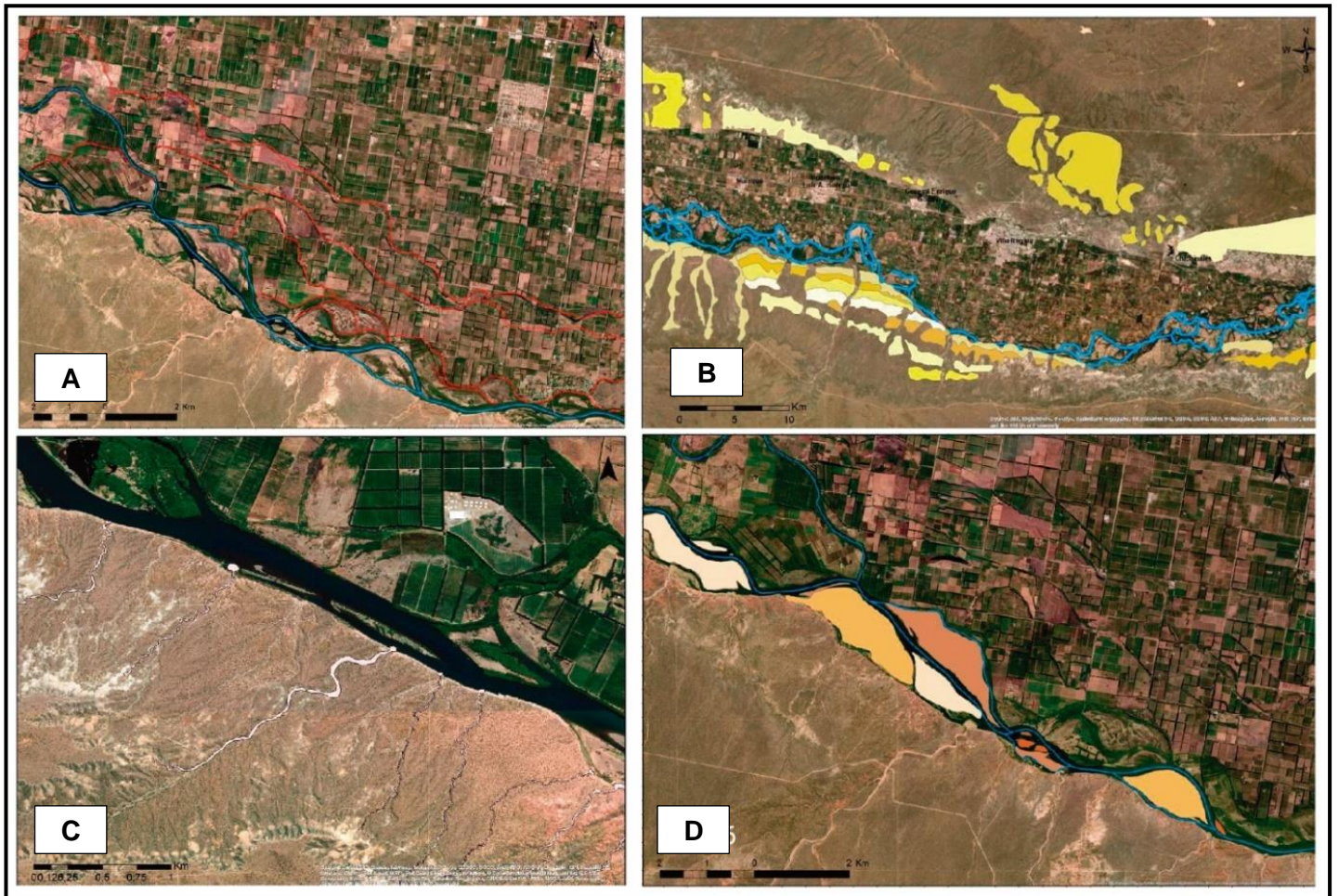


Figura 14: Mapa Geomorfológico del área de estudio.





**Figura 15: (A) Meandros abandonados y vegas de divagación del río Negro. (B) Niveles de terraza fluviales en el río Negro. (C) Abanicos aluviales que atraviesan un largo recorrido hasta desembocar en el río Negro. (D) Barras fluviales sobre el río Negro. Hay tres clases, barra longitudinal (en color marrón), barra en espolón (amarillo) y barra lateral (blanco).**

## Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) en cada tramo del río Negro

### Tramo N°1

#### Calidad funcional del sistema fluvial

##### Naturalidad del régimen de caudales

El río Negro presenta un caudal regulado, donde las crecidas y estiajes que posee no son naturales, sino que, son controlados por las represas y embalses que se encuentran en los ríos Limay y Neuquén.

La secuencia de imágenes satelitales de la figura 16, fueron tomadas en el mes de enero, van desde el año 1972 hasta el año 2018. El caudal que poseen es alto, debido a la demanda de energía eléctrica en la estación de verano, por lo tanto se turbinan mayor volumen de agua, lo que se traduce en un mayor caudal que recibe el río. Las imágenes son todas posteriores al último embalse inaugurado en 1972, denominado Ezequiel Ramos Mexía, que se encuentra sobre el río Limay.

En la imagen de la figura 16 A que corresponde al año 1972 (RGB 432), el trazado del río Negro presenta color celeste debido a la cantidad de sedimento que contiene el cauce. El río posee mayor desarrollo de canales y de meandros.

En la imagen de la figura 16 B del año 1986 (RGB 432), el río refleja color azul oscuro, su traza es menos sinuosa y los canales secundarios disminuyeron su proporción en comparación con la primera imagen. El cambio de color que refleja el río se debe a que, el caudal sólido disminuyó notablemente tan solo en un período de 12 años después de la construcción del último Embalse sobre el río Limay. Esto indica que se retienen sedimentos en los embalses, provocando aguas limpias en el río Negro.

##### Disponibilidad y movilidad de sedimentos:

En el río Negro la disponibilidad de sedimentos está reducida a los abanicos aluviales, que cuando se presentan precipitaciones extraordinarias reactivan los cañadones y arrastran sedimentos de la meseta y niveles de terraza de la margen derecha hasta la costa del río. La erosión fluvial se concentra en el interior del meandro y provoca un aporte mínimo de sedimentos al cauce, debido a que perdió sus crecidas extraordinarias naturales. El déficit de caudal sólido en el río es consecuencia de las represas y embalses y de los lagos artificiales derivadores que poseen los afluentes y así retienen un alto porcentaje de sedimentos.

La elección de las bandas en las imágenes satelitales fue para resaltar los componentes agua y vegetación. La secuencia temporal de las imágenes (Fig. 16) demuestra la variación de color en el cauce del río, partiendo para el año 1972 con un color celeste intenso, que indica abundante presencia de sedimentos en el agua y para las siguientes décadas, se presenta con un color negro demostrando la ausencia de caudal

sólido en el agua.

#### Funcionalidad de la llanura de inundación:

La llanura de inundación del río Negro, se desarrolla en la margen izquierda (Fig. 16) debido a que el río está semiconfinado en la margen sur, por lo tanto, no hay disponibilidad de espacio. El uso del suelo es principalmente para áreas de cultivo y para el desarrollo urbano en la costa del río, en los últimos años se ha producido un progresivo crecimiento de la actividad hidrocarburífera en la región del Alto Valle del río Negro, principalmente de la mano de la extracción de tight gas en el yacimiento denominado "Estación Fernández Oro" (EFO), con centro en la localidad de Allen y extensión entre Fernández Oro y Guerrico. Se estima que en los últimos dos años, se han perforado a razón de 30 nuevos pozos por año (Mohor, 2015).

Para proteger las orillas de la erosión se instalaron espigones, que alteran la dinámica fluvial en esos sectores. En conclusión, la funcionalidad de la llanura de inundación activa está acotada a poco espacio y a los impactos antrópicos, además las crecidas de caudal están reguladas dependiendo de la demanda de energía y de la temporada de riego para cultivo.

En la serie de imágenes satelitales se observa el rastro de antiguos meandros abandonados sobre la margen izquierda, a una distancia de aproximadamente 3 Km, desde la traza actual del río. Esto indica que la extensión por donde podía divagar el río era mayor y que actualmente se encuentra muy acotada y controlada.

La funcionalidad de la llanura de inundación disminuyó notablemente para este primer tramo del río Negro.

#### **Calidad del cauce**

##### Naturalidad del trazado y de la morfología en planta

La geomorfología que presenta en este tramo del río es la de un cauce recto, (Fig. 16) donde se observan antiguos meandros abandonados que atestiguan que antes presentaba mayor sinuosidad. El río en este sector está semiconfinado, limitado por los antiguos niveles de terraza (Fig.16). La naturalidad del cauce responde a factores humanos, ya que se encuentra parcialmente alterada por el uso del suelo para cultivo.

##### Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales

El río Negro en el tramo considerado, posee alteraciones en su trayecto, ya que en ocasiones está atravesado por puentes y escolleras para actividades recreativas en sus costas y en algunos sectores hay estructuras de protección que sirven para preservar la costa de la erosión.

La dinámica vertical está conformada por procesos de incisión o de acreción, o de

mantenerse próxima a la estabilidad. La continuidad de la dinámica vertical del río Negro se mantiene inalterada, ya que no posee construcciones que impidan el flujo normal del caudal.

#### Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral

La naturalidad de las márgenes del río Negro está dividida. La margen derecha presenta un alto porcentaje de naturalidad, debido a la presencia de los niveles de terraza en cotas más altas que confinan el río en su trazado. En la margen izquierda, se registra un alto desarrollo agrícola y urbano, que altera su naturalidad.

La movilidad lateral del río está restringida por el nivel del caudal, controlado por los embalses y represas presentes en los ríos Limay y Neuquén.

### **Calidad de ribera**

#### Continuidad longitudinal:

La continuidad longitudinal del río Negro sobre la margen izquierda está desconectada debido a la actividad frutícola. Algunas barras fluviales e islas, fueron deforestadas para la actividad agrícola, y se instaló vegetación arbustiva, lo cual provoca que estas aéreas se impermeabilicen y queden fijas.

En la secuencia temporal de imágenes satelitales (Fig. 16) se observa una diferencia de color en la zona del valle fluvial. De esta forma áreas de un color rojo intenso indican densa vegetación y áreas de colores rosados, marrón o blanco, la vegetación es más escasa o desapareció por acción del hombre.

El avance urbano no sólo genera un cambio en el uso de la tierra y la pérdida de zonas productivas, sino que problematiza en gran forma el mantenimiento de los sistemas de riego existentes, generando además focos de contaminación sobre canales y colectores de drenaje. La convivencia entre los nuevos sectores urbanizados y las zonas todavía en producción, genera nuevos conflictos, por ejemplo, derivados de la realización de prácticas comunes en la chacra como las pulverizaciones de control fitosanitario.

La actividad hidrocarburífera en la provincia de Río Negro demuestra un crecimiento de la explotación en la región del Alto Valle del río Negro. La expansión de la actividad supone un aumento en la cantidad de instalaciones, en el tránsito de camiones, mayores consumos de agua, instalación de ductos, entre otros, que pueden ocasionar distintos impactos ambientales principalmente sobre los recursos suelo y agua.

Sobre la margen sur el río no presenta desarrollo, debido al control tectónico y a que los niveles de terrazas en las mesetas se encuentran próximos a la costa.

Anchura del corredor ribereño:

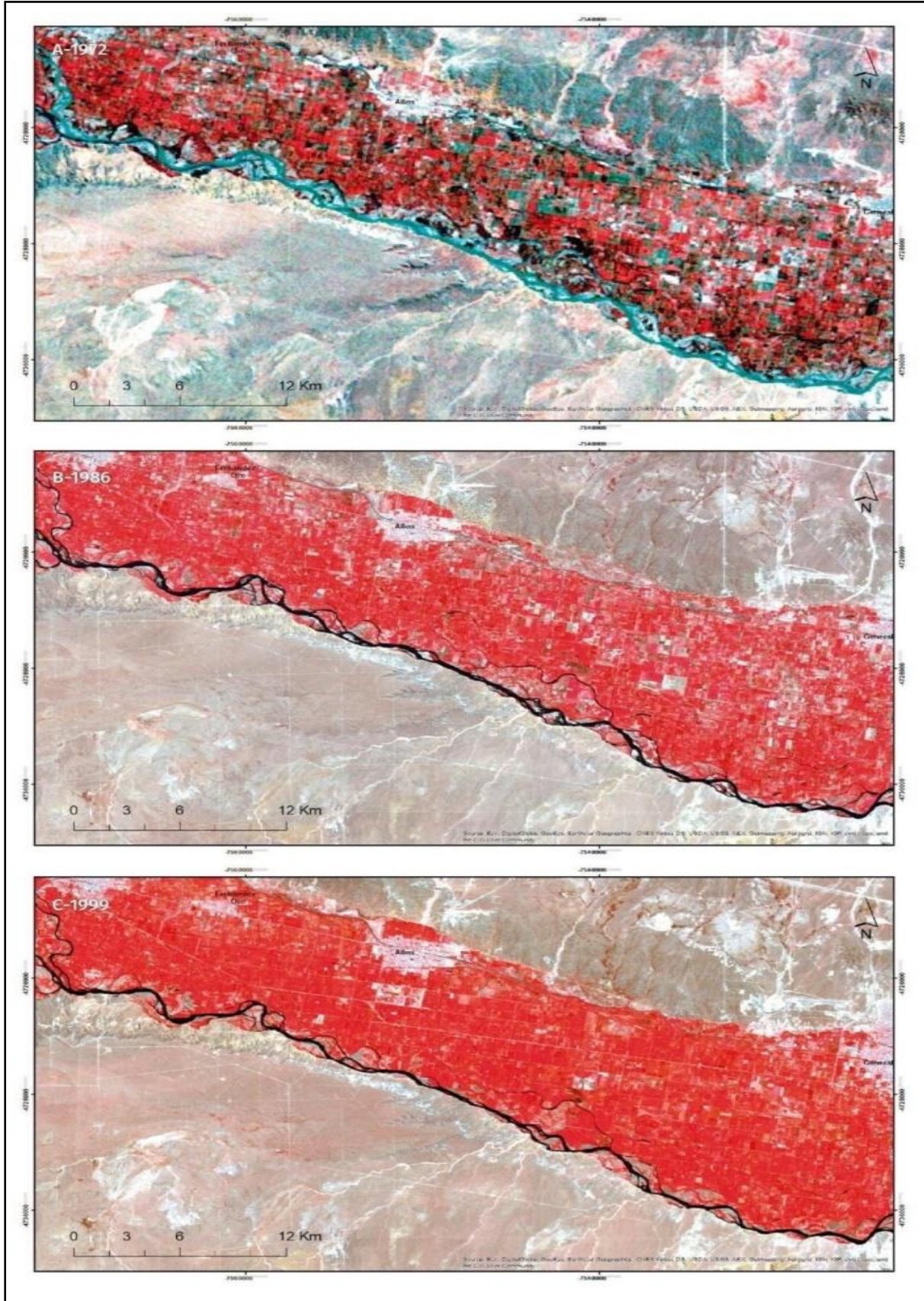
El ancho del río Negro varía en todo su trayecto, siendo mayor en los meandros y menor en las zonas rectilíneas.

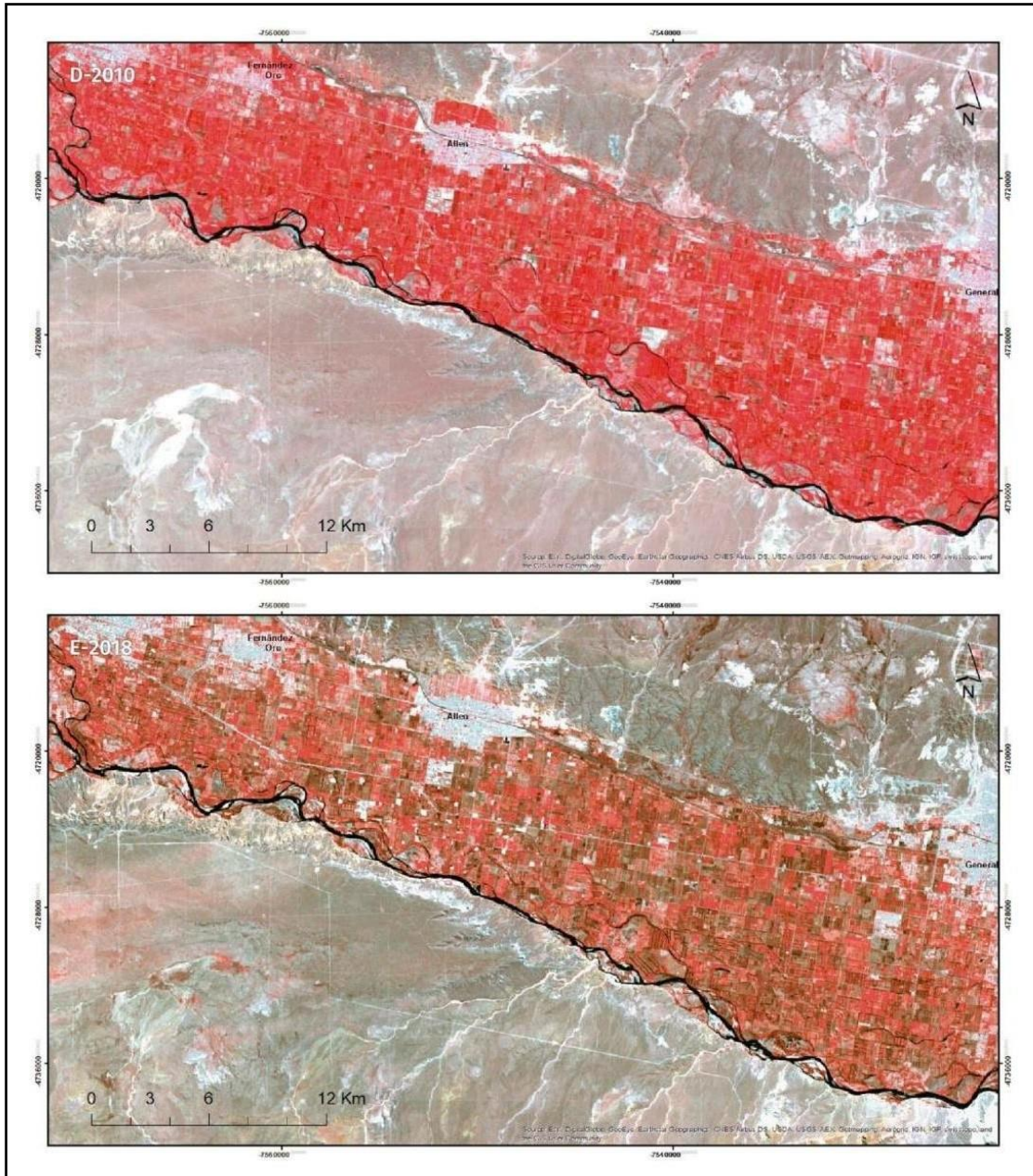
En las imágenes satelitales (Fig. 16) se aprecia una disminución en la anchura a lo largo del tiempo. En la imagen B de 1986, en el área de Paso Córdoba, inmediatamente después del puente, el ancho del río era de 275 m, en la imagen E, el ancho disminuyó a 223 m (puede contener un error de medida de aproximadamente 20 m por el tamaño del píxel 30x30).

