



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA Y TURISMO**

**TESIS DE LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA**

**“Análisis hidrogeomorfológico en el  
periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca”**

**Tesista:** Pirchi Valeria Noemí

**Directora:** Dra. Gil Verónica

**Co-Directora:** Dra. Zapperi Paula Andrea

**BAHÍA BLANCA, 2019**

## Agradecimientos

Este trabajo de tesis es resultado de mucho esfuerzo y dedicación, por eso deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que estuvieron presentes e hicieron posible su desarrollo. En primer lugar, a mis directoras de tesis las Dras. Verónica Gil y Paula Zapperi por aceptar dirigir esta investigación y apoyar mis ideas a lo largo del desarrollo de esta tesis. Así como también al Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur por la posibilidad de realizar mis estudios de grado.

Quiero expresar mi agradecimiento especial al Ingeniero Mario Oscar Pirchi, quien además es mi padre. Agradezco eternamente su paciencia, comprensión y estímulo para continuar mi estudio académico. Además, mencionar en forma particular mi reconocimiento por su constante apoyo emocional, su tiempo destinado a relevamientos y mediciones en el área de estudio y por sus consejos en lo ingenieril. A la Diseñadora Gráfica María Laura Pirchi por su colaboración en las ilustraciones y ediciones de figuras de la tesis.

A las personas e instituciones que me brindaron datos e información: Juan Carlos Miguel del Departamento de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca. Al Ing. Guillermo Manrique ex Secretario Municipal de Infraestructura de Bahía Blanca. Al Área de Ingeniería Civil e hidráulica de la Universidad Tecnológica Nacional de Bahía Blanca por su amable atención. A la Asociación de Empleados de Comercio, a las familias Caporossi, Menichelli, Schamun, Irastorza y a los peones Nicolás (residencia Las Toscas) y Juan Carlos (residencia La Catalina) por su amabilidad y permitirme el acceso a sus propiedades. Especial mención al Dr. Alfredo Ollero Ojeda del Departamento de Geografía y Ordenamiento Territorial de la Universidad de Zaragoza, la Dra. Askoa Ibisate del Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología de la Universidad del País Vasco, al Dr. Fernando Lebinson y Ms. Guillermo Pera Vallejos del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur quienes me proporcionaron bibliografía y me brindaron su atención especial.

A mis compañeros de carrera la Dra. Vanina Aliaga, Dr. Federico Ferrelli y Lic. Ángeles Speake por atender mis inquietudes ofreciendo sus consejos y profesionalidad.

Mi gratitud a mis padres, hermanos y sobrinos por acompañarme en los muchos momentos difíciles, las horas de desvelo y preocupación alentándome siempre a seguir adelante con perseverancia.

**A todos agradezco el acompañarme en este logro...**



.....  
**Valeria Pirchi**

## ÍNDICE

### RESUMEN

<b>CAPÍTULO I</b> .....	7
<b>Introducción</b> .....	7
<b>1. Abordaje de la investigación</b> .....	7
1.1. Planteamiento de la problemática y justificación de la investigación .....	7
1.2. Antecedentes bibliográficos .....	10
1.3. Hipótesis de investigación.....	12
1.4. Objetivos .....	12
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	12
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	12
<b>CAPÍTULO II</b> .....	13
<b>2. Metodología y técnicas</b> .....	13
2.1. Criterios de delimitación del área de estudio .....	13
2.2. Revisión de la literatura.....	13
2.3. Fotografías aéreas e imagen satelital.....	14
2.4. Sistema de Información Geográfica (S.I.G) y cartografía temática .....	14
2.4.1. <i>Etapa 1: Análisis e interpretación visual</i> .....	15
2.4.2. <i>Etapa 2: Georreferenciación y digitalización</i> .....	15
2.4.3. <i>Etapa 3: Análisis comparativo</i> .....	16
2.4.4. <i>Etapa 4: Control de campo</i> .....	17
2.5. Caracterización hidrogeomorfológica .....	17
2.5.1. <i>Análisis morfométrico</i> .....	17
2.5.1.1. <i>Perfil topográfico del cauce y batimetría del canal</i> .....	20
2.5.2. <i>Análisis morfodinámico</i> .....	22
2.5.2.1. <i>Superficie cubierta por vegetación</i> .....	22
2.5.2.2. <i>Método de cálculo de tasas de migración y procesos fluviales</i> .....	23
<b>CAPÍTULO III</b> .....	25
<b>3. Marco teórico</b> .....	25
3.1. El sistema fluvial y las escalas de análisis.....	25
3.2. Los rios como principales agentes de la dinámica fluvial .....	26
3.2.1. <i>Componentes morfodinámicos del cauce y su funcionalidad espacial</i> .....	28
3.2.2. <i>La importancia de la sección transversal en el análisis hidrogeomorfológico</i> .....	30

3.3. Los meandros: <i>dinámica hidrogeomorfológica</i> .....	30
3.3.1. <i>Propiedades morfológicas de los ríos meandriiformes</i> .....	32
3.3.2. <i>Papel morfológico de la vegetación en los cauces</i> .....	34
3.3.3. <i>Factores que controlan la dinámica de los meandros</i> .....	35
<b>4. Área de estudio: el periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca</b> .....	<b>37</b>
4.1. La influencia de la geomorfología en la configuración de la red de drenaje a escala de cuenca .....	37
4.1.1. <i>Geomorfología y su influencia en patrón de drenaje en la CBNG y el tramo estudiado</i> .....	38
4.1.2. <i>Clima regional y local</i> .....	40
4.1.3. <i>La vegetación en el tramo de estudio</i> .....	40
4.2. Funcionalidad del área de influencia del arroyo Napostá Grande en el periurbano norte de Bahía Blanca: de espacio productivo a escenario de expansión del uso residencial .....	41
4.2.1. <i>Alternancia de usos del suelo en el proceso de ocupación del espacio</i> .....	41
4.2.2. <i>Categorización según el Plan Director del Periurbano de Bahía Blanca</i> .....	43
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>44</b>
<b>5. Resultados y discusiones</b> .....	<b>44</b>
5.1. Sectorización del tramo fluvial de estudio .....	44
5.2. Cambios de cobertura vegetal en el cauce del arroyo Napostá Grande (1990-2016) .....	46
5.2.1. <i>La influencia de la vegetación de ribera sobre la morfología del cauce</i> .....	50
5.3. Morfología del cauce del arroyo Napostá Grande en el periurbano norte .....	53
5.3.1. <i>Cambios en la superficie y ancho de la llanura de inundación</i> .....	53
5.3.2. <i>Análisis morfológico del trazado en planta del canal (1990-2016)</i> .....	55
5.3.2.1. <i>Parámetros de Sinuosidad</i> .....	55
5.3.2.2. <i>Variaciones en la longitud del canal (thalweg)</i> .....	57
5.3.3. <i>Análisis de los cambios morfológicos de los meandros (1990-2016)</i> .....	58
5.3.3.1. <i>Parámetros de meandros</i> .....	58
5.3.3.1.1. <i>Amplitud de la curva de meandro (Am)</i> .....	59
5.3.3.1.2. <i>Radio de curvatura del arco (Rc)</i> .....	62
5.3.3.1.3. <i>Longitud de onda del arco (<math>\lambda</math>)</i> .....	65
5.4. Consecuencias de las intervenciones antropogénicas sobre la dinámica fluvial del cauce ...	67
5.4.1. <i>Intervenciones directas en el arroyo Napostá Grande</i> .....	67
5.4.1.1. <i>Toma de agua directa (con azud derivador)</i> .....	68
5.4.1.2. <i>Defensa longitudinal de margen (dique de contención)</i> .....	69
5.4.1.3. <i>Canalizaciones, rectificaciones y acequias</i> .....	69

5.4.1.4. Puentes y senderos .....	70
5.4.2. <i>Dinámica hidrogeomorfológica en las secciones del tramo estudio</i> .....	70
5.4.2.1. Descripción de perfiles batimétricos del canal meándrico .....	79
<b>6. Conclusiones</b> .....	89
<b>7. Bibliografía</b> .....	91
<b>8. Anexo</b> .....	100

## Resumen

El arroyo Napostá Grande ingresa a la ciudad de Bahía Blanca (Argentina) mediante el área periurbana norte. Éste se caracteriza por ser un cauce de carácter meandriforme y con antropización en su tramo ubicado en el periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). El arroyo drena sus aguas por la planicie aluvial, cuya topografía facilita la divagación natural del cauce provocando su migración y cambio en los parámetros morfológicos, tales como radios de curvatura, amplitud o longitud del eje axial y longitud de onda del arco. Estas características están relacionadas con el régimen de erosión y sedimentación del arroyo además de los periodos de inundación que se ocasionan temporalmente. El presente trabajo de tesis analiza la dinámica fluvial en el cauce del mencionado arroyo, durante el periodo 1990-2016. En la primera etapa se ha caracterizado la morfología del cauce considerando la evolución de sus propiedades geométricas. En una segunda etapa, se han identificado los factores naturales y antropogénicos que explican su comportamiento. Los resultados obtenidos permitieron interpretar procesos y confirmar los cambios morfológicos como resultado de distintos factores durante el periodo de estudio. Este estudio es una primera aproximación que puede ser de utilidad para la toma de decisiones sobre la gestión de riberas y de los espacios inundables en cauces próximos a urbanizar.

**Palabras claves:** dinámica fluvial, antropización, espacios inundables, gestión urbana.

## Abstract

The Napostá Grande Stream enters the city of Bahía Blanca (Argentina) through the northern peri-urban area. It has a meandering channel with intense anthropization. The stream drains its waters through the alluvial plain, whose topography facilitates the natural digression of the channel, causing its migration and change in morphological parameters, such as radio of curvature, amplitude or length of the axial axis and wavelength of the arc. These characteristics are related to the regime of erosion and sedimentation of the stream in addition to the periods of flooding that are caused temporarily. The present work of thesis analyzes the fluvial dynamics in the channel of the mentioned stream, during the period 1990-2016. In the first stage the morphology of the channel has been characterized considering the evolution of its geometric properties. In a second stage, the natural and anthropogenic factors that explain its behavior have been identified. The results obtained allowed us to interpret processes and confirm the morphological changes as a result of different factors during the study period. This analysis is a first approximation that can be useful for making decisions about the management of riverbanks and floodplains in near-urbanized channels.

**Keywords:** fluvial dynamics, anthropization, flood spaces, urban management.

## CAPÍTULO I

### **Introducción**

La geomorfología fluvial es definida por Strahler y Strahler (1989) como el resultado de procesos donde la acción del agua actúa como agente modelador que erosiona, transporta y deposita diversos materiales. Los ríos y arroyos al ser corrientes de agua que fluyen en un canal, constituyen los agentes modeladores más importantes y dinámicos que operan en un tiempo y espacio determinado (Strahler y Strahler, 1989). Como elemento geomorfológico el cauce es construido por el propio arroyo para el transporte de su caudal líquido y sólido y en él se evidencian claramente los procesos fluviales según un periodo de tiempo (Gutiérrez Elorza, 2008; Graf, 1988). Diez Herrero (2001) expresa que la mayoría de los sistemas fluviales actuales, en especial los tramos ribereños, no se encuentran en estado natural, sino que son intervenidos por las actividades humanas desde tiempos ancestrales, hecho que otorga complejidad a las interrelaciones y su interpretación. En la actualidad, la intervención del hombre en los espacios inundables modifica la funcionalidad hidrogeomorfológica de un curso fluvial. Esto representa un peligro para la ocupación humana de estos sectores al ser alterados por infraestructuras y usos del suelo que impiden el normal funcionamiento de erosión, transporte y sedimentación del río.

En el caso de las áreas periurbanas, por su condición de borde, están sometidas a transformaciones constantes provocadas por el crecimiento urbano (Serenó, 2017). Desde hace tiempo, el tramo del arroyo Napostá Grande que se extiende por el periurbano de la ciudad de Bahía Blanca, es ocupado y transformado para el desarrollo de diversas actividades humanas incidiendo sobre el funcionamiento hidrológico y su dinámica fluvial. Es por esto que, los estudios hidrogeomorfológicos de una zona urbana son elementos indispensables en cualquier planificación territorial, puesto que ponen en evidencia los cambios del medio físico, los agentes que lo provocan y el origen de los mismos (Ollero Ojeda, 2009).

### **1. Abordaje de la investigación**

#### **1.1. Planteamiento de la problemática y justificación de la investigación**

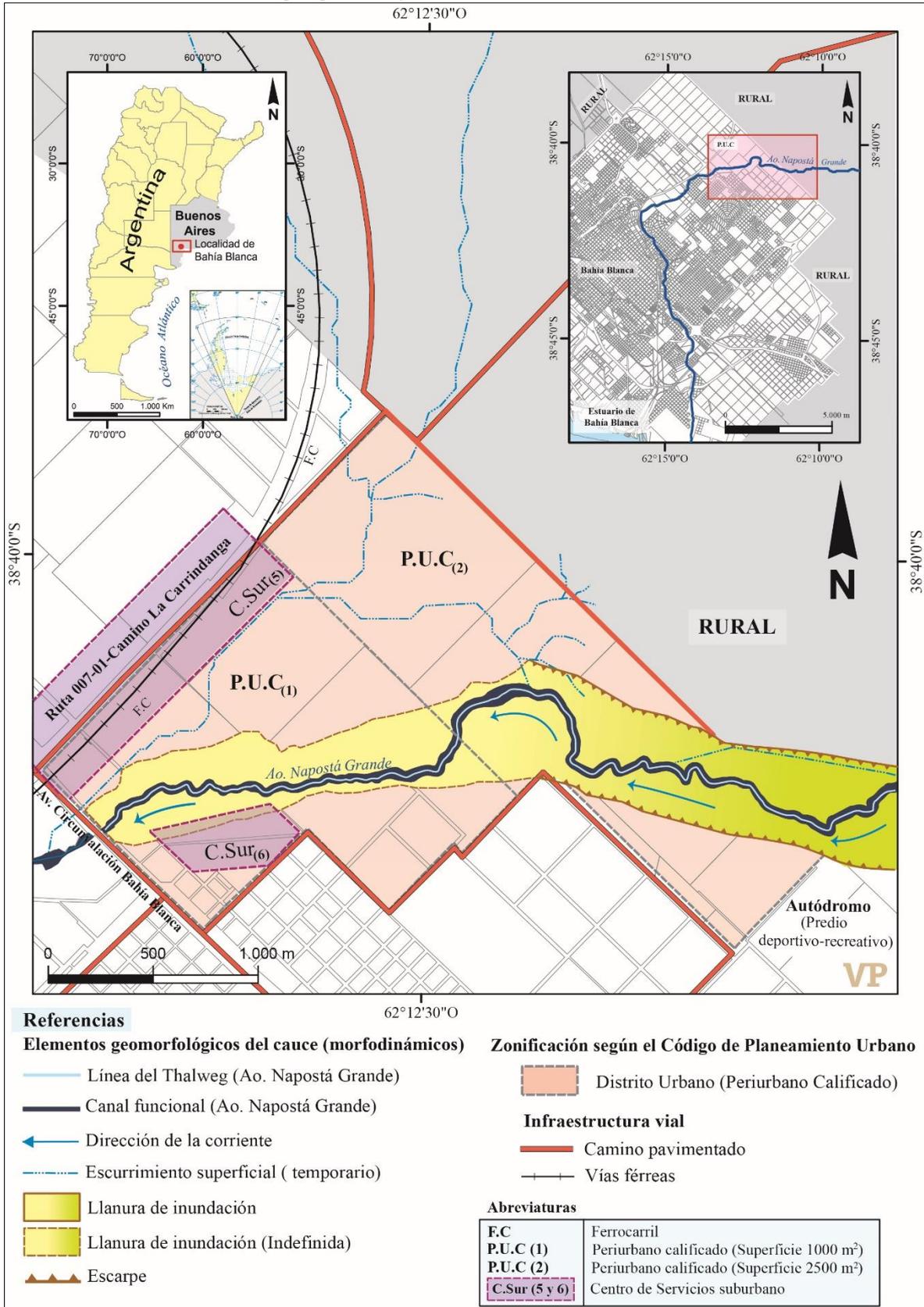
En la década de 1990, la ciudad de Bahía Blanca (Fig. 1) ubicada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), evidenció transformaciones en su estructura urbana como parte del proceso de expansión hacia los sectores periféricos, en especial hacia el norte. Este proceso de cambio producido por el avance de la urbanización fue impulsado en gran

medida por la culminación de obras viales tales como el Camino de Circunvalación Bahía Blanca y la avenida Alberto Cabrera, que mejoraron la accesibilidad del sector (Urriza, 1998; Zapperi, 2012; Urriza y Garriz, 2014; Urriza, 2016). En los últimos años, la expansión urbana se ha direccionado más allá del Camino de Circunvalación lo cual, ha planteado nuevos límites urbanos en la ciudad.

Esta tendencia encuentra concordancia con lo que propone el Plan Director del Periurbano Bahiense (Ordenanza Municipal 15.637 en el año 2010) cuyo objetivo principal es la recalificación del suelo urbano, complementario y rural. En el sector norte de este periurbano, desde mediados del siglo XIX, la presencia del arroyo Napostá Grande determinó la instalación de quintas hortícolas y complejos recreativos. Recientemente, el avance de la ocupación residencial y la retracción de la actividad hortícola generaron cambios en la cobertura y usos del suelo en este sector. Por otra parte, el cauce del arroyo Napostá Grande (caNG) al ingresar a la ciudad cambia de orientación de noreste a suroeste y si bien en un primer momento representó un obstáculo para la urbanización con el pasar del tiempo fue absorbido por la trama urbana (Urriza et al., 2011; Zapperi, 2012).

En los últimos años, el área de estudio es percibida como uno de los sitios de preferencia para el avance residencial. Esta abarca el tramo del arroyo Napostá Grande (4647 m de longitud) ubicado en el periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca (Fig. 1). El mismo es delimitado hacia el este por el Autódromo de la Asociación Empleados de Comercio, al oeste por la Avenida de Circunvalación Bahía Blanca. En este sector se producen inundaciones y anegamientos frecuentes debido al aumento de caudal en respuesta a eventos de precipitaciones intensas locales y regionales. Además, este espacio presenta diversas intervenciones sobre el cauce, tanto directas como indirectas, que modifican la dinámica natural del tramo fluvial. Esto se constituye en una problemática para futuras urbanizaciones que se prevé a partir de la recategorización del área como Distrito Periurbano Calificado (P.U.C), debido a que se encuentran afectados usos del suelo residenciales, recreativos y comerciales ubicados sobre la llanura de inundación. Esta tesis pretende explicar y generar conocimiento a priori sobre el funcionamiento hidrogeomorfológico de un espacio geográfico próximo a urbanizar. Se espera que los resultados sean útiles para realizar una adecuada gestión de riberas en cauces urbanos y periurbanos, tanto de esta ciudad como de ciudades intermedias atravesadas por tramos fluviales.