La principal causa de la disminución del ancho del río es por la regulación del caudal por parte de las represas aguas arriba de la cuenca, además el factor climático es otra causa variable que puede alterar el caudal con sequías pronunciadas.

Estructura, naturalidad y conectividad lateral:

En el primer tramo analizado del río Negro, la conectividad lateral a lo largo de su longitud, está restringida por las áreas de producción agrícola, que se encuentran en una cota superior y se encuentran desconectadas al cauce o también, pueden presentar estructuras de contención por erosión ribereña. La vegetación instalada sobre la margen del río resulta una barrera entre el río y la ribera, (Fig. 16). En la margen derecha la conectividad está restringida por la elevación de la cota dada por los niveles de terrazas o por la misma topografía del lugar.





F  
i  
g

ura 16: Secuencia histórica de imágenes satelitales para el Tramo N°1 del río Negro. A-1972(RGB: 754); B-1986; C-1999; D-2010 (RGB: 432) y E-2018 (RGB: 543).

Tabla 11: Tabla de valoración IHG Tramo N°1 del río Negro

<b>TABLA DE VALORACIÓN. CASO DE ESTUDIO: TRAMO 1 RÍO NEGRO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Explicación</b>	<b>Valoración</b>
<b>CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA</b>		
<b>Naturalidad del régimen de caudal</b>	Hay alteraciones hidrológicas importantes debido a los embalses de los ríos Limay y Neuquén que controlan el caudal en el río Negro. Aunque conserva crecidas, éstas no generan el impacto que requiere un sistema fluvial.	<b>6</b>
<b>Disponibilidad y movilidad de sedimentos</b>	El río Negro cuenta con retención de sedimentos que decantan en el embalse. En el tramo hay aporte de sedimentos por abanicos aluviales provenientes de la barda Sur, que en tormentas torrenciales arrastran sedimentos al río. La urbanización ha implicado una desconexión parcial con sedimentos de la barda Norte.	<b>5</b>
<b>Funcionalidad de la llanura de inundación</b>	La llanura de inundación en sectores está desconectada porque el terreno está elevado, hay abundantes obstáculos como cultivos y espacios destinados para el ocio con instalación de parrillas.	<b>5</b>
<b>Total</b>		<b>16</b>
<b>CALIDAD DEL CAUCE</b>		
<b>Naturalidad del trazado y de la morfología en planta</b>	Conserva naturalidad debido al control tectónico dado por la falla Huincul. Hay algunos cambios morfológicos indirectos derivados de la regulación del caudal.	<b>8</b>
<b>Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales</b>	Hay pocos puentes y obstáculos transversales. Posee una baja continuidad de la dinámica vertical ya que inmediatamente después de las represas hay incisión del cauce.	<b>8</b>
<b>Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral</b>	Presenta buena calidad natural de las márgenes. La movilidad lateral está un poco restringida por el control de caudales y obras de contención.	<b>7</b>
<b>Total</b>		<b>23</b>
<b>CALIDAD DE LAS RIBERAS</b>		
<b>Continuidad longitudinal de las riberas</b>	Las discontinuidades son permanentes en un 60%.	<b>5</b>
<b>Anchura del corredor ribereño</b>	El ancho medio del corredor ribereño actual es inferior a lo que era antiguamente.	<b>4</b>
<b>Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño</b>	Hay presiones sobre las riberas. Se registran invasiones importantes de especies arbóreas y abundantes infraestructuras lineales que rompen totalmente la conectividad transversal del corredor.	<b>6</b>
<b>Total</b>		<b>15</b>
<b>VALOR FINAL CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA:</b>		<b>54</b>



## **Tramo N°2**

### **Calidad funcional del sistema**

#### *Naturalidad del régimen de caudal*

La evolución del trazado del río Negro en el Tramo 2 difiere del Tramo 1. El cambio más notorio es la morfología del cauce y el desarrollo de canales secundarios, la expansión del río sobre la llanura de inundación hacia la margen norte. El cambio puede estar dado por la disminución de la pendiente, lo que puede provocar disminución de la velocidad de la corriente, en consecuencia hace que el río se expanda en canales. Además, no se observa un control estructural en esta zona.

El cambio de la magnitud de los caudales mostró una marcada reducción, esto se aprecia en las imágenes satelitales del año 1972 y 1986 (Fig. 17 A y B).

#### *Disponibilidad y movilidad de sedimentos*

En el río Negro la disponibilidad de sedimentos está reducida a los abanicos aluviales, que cuando se presentan precipitaciones extraordinarias reactivan los cañadones y arrastran sedimentos de la meseta y de los niveles de terraza, principalmente de la margen derecha hacia la costa del río. La erosión fluvial se concentra en el interior del meandro y provoca un aporte mínimo de sedimentos al cauce, ya que las crecidas extraordinarias naturales han sido controladas. El déficit de caudal sólido en el río es consecuencia de las represas y embalses de los afluentes que retienen un alto porcentaje de sedimentos.

La elección de las bandas en las imágenes satelitales se basó en resaltar los componentes agua y vegetación. La secuencia temporal de las imágenes (Fig. 20) demuestra la variación de color en el cauce del río, partiendo del año 1972 con un color celeste intenso, que indica abundante presencia de sedimentos en el agua y para las siguientes décadas, se presenta con un color negro demostrando la ausencia de caudal sólido en el agua.

#### *Funcionalidad de la llanura de inundación*

La llanura de inundación en este tramo es un poco más amplia que en el Tramo 1, debido a la expansión del río, aunque presenta limitación por la proximidad de la zona urbana y áreas de cultivo. En cambio, está pobremente desarrollada debido a la topografía elevada de mesetas y antiguas terrazas fluviales.

## **Calidad del cauce**

### *Naturalidad del trazado y de la morfología en planta*

La morfología del cauce del Tramo 2 se presenta con mayor desarrollo de canales y meandros, aunque mantiene su morfología general de río recto, ya que la sinuosidad es baja.

En la serie de imágenes satelitales (Fig. 17) se observa como a lo largo del tiempo varía la cantidad de canales secundarios y el ancho de los meandros disminuye, como consecuencia, se desarrollan islas vegetadas que se encuentran fijadas en el lecho fluvial.

### *Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales:*

La continuidad longitudinal del río Negro no se encuentra interrumpida, ya que no posee construcción de embalses. Se presentan construcciones sobre el río como puentes y espigones para la atenuación de la erosión fluvial, esto implica una disminución en la naturalidad del río. Preferentemente ocurre en zonas de balnearios y de barrios privados que lindan en la costa del río. Se evidencia más, la urbanización sobre la costa en la ciudad de General Roca.

### *Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral*

Las márgenes del río Negro poseen un alto porcentaje de naturalidad y conservación. El valor ecológico entre la vegetación de las riberas y la movilidad lateral del cauce es fundamental para que haya un intercambio entre hábitats, esta se encuentra restringida por los niveles de caudal controlado.

## **Calidad de las riberas**

### *Continuidad longitudinal de las riberas*

La continuidad del corredor ribereño a lo largo del fondo del valle fluvial es una característica clave de su naturalidad y funcionalidad hidrogeomorfológica, ecológica y paisajística.

La llanura de inundación del río Negro presenta, en casi toda su extensión, actividad agrícola, lo cual implica que a pesar de que las orillas se encuentren en condiciones de poder ser erosionadas, la libre circulación del agua en la llanura está restringida y el río no puede divagar sobre ella libremente.

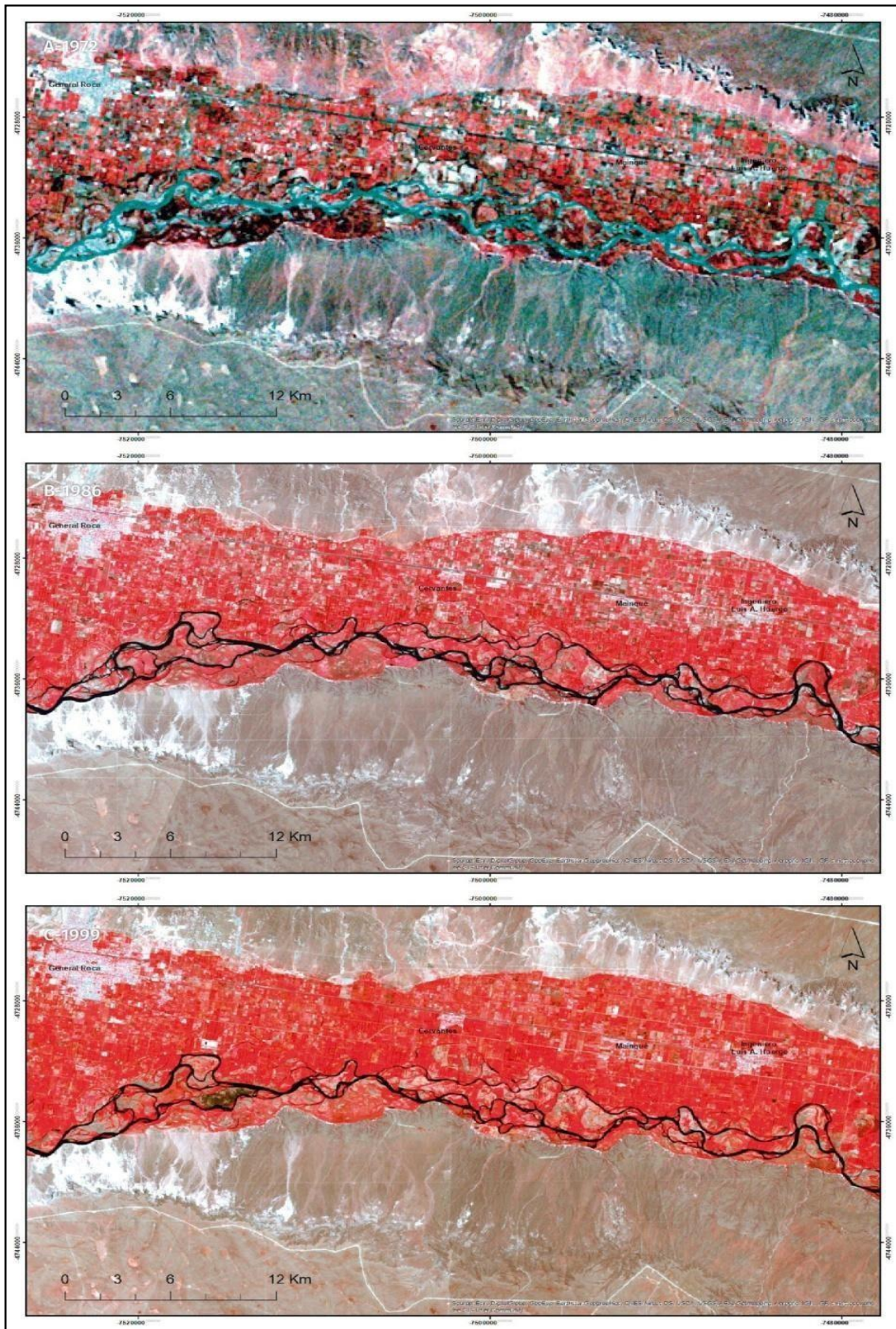
### Anchura del corredor ribereño

La anchura de una ribera es un parámetro fundamental para evaluar su calidad, ya que una orilla extensa garantiza todas las funciones hidrogeomorfológicas y ejerce de forma efectiva las interconexiones entre el cauce, la llanura de inundación, el nivel freático y el valle.

En el río Negro, la costa fue modificándose a lo largo del tiempo debido al avance sobre la misma por la actividad agrícola. En los meandros queda evidenciada esta disminución de la anchura del río, ya que el mismo pierde potencial de erosionar las orillas y genera acreción vertical por acumulación de sedimentos y disminución del caudal, provocando así que se fijen barras fluviales que ya estaban o queden expuestas otras que estaban sumergidas.

### Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño

En este tramo, la estructura que presenta la vegetación en la ribera es densa y madura, en intervalos se encuentra en la orilla o unos metros hacia adentro de la línea de ribera. Las especies vegetales que se encuentran en la orilla del río están estabilizadas, ya que, al no haber crecidas extraordinarias naturales, no hay remoción de vegetación para que comience un nuevo ciclo ecológico o se sustente el suelo de nutrientes traídos en los sedimentos. También provoca la proliferación de especies acuáticas que disminuyen la calidad del agua (Mohor, 2015).



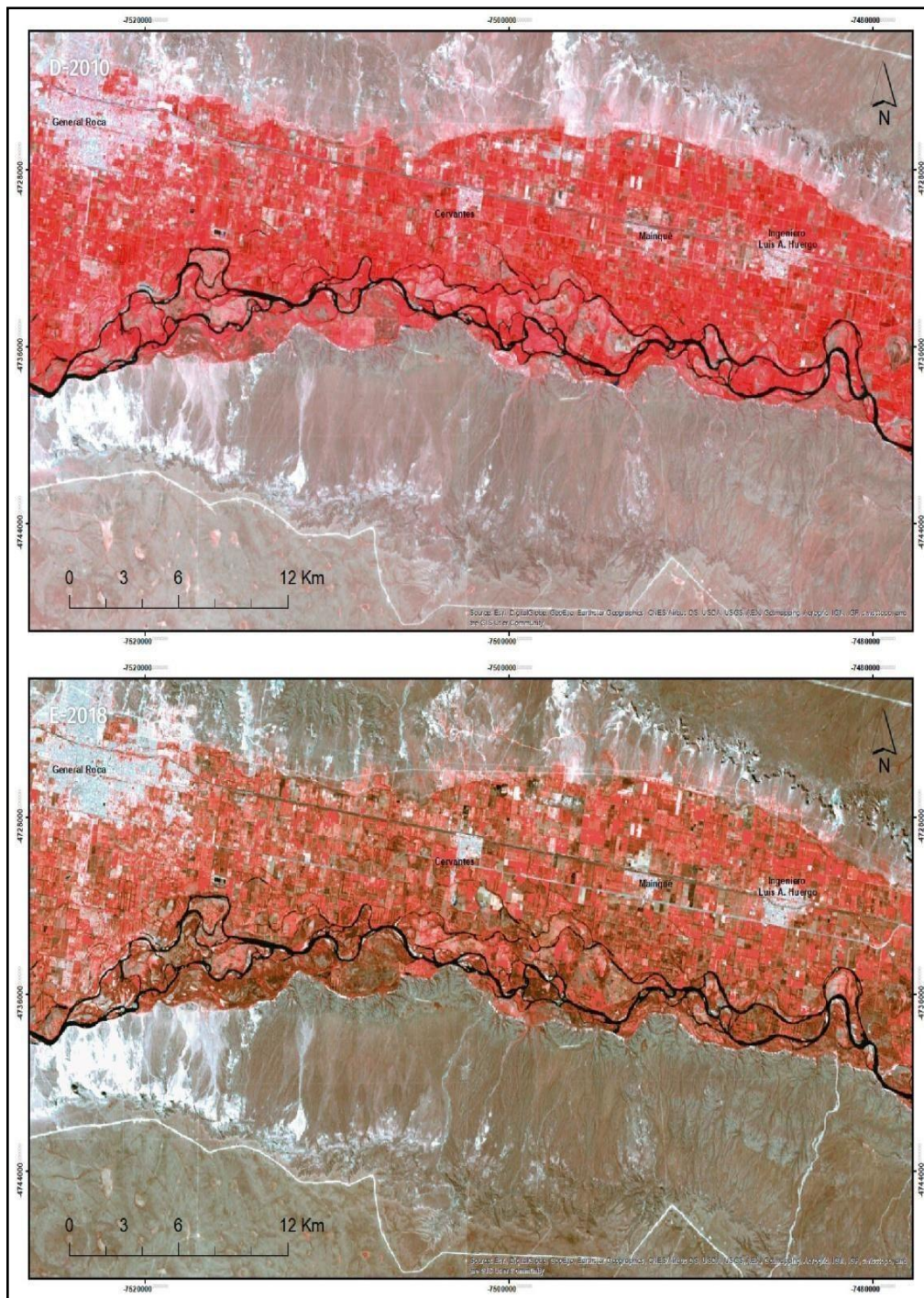


Figura 17: Secuencia temporal de imágenes satelitales para el Tramo N°2 del río Negro. A-1972 (RGB: 754); B-1986; C-1999; D-2010 (RGB: 432) y E-2018 (RGB: 543).