Figura 1  
Ubicación geográfica y delimitación del área de estudio



Fuente: Pirchi, V., 2019, sobre la base de Plano Urbano de la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca (2015) e imagen de Google Earth Pro. (2016) y S.I.G 250 de I.G.N.

## 1.2. Antecedentes bibliográficos

Desde la geomorfología clásica Leopold y Wolman (1957), Carlston (1965), Morisawa (1985), Schumm (1977), Frecaut y Pagney (1978), Collinson y Lewin (1983), Strahler y Strahler (1989), Gutiérrez Elorza (2008), Ollero Ojeda (2009), Conesa García, et al. (2012) y Vericat y Batalla (2016) han abordado estudios de cambios sobre el trazado de canales fluviales, a partir del análisis geométrico de las variaciones en planta como también sobre la base de interrelaciones dinámicas entre los parámetros que definen el canal. A nivel mundial, los estudios de la dinámica fluvial y el rol activo del hombre en los ríos se ven reflejados en la amplia variedad de contribuciones científicas y técnicas que atestiguan el comportamiento de los cursos de aguas ante perturbaciones en sus factores de control, destacándose Strahler (1964), Schumm (1969), Strahler y Strahler (1989), Downs y Gregory (1993), Conesa García, et al. (2012), Batalla y Tena (2016). En las últimas décadas, desde la hidrogeomorfología han cobrado protagonismo aquellos trabajos relacionados a los ajustes e interrelaciones del comportamiento hidrológico con los procesos y formas desarrollados a través del tiempo con especial atención a la intervención antropogénica. Muestra de este interés son los estudios de García Martínez y Baena Escudero (2006), Ollero Ojeda et al. (2009), Guerrero Amador et al. (2014), Ibisate et al. (2016). Al respecto, Gallegos Reina (2015) realizó la caracterización de tres cuencas fluviales periurbanas del litoral mediterráneo andaluz que responden a distintos modelos urbanísticos, hidráulicos e hidrológicos cuyo interés principal está asociada al riesgo de inundación. García Martínez (2015) analizó los cambios hidromorfológicos vinculados a la intervención antropogénica en el río Guadalquivir y sus afluentes en el tramo bajo, donde se plasman los resultados de la componente hidrogeomorfológica a través de modificaciones morfogenéticas, morfodinámicas y de evolución de trazados de cauces. Ibisate et al. (2016) han elaborado una serie de trabajos sobre la restauración de la geomorfología fluvial aplicados a la gestión del estado ecológico de determinadas cuencas de ríos de España que han sido intervenidos por el hombre. Díez et al. (2016) explican el origen y la dinámica de la madera muerta en los cauces y el papel que desempeña sobre la morfología y sobre los procesos ecológicos de los ríos proponiendo una metodología para su gestión. Noguera Corral (2018) estudió la evolución y dinámica del curso medio del río Ebro (España) en la que identificó factores naturales y antropogénicos que explican los cambios hidromorfológicos cuyo conocimiento ha sido de interés para la toma de decisiones en gestión del riesgo.

A escala nacional existen numerosos trabajos específicos sobre geomorfología fluvial, que incluyen análisis cuali-cuantitativo, en algunos casos modelos numéricos, de aspectos morfodinámicos, morfoevolutivos, hidrológicos, sedimentológicos y geoambientales de ríos y arroyos de diferentes ambientes geográficos argentinos. Entre ellos, Degiovanni et al. (2013) explican que la mayoría de los cursos fluviales del sur de Córdoba, presentan alteraciones en su funcionamiento relacionados a incisión y erosión lateral en cuenca media debido a causas naturales y antropogénicas. Los autores sugieren que su conocimiento es necesario para contribuir a la gestión sustentable de los espacios fluviales. Gallego et al. (2014) estudiaron los cambios en la cuenca media del río Arias (Salta, Argentina) a través del análisis comparativo de diversos parámetros y establecieron que las modificaciones en el trazado meandroso son consecuencia de procesos naturales como también de obras y actividades humanas. Magnante et al. (2014), analizaron las variaciones morfológicas-morfodinámicas del arroyo El Cano (Córdoba, Argentina) que incluye un análisis histórico evolutivo del canal, zonificándolo según su comportamiento morfológico y sedimentológico. En los últimos años, han cobrado interés los estudios hidráulicos en tramos fluviales para prevención de catástrofes y la implementación de medidas estructurales. Al respecto, Pez y Villalba (2015), Ochoa et al. (2016) y Sato (2016) efectuaron estudios de modelación hidráulica de áreas inundables con el propósito de su utilización en planificación urbana y en la prevención de riesgos hidrogeomorfológicos.

A escala local el abordaje de trabajos relacionados al arroyo Napostá Grande son numerosos y reflejan las diferentes disciplinas que trabajan en un mismo ambiente. González et al. (1988), realizaron la caracterización morfográfica y morfométrica detallada de la cuenca inferior, donde se utilizaron métodos de perfiles y modelos digitales del terreno para la obtención final de un mapa geomorfológico del área. Carrica (1998) efectuó un modelo conceptual integrado del sistema hidrológico de la cuenca que se constituyó como un instrumento de consulta para organismos dedicados a la planificación de políticas de explotación de los recursos hídricos. Pérez y Perillo (2002) estudiaron el transporte de sedimentos en el Napostá Grande, aplicando un análisis cuantitativo mediante diversas fórmulas para poder definir la relación entre caudal sólido y caudal líquido. Gaspari y Bruno (2003) efectuaron un diagnóstico cualitativo y cuantitativo de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca alta que permitió verificar un mal uso del suelo y en sectores de pendiente. Torrero (2005) realizó estudios sobre la influencia de la variabilidad hidroclimática en el desarrollo de las actividades antropogénicas en la cuenca inferior del

Napostá Grande y determinó que esta variabilidad permitió un aprovechamiento diferencial de los espacios próximos al arroyo. Fernando et al. (2009) estudiaron la potencialidad de un dique en la cuenca baja del arroyo Napostá como fuente para abastecimiento de agua potable y / o uso industrial. López et al. (2012) analizaron la calidad del agua del arroyo Napostá a partir de diferentes indicadores para determinar prioridades en la gestión del recurso. Mientras que, Cerana y Varela (2013) realizaron propuestas de revalorización del arroyo a través de su integración a la dinámica urbana de la ciudad de Bahía Blanca. Como base para el ordenamiento urbano, Gentili et al. (2013) mediante la utilización de herramientas S.I.G realizaron la identificación y demarcación de los elementos morfodinámicos del cauce Napostá Grande en un tramo que está expuesto al peligro de inundación. Santamaría y Aldalur (2014) contribuyeron a precisar la clasificación de ortofotomosaicos en el sector del valle inferior del Napostá Grande a partir del análisis estadístico de texturas en fotografías aéreas a escala grande para la definición de usos del suelo. Sin embargo, del relevamiento bibliográfico realizado no se han identificado para el área de estudio antecedentes sobre el análisis de la dinámica hidrogeomorfológica y su interacción con los usos del suelo.

### **1.3. Hipótesis de investigación**

La intervención antropogénica en el tramo del arroyo Napostá Grande en el sector periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca genera transformaciones en el diseño del cauce y acelera la dinámica hidrogeomorfológica.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

✓ Analizar la morfodinámica fluvial en un tramo del cauce Napostá Grande en el periurbano norte de Bahía Blanca y su vinculación con las intervenciones antropogénicas en el cauce durante el periodo 1990-2016.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- ✓ Caracterizar morfológicamente el cauce Napostá Grande para el tramo de estudio durante el periodo 1990-2016.
- ✓ Establecer una tipología del cauce en función de sus propiedades geométricas.
- ✓ Detectar cambios morfológicos en los meandros y determinar la dinámica de procesos erosivos y sedimentarios.
- ✓ Identificar los principales efectos morfodinámicos asociados a la intervención antropogénica en el cauce.