Tabla 12: Se resume la valoración otorgada a los distintos parámetros del IHG descriptos, para el Tramo 2 del río Negro.<sup>2</sup>

<b>TABLA DE VALORACIÓN. Caso de estudio: TRAMO 2 RÍO NEGRO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Explicación</b>	<b>Valoración</b>
<b>CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA</b>		
<b>Naturalidad del régimen de caudal</b>	Hay alteraciones hidrológicas muy importantes desde los embalses, con importantes detracciones.	6
<b>Disponibilidad y movilidad de sedimentos</b>	. En el tramo hay algunos síntomas de dificultades en la movilidad, suavizados por el incremento de caudal y el aporte por los abanicos aluviales.	5
<b>Funcionalidad de la llanura de inundación</b>	La llanura de inundación ha desaparecido como tal. Casi todo el espacio inundable está sobre elevado o impermeabilizado	5
<b>TOTAL</b>		<b>16</b>
<b>CALIDAD DEL CAUCE</b>		
<b>Naturalidad del trazado y de la morfología en planta</b>	Ha habido cambios drásticos de trazado e incluso el río se ha soterrado y tiende a tener una morfología recta.	4
<b>Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales</b>	Hay puentes y obstáculos transversales como escolleras.	7
<b>Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral</b>	La margen sur mantiene su naturalidad, en cambio la margen norte está fuertemente afectada por los cultivos y el incremento de barrios Cerrados cerca de la costa.	6
<b>TOTAL</b>		<b>17</b>
<b>CALIDAD DE LAS RIBERAS</b>		
<b>Continuidad longitudinal de las riberas</b>	La continuidad está acotada por el crecimiento urbano y por las Represas de los ríos Limay y Neuquén.	6
<b>Anchura del corredor ribereño</b>	La anchura media del corredor ribereño actual es inferior debido al Control del caudal.	5
<b>Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño</b>	Hay presiones sobre las riberas y las infraestructuras lineales no rompen totalmente la conectividad transversal del corredor.	8
<b>TOTAL</b>		<b>19</b>
<b>VALOR FINAL CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA:</b>		<b>52</b>

### Tramo N°3

#### Calidad funcional del sistema fluvial

##### Naturalidad del régimen de caudales

En la secuencia de imágenes satelitales de la figura 18 que comienza con la imagen del año 1972 y finaliza con la del año 2018, tomadas en el mes de enero, poseen un caudal alto por la demanda de energía eléctrica, es decir, se turbinan mayor volumen de agua que se traduce en un mayor caudal. Las imágenes son todas posteriores al último embalse inaugurado en 1972, denominado Ezequiel Ramos Mexía, que se encuentra sobre el río Limay.

En la imagen de la figura 18 A que corresponde al año 1972 (RGB 432), el trazado del río Negro presenta color celeste debido a la cantidad de sedimento que contiene el cauce. El río posee mayor desarrollo de canales y de meandros.

En la imagen de la figura 18 B del año 1986 (RGB 432), el río refleja color azul oscuro, su traza es menos sinuosa y los canales secundarios disminuyeron su proporción en comparación con la primera imagen. El cambio de color que refleja el río se debe a que, el caudal sólido disminuyó notablemente tan solo en un período de 12 años después de la construcción de la última represa. Esto indica que se retienen sedimentos en los embalses, provocando el efecto de aguas limpias en el río Negro.

##### Funcionalidad de la llanura de inundación

En el Tramo 3, la llanura de inundación es acotada, en la primer parte el río se encuentra semiconfinado en la margen derecha por los niveles antiguos de terrazas fluviales y en la margen izquierda está ocupado por cultivo. Luego en el área que cambia de rumbo hacia el norte, el río posee en ambas márgenes llanura de inundación, área utilizada para la producción agrícola.

##### Disponibilidad y movilidad de sedimentos

En la imagen satelital del año 1972 (Fig.18) en el río Negro la disponibilidad de sedimentos está reducida a los abanicos aluviales, que cuando se presentan precipitaciones extraordinarias reactivan los cañadones y arrastran sedimentos de la meseta y niveles de terraza de la margen derecha hasta la costa del río.

La elección de las bandas en las imágenes satelitales se basó en resaltar los componentes agua y vegetación. La secuencia temporal de las imágenes (Fig. 18) demuestra la variación de color en el cauce del río, partiendo para el año 1972 con un color celeste intenso, que indica abundante presencia de sedimentos en el agua y para las siguientes décadas, se presenta con un color negro demostrando la ausencia de caudal sólido en el agua

## Calidad del cauce

### Naturalidad del trazado y de la morfología en planta

El trazado del río en todo su trayecto posee morfología rectilínea. En este tramo la primer parte se encuentra semiconfinada en la margen derecha por la meseta y niveles de terrazas antiguos, que están topográficamente más elevados que el cauce. En la segunda parte del tramo se observa que el río cambia de rumbo y atraviesa el valle fluvial, para establecerse en la margen izquierda confinada por la meseta norte (Fig. 18). El río adopta una morfología con meandros de curvas suavizadas e islas separadas por canales secundarios.

### Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales

La continuidad del río Negro en el tramo 3 no se encuentra interrumpida por obras civiles. La naturalidad del lecho no presenta alteraciones, sigue conformada por elementos geomorfológicos como barras, meandros y abanicos aluviales. Posee vegetación de ribera. En la zona de la costa utilizada como área recreativa, no posee estructuras nuevas que alteren la naturalidad del mismo. Por lo tanto, este tramo es el que conserva mejor las condiciones naturales del río.

### Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral

En este tramo se observa que se preserva un gran porcentaje la naturalidad en ambas márgenes, a pesar que la margen izquierda posee actividad agrícola. La movilidad lateral del río, como en todo su trayecto, está acotada por el régimen del caudal.

## Calidad de las riberas

### Continuidad longitudinal de las riberas

La continuidad longitudinal de las riberas del río Negro en el tramo 3, tiene continuidad en la margen derecha y hacia la margen izquierda se pierde debido al desarrollo productivo. En el sector que cambia de rumbo el río presenta zona de ribera en ambas márgenes (Fig. 18). Las especies vegetales están asentadas con mayor desarrollo de árboles fijándose en el suelo.

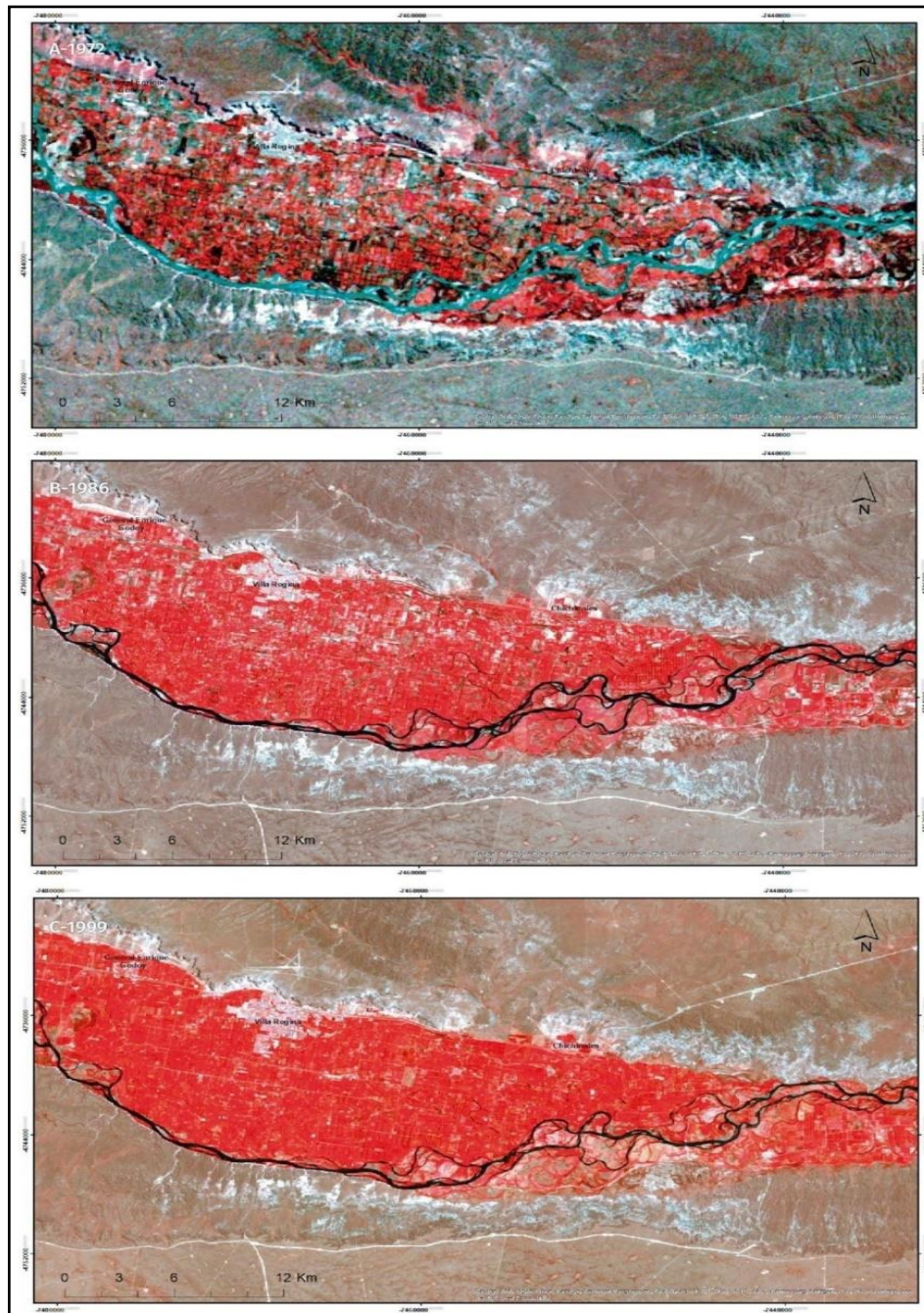
### Anchura del corredor ribereño

El ancho del río en este tramo también se vio afectado, como a lo largo de toda su extensión, por el control del caudal que obliga al río a encausarse provocando disminución de su ancho.



Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño

El corredor ribereño en este último tramo demuestra ser bueno, ya que las costas se presentan casi sin alteración, generando un puente de conectividad transversal con las zonas ribereñas, disminuyendo la cantidad de vegetación. Esto se observa en las imágenes satelitales (Fig.18), las cuales deberían presentar color rojo que indica abundante vegetación, pero varía a colores marrones claros a verdes, evidenciando poca vegetación o mala calidad.



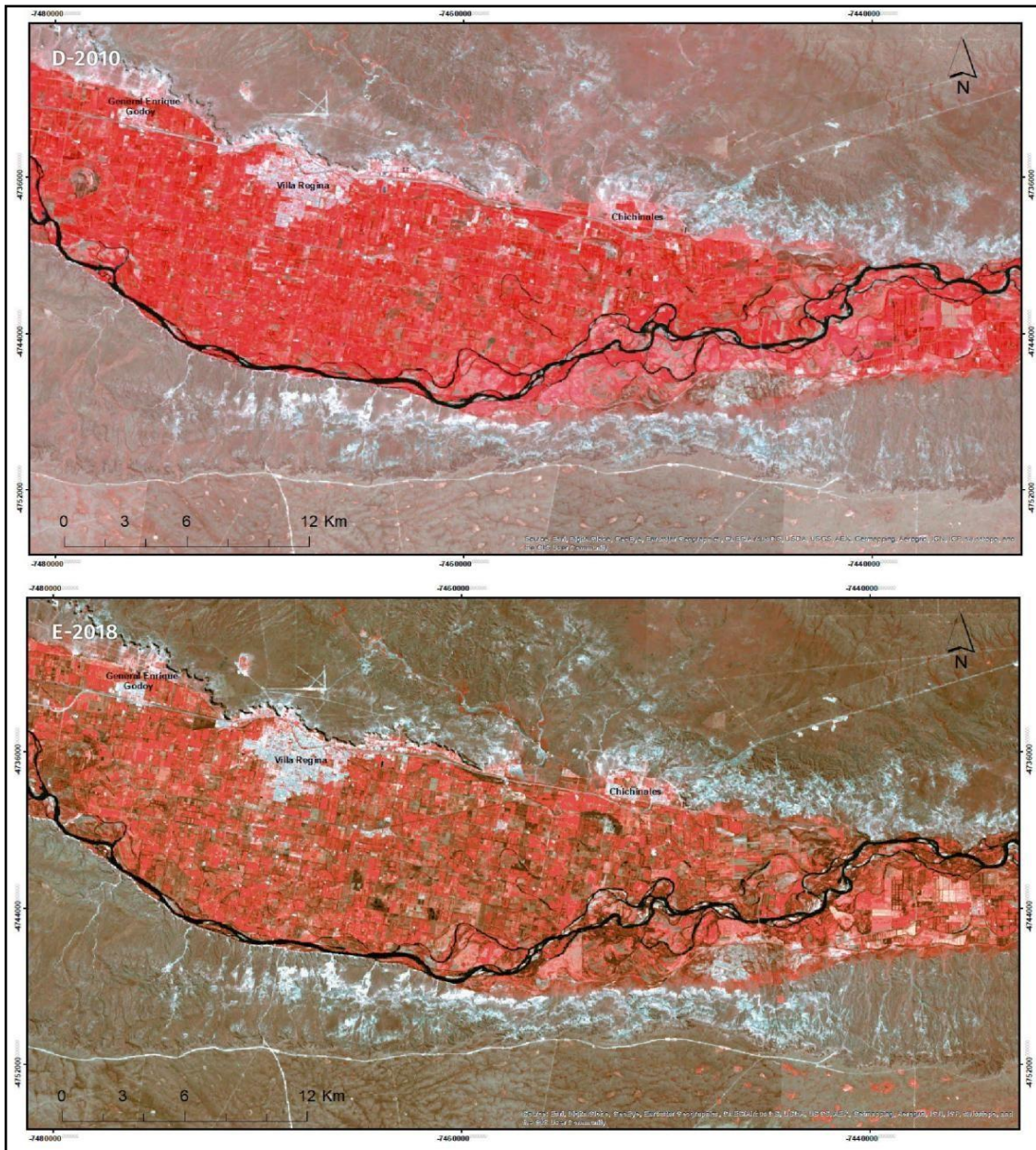


Figura 18: Secuencia temporal de imágenes satelitales para el Tramo N°3 del río Negro. A-1972 (RGB: 754); B-1986; C-1999; D-2010 (RGB: 432) y E-2018 (RGB: 543).

Tabla 13: Tabla de valoración del IHG para el Tramo N°3 del río Negro.

<b>TABLA DE VALORACIÓN. Caso de estudio: TRAMO 3 RÍO NEGRO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Explicación</b>	<b>Valoración</b>
<b>CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA</b>		
<b>Naturalidad del régimen de caudal</b>	El régimen natural está afectado por el control de caudal dado por las represas en los afluentes.	6
<b>Disponibilidad y movilidad de sedimentos</b>	Es baja debido a que se retienen gran porcentaje de sedimentos en las represas, pero hay un porcentaje pequeño que llega de los abanicos aluviales que están en la margen sur que caen directamente sobre El río.	6
<b>Funcionalidad de la llanura de inundación</b>	La funcionalidad de la llanura de inundación ha desaparecido casi por completo, ya que el avance del cultivo y de la población hacia el río hace que el río no se mueva libremente, aunque si presenta algunas fluctuaciones de caudal determinadas por las represa.	5
<b>Total</b>		<b>17</b>
<b>CALIDAD DEL CAUCE</b>		
<b>Naturalidad del trazado y de la morfología en planta</b>	El río aquí presenta dos morfologías diferentes, rectas y anastomosadas, pero este último está tendiendo a perder los meandros y volverse recto.	6
<b>Continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales</b>	No hay factores externos que alteren directamente la continuidad del río.	7
<b>Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral</b>	Las márgenes presentan naturalidad, aunque la movilidad lateral está restringida.	8
<b>Total</b>		<b>21</b>
<b>CALIDAD DE LAS RIBERAS</b>		
<b>Continuidad longitudinal de las riberas</b>	La continuidad está un poco afectada y la vegetación sufrió cambios a lo largo del tiempo.	7
<b>Anchura del corredor ribereño</b>	La anchura media del corredor ribereño actual es inferior a lo que era antes, esto se observa en la serie de imágenes satelitales.	7
<b>Estructura, naturalidad y conectividad transversal del corredor ribereño</b>	Esta zona de transición se encuentra en buen estado de naturalidad ya no que no hay casi obras que perturben el corredor ribereño, solo las áreas de cultivo que pueden estar en barras o en la zona alta de la costa.	8
<b>Total</b>		<b>22</b>
<b>VALOR FINAL CALIDAD HIDROGEOMORFOLÓGICA:</b>		<b>60</b>

## Aplicación de la tabla de valores para el IHG

La observación y obtención de puntajes para cada una de los tramos, muestra que en la media ponderada se obtuvo: 55.3 puntos, lo cual indica una calidad hidrogeomorfológica MODERADA. Esto evidencia que el río Negro no posee graves consecuencias dadas por la presión antrópica actualmente. El resultado obtenido revela que hay que prestar atención a los cambios que puedan realizarse en el sistema fluvial, previendo diseñar medidas para su protección, considerando el área que pertenece al río.

Se realizó un esquema de imágenes y gráficos (Fig. 19) para demostrar, de una manera dinámica y eficiente, el conjunto de datos que se obtuvo de las tablas de IHG de los tres tramos. En color verde se representa la calidad funcional del sistema fluvial (CFSF), en color celeste la calidad del cauce (CC) y en amarillo, la calidad de las riberas (CR). El menor valor de la barra del gráfico indica una disminución en la calidad de ese parámetro y un mayor valor refleja un menor impacto.

En la figura 19 están representados los tramos 1, 2 y 3, donde las imágenes demuestran los impactos sobre el sistema fluvial y el resultado de los mismos a través del gráfico en barra. El tramo 1 muestra una degradación de CR que derivan de la presión agrícola y urbana, debido a la concentración de grandes ciudades en la confluencia del río Negro.

En el tramo 2 (Fig. 19) el impacto se da en la CFSF (color verde), caracterizada por una importante estabilización y crecimiento de las barras e islas fluviales. La sinuosidad se ve disminuida junto con la magnitud de cambios del curso fluvial, debido al control del caudal.

En el Tramo 3, los valores de los tres parámetros principales fueron relativamente parecidos, quedando el parámetro CFSF como el de menor calidad, debido a la presión antrópica y a la poca dinámica fluvial que presenta.

Los cauces fluviales, por su complejidad y dinámica, constituyen espacios que las sociedades desarrolladas tratan de estabilizar e integrar en el territorio, lo cual genera importantes presiones e impactos. El origen básico de las alteraciones geomorfológicas de los ríos se encuentra en el propio desarrollo socioeconómico (Ollero, 2011), con actividades que consumen territorio (espacio fluvial), agua y sedimentos (áridos), y con exigencias sociales de seguridad (frente a inundaciones), estabilidad (frente a la dinámica fluvial) y modelos urbanos (frente a la naturalidad). A esta realidad, consolidada y en crecimiento, hay que añadir la no valoración y el desconocimiento social de la geomorfología fluvial.