## CAPÍTULO II

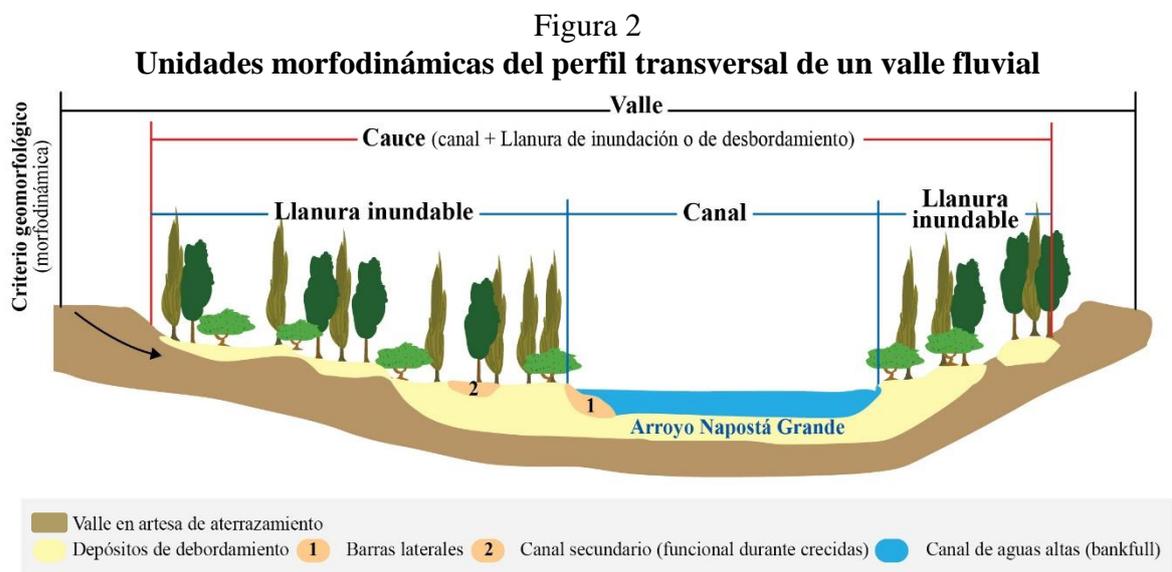
### 2. Metodología y técnicas

La metodología de trabajo empleada para alcanzar los objetivos propuestos comprendió la sucesión de distintas etapas llevadas a cabo a través de diversas técnicas.

#### 2.1. Criterios de delimitación del área de estudio

El área del tramo analizado (Fig. 1) se demarcó bajo dos criterios:

**1. Criterio geomorfológico- dinámico:** el cauce Napostá Grande comprende dos elementos geomorfológicos desde el punto de vista de su morfodinámica: el canal y la llanura de inundación (Fig. 2). Esta zonificación propuesta por Pedraza Gilsanz, (1996) permite la ordenación de la zona inundable de un valle fluvial.



Fuente: ilustración Pirchi, M.L., 2019 modificado de Pedraza Gilsanz, 1996 y adaptado al área de estudio.

**2. Criterio urbano-funcional:** se consideró como estudio al tramo del arroyo que forma parte del Distrito urbano Periurbano Calificado (PUC) desde el punto de vista del uso del suelo urbano (Fig. 1). Este distrito corresponde a la última propuesta de zonificación del Código de Planeamiento urbano de Bahía Blanca sancionada en el año 2010. Gran parte de este sector en transición con lo rural será destinada al desarrollo de uso residencial de baja densidad de ocupación sobre el valle fluvial.

#### 2.2. Revisión de la literatura

Con el fin de recoger información del área de estudio y plantear objetivos e hipótesis de trabajo, se recopilaron datos e información bibliográfica publicada en libros, tesis, revistas

científicas, textos de cátedra, prensa local (Diario La Nueva Provincia), sitios de internet, informes técnicos, documentos cartográficos y fotográficos. También se realizaron consultas a distintos profesionales relacionados con el tema y área de investigación. Del análisis de las diversas fuentes de información se realizó la correlación con el tema de investigación.

### 2.3. Fotografías aéreas e imagen satelital

Para la conformación de la cartografía base se utilizaron los siguientes documentos cartográficos otorgados por la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca:

- a) Plano urbano de Bahía Blanca en formato CAD, año 2015.
- b) Fotografías aéreas pancromáticas en formato digital con una resolución de 600 dpi, que corresponden a los vuelos fotogramétricos indicados en la Tabla I.

Tabla I  
Vuelos fotogramétricos efectuados en Bahía Blanca

Fecha de vuelo (Año)	Vuelo	Escala	Fotos utilizadas
Año 1959	-----	1: 20.000	2 fotos
12 de octubre de 1990	C-153.34	1: 5.000	11 fotos
10 de mayo de 2000	C-153.12	1: 5.000	12 fotos
16 de junio de 2006 <sup>1</sup>	C-153.31	1: 5.000	12 fotos

Fuente: Pirchi, V., 2019.

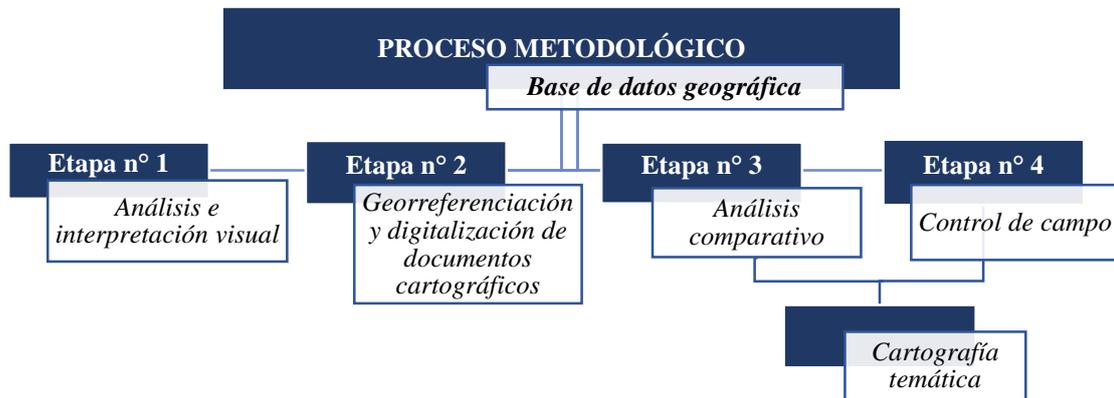
Para el análisis de las condiciones actuales del área estudio se utilizó como base cartográfica, un mosaico de imagen satelital obtenida del Google Earth Pro con fecha 27-02-2016. La elección de dicha fecha se debe a la buena calidad de la imagen y nivel de resolución apto para realizar el análisis visual acorde a los objetivos planteados.

### 2.4. Sistema de Información Geográfica (S.I.G) y cartografía temática

El estudio relacionado a los cambios en los elementos morfodinámicos del cauce y su caracterización morfométrica se realizó a partir de la implementación de un software de S.I.G que permitió la sistematización de los resultados a través de una base de datos geográfica. La evolución del cauce fluvial se determinó a partir de análisis comparativo mediante el uso de fotografías aéreas e imagen satelital georreferenciadas y observaciones de campo (Fig. 3).

<sup>1</sup> El año 2006 corresponde al último vuelo fotogramétrico efectuado para la ciudad de Bahía Blanca. Se continúa con el uso del Google Earth Pro y drones para vuelos catastrales en dicha ciudad.

Figura 3  
**Proceso metodológico para la obtención cartográfica**



Fuente: Pirchi, V., 2019.

#### 2.4.1. Etapa 1: Análisis e interpretación visual

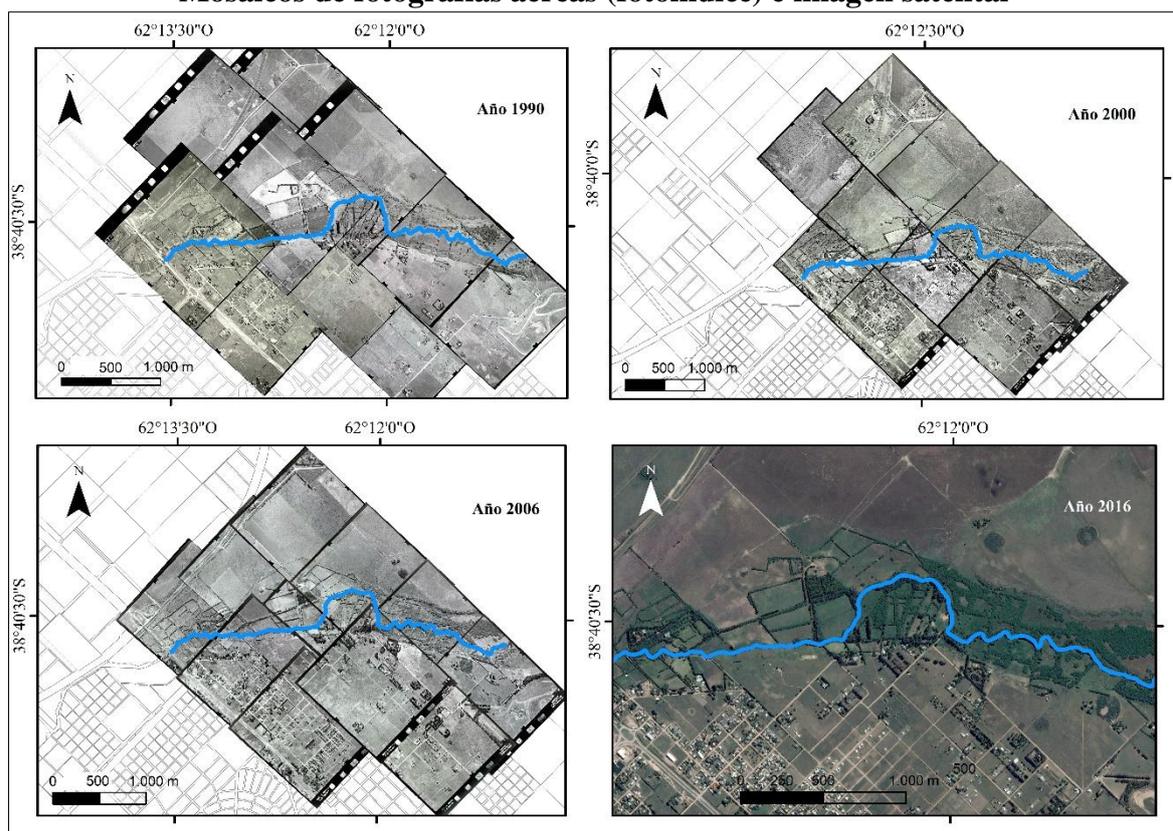
Sobre la base de fotografías aéreas e imagen de Google Earth Pro se llevó a cabo una visualización detallada del área estudio con el propósito de su representación cartográfica. Para esto se elaboraron mosaicos de cada vuelo fotogramétrico en formato papel utilizando la técnica tradicional del acetato con simbología propia. Se reconocieron y establecieron elementos de origen fluvial y antropogénicos basados en los criterios de fotointerpretación clásica relacionadas al tono, textura, patrón, forma y tamaño (Chuvieco, 1995). En la visualización se dio especial atención en observaciones referentes a aspectos de geometría (morfometría) e interpretación relacionada a formas del relieve (valle, terraza, canal, llanura de inundación). Además, los vuelos fotogramétricos por su calidad y detalle permitieron distinguir elementos antropogénicos recientemente establecidos, tales como urbanizaciones, cobertura vegetal y canalizaciones. Finalmente, la información obtenida de la fotointerpretación en papel se integró en el S.I.G para su digitalización y tratamiento digital.

#### 2.4.2. Etapa 2: Georreferenciación y digitalización

Los documentos cartográficos mencionados fueron georreferenciados según el Sistema de Proyección de Coordenadas Planas UTM (Universal Transversa Mercator), zona 20°S y Datum universal WGS84 (World Geodetic System 1984). Una vez definida la proyección se integró al software ArcGis versión 10.2 la información obtenida de la fotointerpretación en papel. Para la georreferenciación y armado de los diferentes mosaicos (fotoíndice) se consideraron 31 puntos de control marcados tanto en las fotografías aéreas como en la imagen satelital del Google Earth Pro. Posteriormente, se efectuó el armado de los diferentes mosaicos examinados (Fig. 4) y sobre estos se digitalizaron los elementos de interés.

De manera previa a la digitalización, se delimitó el cauce y se establecieron las capas de información según grupos temáticos analizados. En la digitalización del tramo se verificó que, tanto el punto de inicio como el punto final del talweg coincidan en todos los años como así también los meandros seleccionados. En segunda instancia se identificaron, delinearon y digitalizaron los elementos morfodinámicos del cauce, la vegetación según su ubicación en el canal o llanura de inundación y elementos de antropogénicos.

Figura 4  
Mosaicos de fotografías aéreas (fotoíndice) e imagen satelital



Fuente: Pirchi, V., 2019 sobre la base de fotomosaicos 1990, 2000, 2006 e imagen del Google Earth Pro 2016. En la figura el trazo azul indica el canal principal del arroyo Napostá Grande.

### 2.4.3. Etapa 3: Análisis comparativo

El análisis espacio-temporal se realizó de acuerdo con el método de comparación y superposición de capas de información vectorial. La superposición se efectuó para las unidades morfodinámicas del cauce tales como el canal y la llanura inundable. Se consideró el periodo 1990 a 2016 cuyos intervalos de tiempo [1990-2000]; [2000-2006], [2006-2016] se establecieron acorde a 1) los vuelos fotogramétricos catastrales (Tabla I), 2) la imagen de Google Earth Pro y 3) los años de cambios en la dinámica urbana. Por otra parte, el método comparativo fue necesario para reconocer fundamentalmente los cambios y continuidades en el cauce.

#### **2.4.4. Etapa 4: Control de campo**

Esta etapa consistió en la observación y comprobación directa de los cambios y continuidades del cauce desde la percepción de las condiciones actuales de la dinámica fluvial. La observación se utilizó como base de fundamentación e interpretación y /o verificación del comportamiento hidrogeomorfológico del espacio geográfico analizado. Para ello, se realizaron diversas observaciones directas con toma de fotografías de los procesos erosivos y sedimentarios durante crecidas y estiajes como confirmación del comportamiento hidrodinámico del flujo del caNG. Este control de campo fue realizado a lo largo de todo el periodo de realización de tesis con una frecuencia de 3 controles por año.

#### **2.5. Caracterización hidrogeomorfológica**

Como unidades de análisis para la caracterización se subdividió el tramo estudio en tres secciones según sus características geomorfológicas y funcionalidad actual (Fig. 14, capítulo 5). A su vez, la caracterización hidrogeomorfológica comprendió dos tipos de análisis (Tabla II): el morfométrico, relacionado a la forma en planta del canal y la geometría del cauce y el morfodinámico, relacionado a procesos fluviales junto con la identificación y determinación de los procesos de erosión y sedimentación que afectan la forma y evolución del cauce.

##### **2.5.1. Análisis morfométrico**

El estudio morfométrico se realizó mediante el análisis de la sinuosidad del cauce, las características geométricas de los meandros y el análisis de las secciones transversales del cauce. Esto permitió establecer la tipología de la corriente en el tramo como base para el estudio morfodinámico de los procesos fluviales (Pedraza Gilsanz, 1996). Las variables morfométricas consisten en (Tabla III):

- (a) Parámetros de sinuosidad que corresponden a la longitud del talweg ( $L_c$ ) y longitud del valle ( $L_v$ ). Estos muestran la divagación de la corriente respecto a la línea del valle del río y son las medidas necesarias para determinar el índice de sinuosidad (Gallego et al. 2014).
- (b) Parámetros de forma como la longitud de onda de meandros, radio de curvatura y amplitud del arco del meandro. Estos representan las características morfológicas del canal funcional y dinámicas de los meandros (Pedraza Gilsanz, 1996).

Estos parámetros (a y b) se evalúan año a año y las variaciones de estos, determinan el tipo de movimiento y variación que ha tenido el trazado del canal y los meandros a lo largo del tiempo considerado.

Tabla II

**Síntesis para la caracterización hidrogeomorfológica del cauce**

<p><b>Morfodinámica fluvial<sup>2</sup></b> <b>Base de datos:</b> Fotografías aéreas e imagen de Google Earth Pro., información topográfica, muestras granulométricas y observación de campo.</p>	Análisis morfométrico	<i>Parámetros y/o atributos</i>			
	<b>Forma en planta</b>	<b>Sinuosidad del cauce</b> <i>(Índice de sinuosidad)</i>		- Longitud del valle ( $L_v$ ) - Longitud del canal ( $L_c$ )	
		<b>Geometría de Meandros</b>		- Amplitud de la onda ( $A_m$ ) - Longitud de onda ( $\lambda$ ) - Radio de curvatura ( $R_c$ )	
	<b>Geometría del cauce</b>	<b>Sección transversal del cauce (topo-batimetría)</b>			
		<b>Batimetría (topografía del lecho)</b>		<b>Nivelación topográfica</b>	
		<b>Canal</b>	- Anchura (m) - Profundidad (cm)  <b>Observación.</b> Los sondeos de las cotas batimétricas se realizaron al nivel del agua.	<b>Canal + Llanura de inundación</b>	- cotas (m.s.n.m) - distancia (m)
	Análisis morfodinámico	<i>Parámetros y/o atributos</i>			
	<b>Evolución de las unidades morfodinámicas del cauce</b>	<b>Cambios de cobertura vegetal</b>			
		<b>Vegetación del cauce</b>		- Superficies (en hectáreas)	
		<b>Cambios morfológicos</b> <i>(morfodinámica fluvial por procesos de erosión – sedimentación)</i>			
<b>Tasa de migración fluvial anual</b> $(T_{ma})$		Relaciona la distancia recorrida por el canal y el tiempo que tarda en producirse el desplazamiento. Se calculó a partir de la fórmula de velocidad media de vector:  $T_{ma} = \overline{\Delta d} / \Delta t_i$			
Canal + Llanura de inundación		<b>Cambios topográficos a partir de planimetría (fotografías aéreas)</b> $(\Delta d_t)$		Relaciona los cambios en las distancias de desplazamiento del vector entre dos periodos temporales $t=1$ y $t=2$ .  $\Delta d v_t = \overline{d_{v(t1)}} - \overline{d_{v(t2)}}$	

Fuente: Pirchi, V., 2019 sobre la base de criterios geomorfológicos de (Batalla y Tena, 2016).

<sup>2</sup> La morfodinámica fluvial es el estudio de los procesos erosivos y sedimentarios que afectan la forma y evolución de los cauces (Batalla y Tena, 2016).