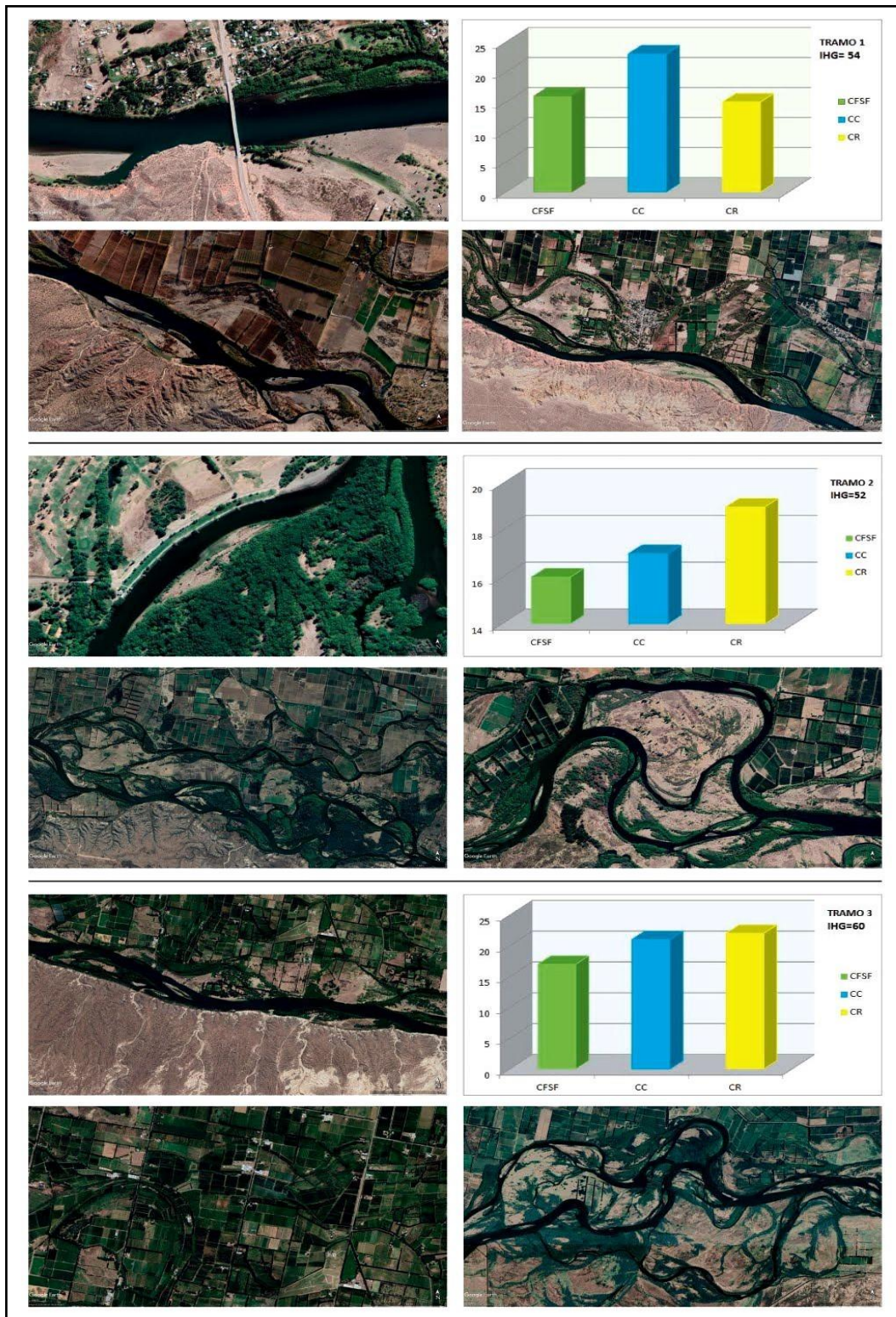


Figura 19: Combinación de imágenes tomadas de Google Earth junto con gráficos en barra para mostrar los impactos en el río de los Tramos 1-2 y 3. Los valores bajos de las barras son las que indican una menor calidad fluvial en ese sector, en el Tramo 1 fue el factor CR; en los tramos 2 y 3 el factor fue CFSF

La implantación de una represa altera sustancialmente las variables que controlan la morfología de un río aguas abajo, en el régimen hídrico y en el aporte de sedimentos. En la literatura han sido documentados casos típicos de fenómenos de incisión aguas abajo de las represas debido al paso de las “aguas claras”, es decir, privadas de sedimentos (Kaless *et al.*, 2008). Los sedimentos en el río Negro, previo a la construcción de las obras de embalsamiento, eran transportados junto con el caudal líquido e iban precipitándose paulatinamente, produciendo un efecto de “impermeabilizado” natural en el lecho (Kaless *et al.*, 2008), esto se ve reflejado en el área de estudio en la imagen satelital del año 1972 (Fig. 18), posee sedimentos el río. La disminución de la turbidez en las aguas provoca, una proliferación de algas y de vegetación acuática, que es aún mayor en la temporada estival, donde las condiciones de radiación solar y temperatura acentúan este proceso, modificando las condiciones ecológicas (Mohor, 2015).

Actualmente el río Negro no posee crecidas naturales, las cuales son el gran motor de la dinámica fluvial, ya que son las constructoras de los cauces y del sistema fluvial. Cuando las crecidas no se presentan de forma natural, o sin la libertad que las caracteriza, el río pierde su viabilidad y la capacidad de auto-regularse, que permite la distribución y clasificación de los sedimentos y el ordenamiento de la vegetación, desfavoreciendo el asentamiento de especies invasoras y excesivas (Ollero *et al.*, 2009).

La existencia de las represas en las cuencas del Limay y Neuquén, presentan los beneficios de obtener, agua potable, energía hidroeléctrica y también han permitido a los productores agrícolas, contar con el recurso en cantidad, calidad y periodicidad para regar adecuadamente todos los años, situación que no ocurría previamente, ya que dependían exclusivamente de la variabilidad natural de la oferta hídrica de los ríos. Sobre el río Neuquén la instalación del complejo hidroeléctrico Cerros Colorados funciona como la única barrera para contener crecidas y el Dique Ballester (creado en 1910) que es un regulador de crecidas, también posibilitó poner bajo riego alrededor de 60.000 hectáreas y alimenta el canal principal de riego, dándole vida al norte de la provincia y en el río Limay, la creación del Embalse El Chocón, ambos complejos permitieron ser la gran reserva de agua del Valle.

Debido a la modificación de la magnitud y frecuencia de las crecidas, a partir de la regulación, se ha instaurado la falsa creencia de que han finalizado los peligros de inundaciones, creándose asentamientos productivos y urbanos en zonas que aún mantienen ese riesgo, bajo situaciones extremas.

El conflicto entre los asentamientos poblacionales y los ríos de la cuenca se produce porque ambos compiten por un mismo espacio. Estas tierras son apetecibles tanto para la ocupación urbana como para la rural, lo cual implica múltiples presiones e impactos sobre el sistema fluvial, directo sobre el cauce e indirecto sobre cuencas, que alteran el funcionamiento geomorfológico del sistema.

Para comprender los cambios geomorfológicos que generaron las represas, embalses y la urbanización en el río Negro, se utilizaron las imágenes satelitales y el IHG que sirvió como sustento y para comprender las causas de los cambios registrados.

El conocimiento de la dinámica y de sus causales debe llevar a la toma de decisiones para la gestión fluvial y en la ordenación del territorio. Debería proponerse la conservación o protección de toda manifestación de la dinámica natural, la planificación

hidrológica y geomorfológica a escala de cuenca, para controlar y reducir los efectos del cambio global y medidas de restauración para luchar contra los impactos locales.

Mediante un protocolo basado en indicadores geomorfológicos puede ser posible identificar cambios y determinar las causas de los mismos. La metodología propuesta, resulta efectiva para valorar el papel de cada factor, ya sea natural o antrópico, global o local, y registrar los cambios fluviales. Para ello es necesario contar con una red de tramos fluviales observados periódicamente y monitorizados.

## CAPÍTULO 5- Conclusiones

La implementación del índice hidrogeomorfológico (IHG) obtuvo como resultado un impacto de nivel moderado sobre el río, el cual representa el avance antrópico hacia el territorio fluvial, influyendo directamente en las características hidrogeomorfológicas naturales.

Las represas y diques dispuestos en los ríos Limay y Neuquén controlan las crecidas ordinarias y extraordinarias, estimulando el decrecimiento general de la dinámica fluvial y geomorfológica del río Negro, efectos impulsados por el avance de la vegetación sobre las orillas, barras e islas, reducen la actividad erosiva en los márgenes y la capacidad de movilización y transporte del caudal sólido, reduciendo el movimiento lateral del mismo.

El volumen actual de los caudales se puede catalogar como bueno, pero al no preservar un régimen hidrológico natural, abandonan los beneficios ecológicos que aportan las características que dan los caudales naturales.

La aplicación del IHG evidencia la falta de atención sobre el factor geomorfológico en los estudios ambientales del río, demostrando la necesidad de desarrollar políticas y planes para un ordenamiento territorial.