Tabla III  
Operaciones de cálculos en fotogrametría

Parámetros

Cálculo

Fotografía aérea

Relación entre la medida de la longitud del talweg (Lc) y la longitud del valle (Lv).  $IS = Lc/Lv$

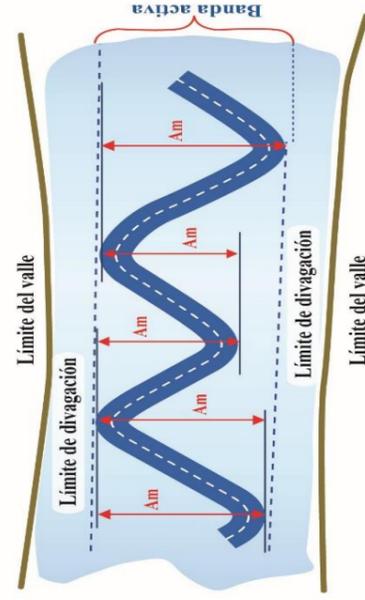
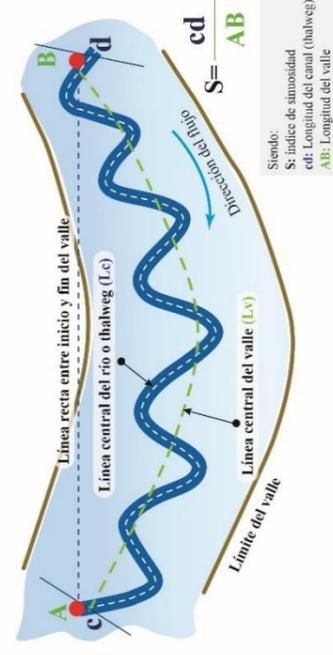
Siendo:

(a) Sinuosidad

$IS =$  Índice de Sinuosidad

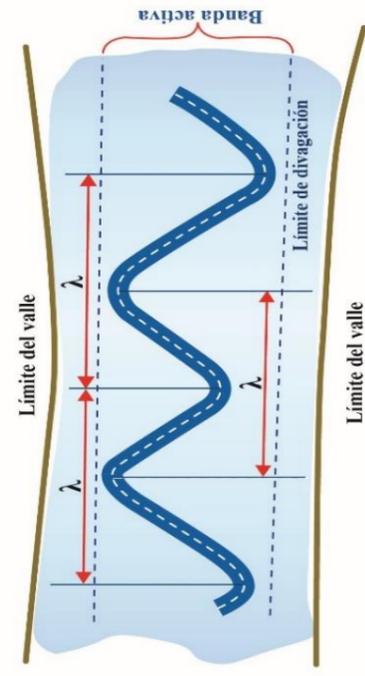
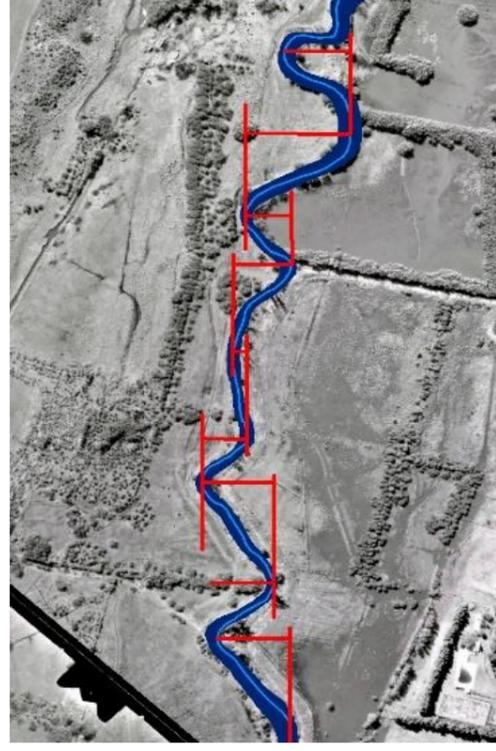
$Lc =$  Longitud del canal (talweg)

$Lv =$  Longitud del valle



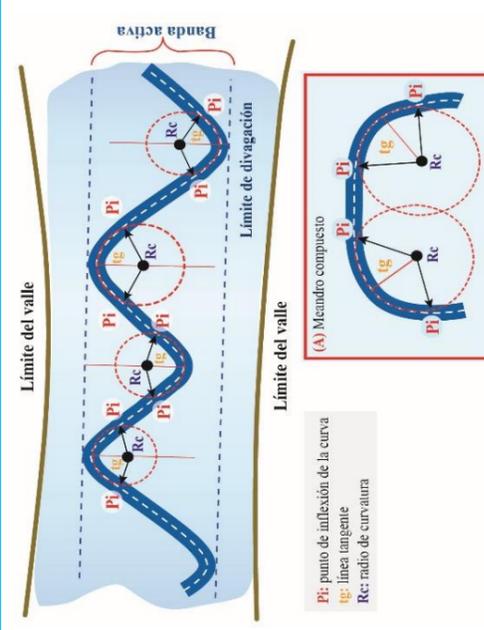
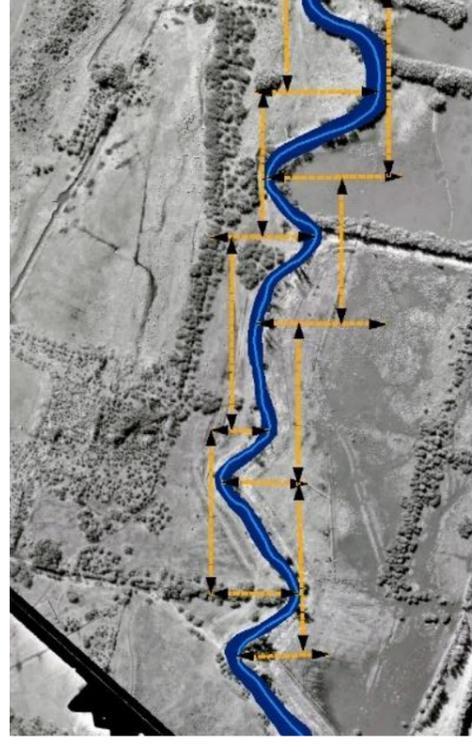
(b) Amplitud de meandro (Am)

Distancia lateral (perpendicular a la línea del valle) entre los bordes cóncavos de dos meandros consecutivos que ocupan los lados opuestos del valle.



(b) Longitud de onda (λ)

Distancia longitudinal paralela a la línea de caída del valle entre el vértice de dos meandros secuenciales.



(b) Radios de Curvatura (Rc)

Distancia desde el margen exterior del canal (cóncavo) hasta el punto de intersección de las dos líneas que perpendicularmente cortan las líneas tangentes de cada punto de inflexión de la curva. Las mediciones tomadas en curvas compuestas (A) se obtiene del promedio de los Rc del meandro compuesto.



Fuente: Pirchl, V., 2019 sobre la base de las técnicas de medición de Gallego et al., 2014

Existen diversos métodos de clasificación referidos a tipología de ríos de canales simples los que permiten caracterizar la curvatura del cauce en un tramo específico. Sin embargo, para establecer el trazado general de la corriente del arroyo Napostá se aplicó la clasificación propuesta por Batalla y Tena (2016). Estos autores adaptaron la clasificación de tramos fluviales sobre la base de los rangos del Índice de Sinuosidad (IS) de Leopold y Wolman (1957), (Tabla IV). A partir de ello, se consideran rectilíneos los tramos con valores del IS próximos a 1. Canales de baja sinuosidad cuando los valores se sitúan entre 1 y 1,3. Canales sinuosos o meandriforme cuando los valores del IS están entre 1,3 y 1,8. Por último, los canales tortuosos se identifican cuando los valores del IS son mayores a 1,8. La utilización de este criterio tipológico permitió el análisis de los cambios en la forma del cauce.

Tabla IV

#### Clasificación de canales fluviales basada en sus propiedades geométricas

Tipo de canales (simples)	Sinuosidad (IS)
Rectilíneo	$S < 1$
Baja sinuosidad	$1 < S < 1,3$
Sinuoso o Meandriforme	$1,3 < S < 1,8$
tortuoso	$S > 1,8$

Fuente: Batalla y Tena, 2016 establecido para tramos fluviales en base a rangos de sinuosidad de Leopold y Wolman, 1957.

#### 2.5.1.1. Perfil topográfico del cauce y batimetría del canal

Para el análisis de la geometría del cauce se efectuaron perfiles topográficos con el interés de determinar los cambios morfológicos del curso de agua y verificar los procesos fluviales actuales. Éstos se realizaron transversales al cauce en diversos puntos localizados en las tres secciones del tramo fluvial. En la elección del sitio en que se realizó la medición se tuvo en cuenta la accesibilidad al cauce, ya que el tramo cuenta con dificultades de ingreso por la densa vegetación de ribera y terrenos privados.

#### Método topo-batimétrico:

Existen diferentes métodos para la realización de perfiles topográficos. En esta tesis se utilizaron dos de ellos: **(a)** Perfil topográfico con la técnica de nivelación cuya obtención de la información topográfica se realizó con nivel óptico, cinta métrica, reglas topográficas, distanciómetro y GPS. Este perfil está determinado por las variables cota (altitud) y distancias horizontales del terreno. **(b)** Perfil batimétrico con la técnica de cuerda-contrapeso guiado (escandallo). Este perfil está determinado, principalmente, por las

variables profundidad y ancho del conducto de agua. A continuación, se describe el procedimiento de medición.

**Equipo:** Escandallo

Este equipo de medición consiste en un peso de plomo (plomada de 2 kg), sujeto con una cuerda de nylon trenzado, el cual se lo introduce en un tubo de PVC rígido para alcanzar distancias horizontales de hasta 5 m y realizar sondeos verticales a profundidades mayores de 10 m (Fig. 5). Los sondeos verticales permitieron caracterizar la irregularidad de la topografía del lecho del canal meándrico.

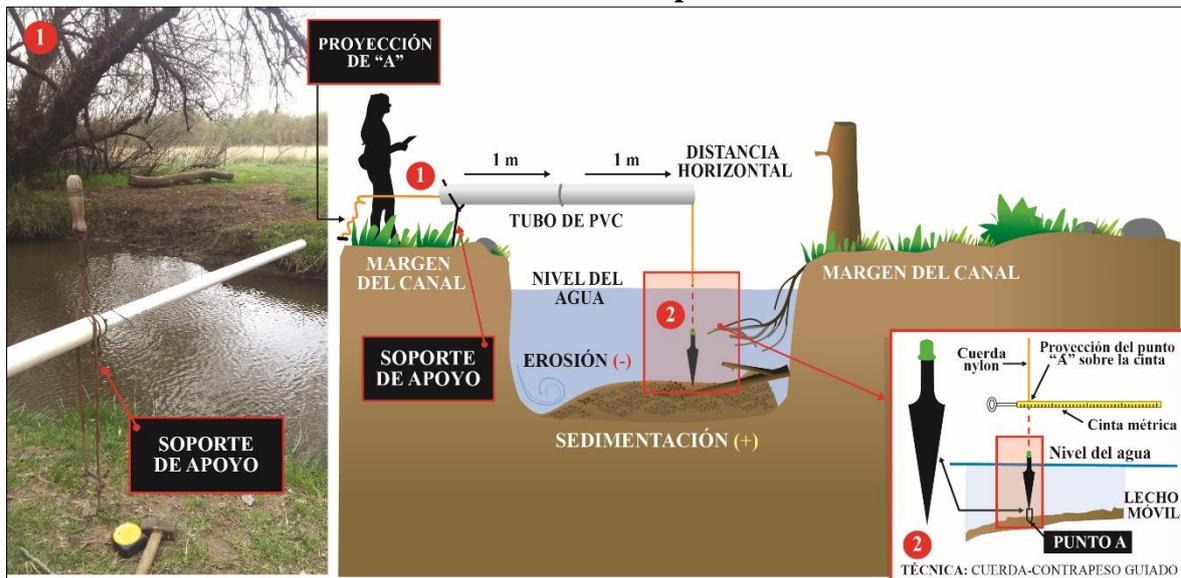
**Operación:** en cuanto al procedimiento de medición en campo, con el fin de realizar un sondeo cada 1 m se realizaron sobre el tubo que contiene la cuerda y la plomada marcas visibles equidistantes cada 1 m. A su vez, el mismo se colocó sobre un soporte ubicado en la orilla del arroyo para facilitar la medición horizontal hasta una distancia de 5 m. Una vez ubicada la posición de sondeo, se deja deslizar la plomada hasta que alcance la profundidad del fondo (la cuerda debe quedar tensa). Luego, se marca la cuerda a la salida del tubo (A) y se lo comienza a recoger hasta que la cabeza de la plomada (verde) asome sobre la superficie del agua (se identificara este nuevo punto A proyectado) sobre la cuerda. De esta manera, se identifica a éste como un nuevo punto proyectado sobre la cuerda por lo que quedan definidos dos segmentos: 1) segmento directamente proporcional a la distancia del fondo y 2) segmento mojado de la cuerda (segmento rojo punteado que se indica en la figura 5).

**Ponderación del error:** en la medición realizada se incluyen los siguientes errores y su estimación correspondiente según Norma de Calidad ISO9001/2015 –ítems –7.1.5:

1. *Instrumento o dispositivo:* son los errores que aportan la cinta métrica, hilo de nylon trenzado y la plomada. Error despreciable.
2. *Observador:* son los errores producto de la agudeza visual del operador, apoyo y posición del tubo guía. Error  $\pm 4\%$ .
3. *Medio ambiente:* son errores que se introducen por la temperatura, velocidad del viento, caudal del arroyo, tipo de corriente (laminar o turbulenta) y tipo de sedimento del fondo del canal (sedimento tamaño fino, madera muerta, bloques desprendidos o escombros). Error  $\pm 1\%$ .

**Criterio de aceptación:** considerando el uso de la presente información y tomando como válido que la misma es solo orientativa para determinar los procesos dinámicos del arroyo, resulta adecuado definir un criterio<sup>3</sup> de Error máximo del  $\pm 5\%$ .

Figura 5  
Técnicas e instrumentos de medición para batimetría del canal



Fuente: ilustración Pirchi, M.L., 2019. Fotografía: Pirchi, V., 2018.

### 2.5.2. Análisis morfodinámico

En primer lugar, se establecen las unidades morfodinámicas del caNG. Para ello, se toma el criterio geomorfológico de Pedraza Gilsanz (1996) quién considera que el cauce está comprendido por el canal y la llanura de inundación. En segundo lugar, sobre estas unidades se determinaron la superficie cubierta por vegetación de ribera según su ubicación en el cauce y el comportamiento dinámico de los meandros en cada sección del tramo. El método utilizado consiste en el cálculo de los cambios de superficies de cobertura vegetal como también en las distancias de desplazamiento del canal meándrico. Para ello, se ha considerado la información obtenida de los mosaicos en los diferentes intervalos de tiempo.

#### 2.5.2.1. Superficie cubierta por vegetación

Para analizar los cambios de la cobertura vegetal se identificó y digitalizó la vegetación del cauce según su ubicación en el canal o en la llanura de inundación para cada año clasificado. Luego se calculó la superficie cubierta por vegetación para detectar los cambios espaciales y comparar entre los intervalos de tiempo: 1990-2000; 2000-2006 y 2006-2016. A partir de esto, se efectuó el análisis comparativo de las áreas de cambio de cobertura vegetal con

<sup>3</sup> El criterio de error fue determinado con el asesoramiento del Ing. Pirchi, M.

reconocimiento de las condiciones actuales a través de salidas de observación directa en el terreno y toma de fotografías en periodos de estiaje y en crecidas.

### 2.5.2.2. Método de cálculo de tasas de migración y procesos fluviales

El análisis de la evolución morfodinámica se determinó a partir de la estimación de los cambios morfológicos del cauce asociados al periodo que transcurre entre las fechas de toma fotográfica. En este sentido, las fotografías aéreas permiten cartografiar unidades morfológicas como, por ejemplo, el talweg y los meandros y a partir de la comparación de estas unidades a través del tiempo se pueden estimar los procesos erosivos y de sedimentación (Fig. 6). Para ello, se aplicó la fórmula de la velocidad media de un vector<sup>4</sup> [1] para el cálculo de la tasa de migración del canal [2]. La fórmula [1] se define como la razón de la distancia desplazada por un vector dividido por el tiempo de recorrido.

$$\vec{v}_m = \vec{\Delta}_r / \Delta t \quad [1]$$

**Siendo:**  $\vec{v}_m$ : velocidad media de un vector;  $\vec{\Delta}_r$ : desplazamiento del vector (distancia recorrida);  $\Delta t$ : tiempo empleado (tiempo recorrido).

La fórmula [2] se define de la misma forma solo que se expresa en distancia recorrida por el canal (expresada en metros) y el tiempo (expresado en años) que tarda en producirse dicho desplazamiento (Quintana Cobo, 2015). Como resultado se obtuvo los metros en que el canal se desplaza por año y las distancias de desplazamientos de los componentes del meandro en un espacio determinado.

$$T_{ma} = \vec{\Delta}_d / \Delta t_i \quad [2]$$

**Siendo:**  $T_{ma}$ : tasa de migración fluvial anual;  $\vec{\Delta}_d$ : distancia recorrida por el canal;  $\Delta t_i$ : tiempo que tarda en desplazarse

Por otro lado, para cuantificar los cambios morfológicos a partir de la planimetría se utilizó la fórmula [3] (Vericat y Batalla, 2016) y se la adaptó a los parámetros medidos para el tramo objeto de estudio [4].

$$\Delta A_t = A_{ti} - A_{ti+1} \quad [3]$$

**Siendo:**  $\Delta A_t$ : cambio en la superficie expuesta en un tramo T entre dos periodos, de  $t=i$  a  $t=i+1$ ;  $A_{ti}$ : área ocupada por todas las unidades morfológicas en el periodo  $t=i$ ;  $A_{ti+1}$ : área ocupada por todas las unidades morfológicas en el periodo  $t=i+1$ .

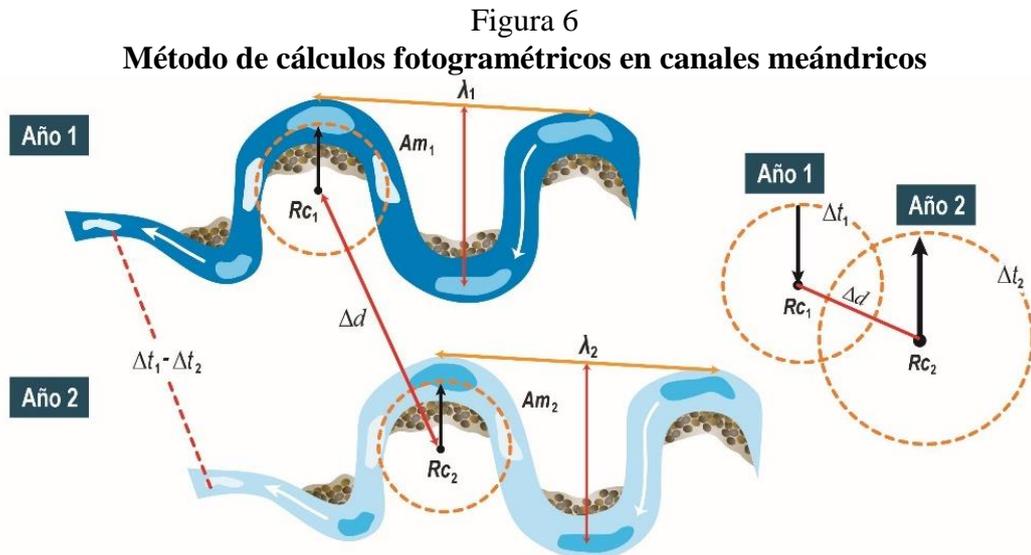
---

<sup>4</sup> Todos los cambios de posición de un vector se realizan en un cierto intervalo de tiempo. Se consideró como **vector** a las medidas de longitud de los radios de curvatura, amplitud y longitud de onda las que fueron calculadas y vectorizadas en el programa ArcGis.