Por lo tanto, luego de la evaluación se puede concluir que:

- Los embalses provocaron alteraciones geomorfológicas por la regulación del caudal. Esto modificó los procesos de erosión, sedimentación y transporte, generando una tendencia hacia la disminución de la sinuosidad del cauce fluvial, la estabilización de barras e islas fluviales, la reducción del caudal sólido, el acorazamiento del lecho fluvial y la disminución de la dinámica lateral.
- La llanura de inundación sufrió una gran reducción de su territorio fluvial y su funcionalidad de disipar energía en momentos de crecida es acotada, debido a la presión urbana y de las zonas de cultivo. Esto limita su movilidad lateral también por el déficit de caudal.
- La pérdida de naturalidad de un cauce por acción directa por canalizaciones, dragados, puentes, escolleras, son efectos locales que repercuten en la dinámica general del río y en la calidad funcional de las riberas.

- El deterioro de la continuidad, anchura, estructura y naturalidad con el corredor ribereño provoca alteración geomorfológica al igual que la abundante vegetación que queda fija en las orillas y en las barras e islas, ya que le quita movilidad al río.
- La aplicación del IHG es una manera de dejar en evidencia la falta de atención sobre el factor geomorfológico en los estudios ambientales de los ríos. Es un reto necesario hacer énfasis en estas problemáticas, ya que, está demostrado el impacto que se genera sobre el río. Las ciudades y el cultivo que se emplazaron sobre su valle dependen de su estado y calidad ecológica.
- El conocimiento de la geomorfología fluvial favorece el desarrollo de políticas y planes para un ordenamiento territorial, ya que, si se quieren ríos sanos y dinámicos, es necesario conocer y estudiar todos los elementos que lo componen para evitar daños materiales y recuperar su naturalidad ecológica.



## REFERENCIAS

- Ambrosio, M.B y Suarez, M.I 2016. La Patagonia Norte y la organización. Ojo del Cóndor. Volumen (7), 4-9.
- Arche, A. 2010. Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria. *Sedimentología*, 11-1287.
- Casadío S. y Montagna A. O. 2015. Geología de la Cuenca Neuquina y sus Sistemas Petroleros. Fundación YPF, 9-21 p. Neuquén.
- Charlton, R. 2008. Fundamentals of Fluvial Geomorphology. Taylor & Francis or Routledge's 10-20. Nueva York.
- Chávez, R., y Caba, R. 2004. Carta de Peligrosidad Geológica 3969-IV General Roca Provincias de Río Negro y Neuquén Boletín N° 302. General Roca.
- Cazeneuve, R., Fouga, J., y Valicenti, J. L. 1998. El control de las crecidas: Sistema de emergencias hídricas y mitigación del riesgo. Argentina. Autoridad Interjurisdiccional de Las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro. Abr. 1998. Cipolletti. AR.
- Coronato, A., Borromei, A. M. y Rabassa, J. 2001. Paleoclimas y Paleoesenarios en la Patagonia Austral y en Tierra del Fuego durante el Cuaternario. Boletín Geográfico de la Universidad Nacional del Comahue. Vol. 29 p. 1 – 11.
- Composiciones Landsat en ArcGis. 2017. <https://mixdyr.files.wordpress.com>
- Mohor, S. 2015. Originarios de la Provincia; ARG, Infraestructura de Riego en la Provincia de Río Negro. Proyecto FAO UTF. Documento de Trabajo N°8.
- Elorza, M. S., Sánchez, E. D. D., y Vesperinas, E. S. 2004. *Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España*. Dirección General de la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.
- Felices, A. R. La morfología fluvial y su incidencia en la estabilidad de las obras viales.
- García, V. H. 2015. Caracterización cinemática de la falla río Negro en el bloque sísmico General Roca, cuenca Neuquina, provincia de Río Negro. Acta resúmenes 16ª Reunión de Tectónica, p.170, General Roca.
- Gómez Villar, A. 1996. Abanicos aluviales: Aportación teórica a sus aspectos más significativos. Cuaternario y Geografía 10 (3-4). Departamento de Geografía e Ha de las I.E Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de León.
- Jesús, H. y Ollero, A. 2010. Clasificación Geomorfológica de cursos fluviales a partir de Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 56 - 2011, págs. 373-396. I.S.S.N.: 0212-9426.
- Kostadinoff, J., Gregori, D. A. y Raniolo, A. 2005. Configuración geofísica-geológica del sector nortede la provincia de Río Negro. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 60 (2): 000-000 2005.
- Kaless, G., Matamala, F., Monteros, B., & Greco, W. 2008. Cambios hidrológicos y morfológicos en el Río Chubut aguas abajo de la presa Florentino Ameghino.
- Leanza, H. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 11(2), 145-184.

- Leanza, H.A., y Hugo, C.A. 2001. Hoja geológica 3969-IV, General Roca, provincia de Río Negro. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina a escala 1: 250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Boletín 308: 1-128. Buenos Aires.
- López, R.; Pons, P.; Batalla, R.J. 2004. Efectos hidrogeomorfológicos aguas abajo de embalses. *Cimbra*, 357, 22-28.
- Marizza, M. S., Rapacioli, R. y Vives, L. 2010. La problemática aluvional en el Alto Valle del Río Negro, Argentina *Tecnología y Ciencias del Agua*, antes *Ingeniería hidráulica en México*, vol. I, núm. 1, enero-marzo de 2010, pp. 21-34.
- Martínez, S. 2009. Cuenca del río Negro. Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina.
- Martínez, S. 2009. Cuenca del río Limay. Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina.
- Martínez, S. 2009. Cuenca del río Neuquén. Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina.
- Martínez, O, A. y Kutschker, A. 2011. The 'Rodados Patagónicos' (Patagonian shingle formation) of eastern Patagonia: environmental conditions of gravel sedimentation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2011, 103, 336–345.
- Martínez, O.A., Coronato, A. y Rabassa, J. 2009. Charles Darwin and the first scientific observations on the Patagonian shingle formation (Rodados Patagónicos). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64 (1): 90 - 100 2009.
- Migueles, N., Abrameto, M. A., Macchi, P. A., Solimano, P. J., Arias, A., Guardiola Rivas, F. J.,... & Morawicki, S. N. 2019. Informe del estado ambiental del Río Negro. *Informe del estado ambiental del Río Negro*.
- Mosquera, A. y Ramos, V. 2011. La estructura de la Dorsal de Huinul. *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén*.
- Muñoz Jiménez, J. 1995. Geomorfología General. Editorial Síntesis S.A. Madrid.
- Ollero Ojeda, A. 2010. Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico IHG en la Cuenca del Ebro. Medio Ambiente, Territorio y Geografía, S.L. MASTERGEO, S.L. Zaragoza.
- Ollero Ojeda, A., González, A.I. y Huarte, E. 2009. El territorio fluvial y sus dificultades de aplicación. *Geographicalia*, 56, 2009: 37-62.
- Ojeda, A. O., Ferrer, D. B., Bea, E. D., Mur, D. M., Fabre, M. S., Naverac, V. A.,... & Gil, N. S. 2007. Un índice Hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *Geographicalia*, (52), 113-142.
- Ollero, A., Ibsate, A., Acín, V., Díaz, E., Granado, D. y Horacio, J. 2011. Innovación y Libertad fluvial. VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA. España.
- Ramos, V. A., Folguera, A., & García Morabito, E. 2011. Las provincias geológicas del Neuquén. In *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. Relatorio 18º Congreso Geológico Argentino, Neuquén* (pp. 317-326).

- Rice, S.P. et al, 2009. Morphology and evolution of bars in a wandering gravel-bed river; lower Fraser River, British Columbia, Canada. *Sedimentology* 56 (3), pp. 709-736.
- Rodríguez, M, F., Leanza, H.A., y Aranguren, M. S. 2007. Hoja geológica 3969-II, Neuquén, provincia del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina a escala 1: 250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR. Boletín 370. Buenos Aires.
- Sánchez, R. M., Dunel Guerra, L., & Scherger, M. 2015. Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina.
- Silvestro, J., & Zubiri, M. 2008. Convergencia oblicua: modelo estructural alternativo para la Dorsal Neuquina (39°S)-Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63(1), 49-64.
- Subelza C1, Ferreira Padilla S1-2 y Quintero D. 2019. Índice de Calidad de Riberas (IQR) e Índice Hidrogeomorfológico (IHG) para un tramo del río Alisal (Cafayate, Salta-Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisajes* 9(1): 157-160 Volumen Especial VII Jornadas y IV Congreso AEP: "Paisajes de cambio: la planificación posible y el consumo de suelos".
- Vericat, D. y Batalla, R.J. 2004. Downstream effects of dams in the fluvial dynamics of the Lower Ebro River. *Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. Av. Alcalde Rovira Roure, 177. E-25198 Lleida*
- Talavera, M. J., Javier; Nova Sánchez, R. 2019. Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) en la cuenca de la Segura: embalse de la Fuensanta-Llano de la Vida (Desembocadura del río Taibilla). *GeoGraphos* [En línea]. Alicante: Grupo Interdisciplinario de Estudios Críticos y de América Latina (GIECRYAL) de la Universidad de Alicante, 2 de septiembre de 2019, vol. 10, nº 120 p. 238-268.
- AIC, 2020: <http://www.aic.gov.ar/sitio/publicaciones-todas>
- Prichard, D., & Clemmer, P. 1996. Riparian area management: using aerial photographs to assess proper functioning condition of riparian-wetland areas. US Bureau of Land Management, National Applied Resource Sciences Center.
- Raven, P. J., Holmes, N. T. H., Dawson, F. H., & Everard, M. 1998. Quality assessment using river habitat survey data. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 8(4), 477-499.