El cálculo se obtiene a partir de información planimétrica de la interpretación de fotografías aéreas o información topográfica histórica disponible. En su resultado, al comparar las diferencias de reducción o aumento en las medidas de distancias ( $Rc$ ,  $Am$  y  $\lambda$ ) entre los intervalos de tiempo se obtuvo el cambio morfológico y el proceso fluvial dominante. Asimismo, si las diferencias en las medidas de distancias son negativas (ej. -1 m) entre los intervalos temporales, entonces el proceso dominante en ese tiempo será la erosión y si son positivas (ej. +1m) será de sedimentación.

$$\Delta dv_t = \overrightarrow{d_{v(t1)}} - \overrightarrow{d_{v(t2)}} \quad [4]$$

**Siendo:**  $\Delta dv_t$ : cambio morfológico entre dos periodos de tiempo  $t=1$  a  $t=2$ ;  $\overrightarrow{d_{v(t1)}}$ : distancia de desplazamiento del vector 1 en el periodo  $t=1$ ;  $\overrightarrow{d_{v(t2)}}$ : distancia de desplazamiento del vector 2 en el periodo  $t=2$ ;  $(t1) - (t2)$ : tiempo que tarda en desplazarse el vector 1 y 2.



Fuente: ilustración Pirchi, M.L., 2019, criterio modificado de Granado et al. (2011) y Vericat y Batalla (2016).

## CAPÍTULO III

## 3. Marco teórico

## 3.1. El sistema fluvial y las escalas de análisis

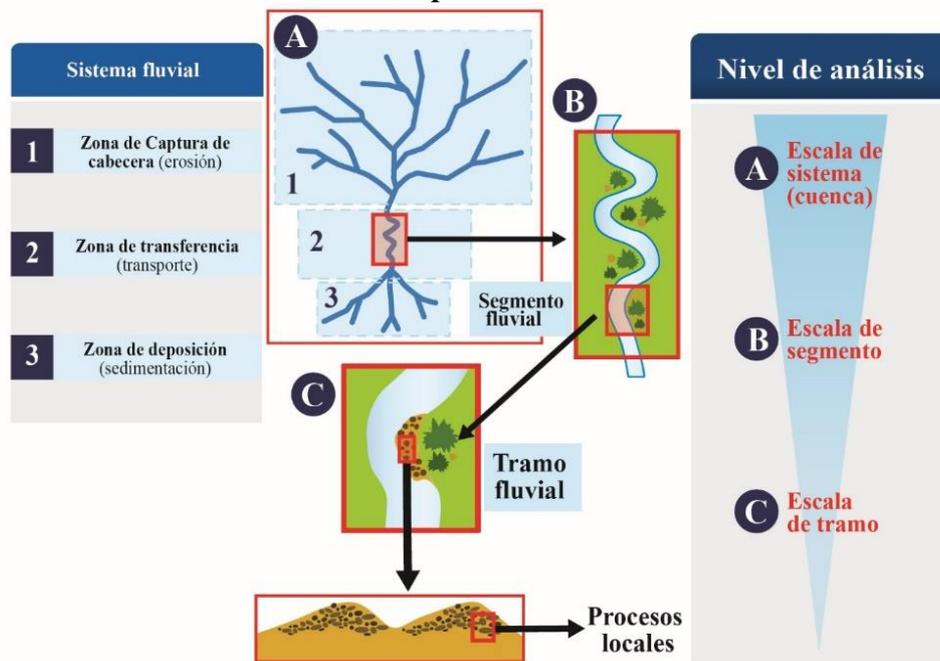
Charlton (2008) define al sistema fluvial como un sistema jerárquico compuesto por subsistemas que operan entre sí, siendo la cuenca de drenaje la unidad básica. Piegay y Schumm (2003) determinan dos componentes físicos principales: 1) el sistema morfológico de canales, llanuras aluviales, interfluvios, etc y 2) el sistema en cascada de flujos de agua y sedimento. Esta unidad sistémica cambia progresivamente a través del tiempo geológico y humano (escalas temporales) y estos cambios pueden reflejarse a diferentes niveles espaciales (Tabla V). En este sentido la cuenca hidrográfica se puede dividir según Schumm (1977) en tres zonas (Fig. 7) sobre la base de los procesos hidrosedimentarios que operan en cada una de ellas.

Tabla V  
Contexto hidrosedimentario del sistema fluvial a escala de cuenca

Nivel espacial	Unidad espacial	Zonas hidrosedimentarias	Características hidrogeomorfológicas
<b>Cuenca alta</b>	<i>Segmento/Tramo superior</i>	<i>Zona de producción</i>	- área de producción de escorrentía y sedimentos. Según Pedraza (1996) esto es producto del exceso energético que permite la excavación y transporte, generándose así la erosión permanente de las cabeceras del sistema fluvial.
<b>Cuenca media</b>	<i>Segmento/Tramo intermedio</i>	<i>Zona de Transferencia</i>	- al ser un nivel transitorio es una zona de transferencia de la energía y dependiendo de los caudales (líquidos y sólidos) predomina el transporte con alternancias de excavación y relleno.
<b>Cuenca baja</b>	<i>Segmento/Tramo inferior</i>	<i>Zona de Sedimentación</i>	- se ubica cercano al nivel energético mínimo o nivel de base, por lo que la corriente no puede erosionar y tiende a disipar la energía de manera que predomina la sedimentación y relleno.

Fuente: Pirchi, V., 2019 sobre la base del sistema fluvial de Schumm (1977).

Figura 7  
Las escalas espaciales en el análisis fluvial



Fuente: ilustración Pirchi, M.L., 2019 modificado de Schumm, 1977.

Por otra parte, Petts y Amoros (1996) explican que el sistema fluvial puede organizarse en diferentes niveles geomorfológicos: 1) cuenca hidrográfica; 2) zona funcional de procesos (*funcional process zone – FPZ*); 3) tramo fluvial (*river reach*); 4) segmento funcional (*funcional set*); 5) unidad funcional y 6) mesohabitat. Estos autores indican que en el caso del tramo fluvial las propiedades morfológicas pueden incluir parámetros como pendiente local, tamaño del sedimento de fondo y forma de la sección trasversal. Su interrelación suele indicar el grado en que sus propiedades dinámicas se relacionan. Por ello, un incremento en la pendiente local implicaría una reducción en la relación profundidad/ancho del canal.

La superposición de estas escalas de análisis propuestas por Schumm (1977) y Petts y Amoros (1996) permitió el abordaje hidrogeomorfológico de un tramo de la cuenca baja del arroyo Napostá Grande realizado en esta tesis.

### 3.2. Los ríos como principales agentes de la dinámica fluvial

En términos de dinámica fluvial, los ríos cumplen la función de aportar a los océanos agua y sedimentos provenientes de los continentes y son los agentes de erosión y transporte que modelan la superficie terrestre (Knighton, 1998). Su forma es el resultado de la interacción de procesos fluviales de erosión, transporte y sedimentación controlados, especialmente por los caudales, el régimen de crecidas, el transporte de sedimentos y la vegetación en el cauce, incluida también la madera muerta (Batalla y Tena, 2016).

Los ríos y arroyos constituyen sistemas naturales dinámicos y complejos, en ajuste permanente en el espacio y en el tiempo ante las fluctuaciones de sus caudales líquidos y sólidos, lo cual se manifiesta en una movilidad lateral y vertical (Ruíz Chacón, 2018) del canal según el tramo analizado. Existe una búsqueda constante de equilibrio a través del ajuste del cauce, de su perfil longitudinal y transversal a los cambios de caudal de agua y sedimento. En ríos antropizados las modificaciones introducidas tienen alta capacidad de modificar el funcionamiento hidrológico y de la dinámica fluvial (Ollero Ojeda, 2007) de toda la cuenca y del río en particular. Esta movilidad o variación simultánea en la morfología global constituye un mecanismo de equilibrio morfológico (auto-ajuste) del sistema fluvial que con los años da lugar a una estabilidad relativa (Conesa García y Pérez Cutillas, 2014).

Así, el análisis de la dinámica de los ríos requiere de un enfoque sistémico dado que la complejidad del sistema se ve afectada por numerosos factores que controlan su desarrollo y evolución. De esta manera, el tramo de un río no puede aislarse del resto, sino que es parte de un complejo hidrosistema al incluir en su funcionamiento hidrogeomorfológico cuatro dimensiones interconectadas (Fig. 8): longitudinales, transversales o laterales, verticales y temporales. Diversos autores como Ollero Ojeda y Romeo (2007); Gutiérrez Elorza (2008); Horacio (2015), Díez y Ibisate (2018), entre otros ofrecen una clara definición de las diferentes dimensiones fluviales para abordar el análisis de un tramo fluvial o segmento funcional:

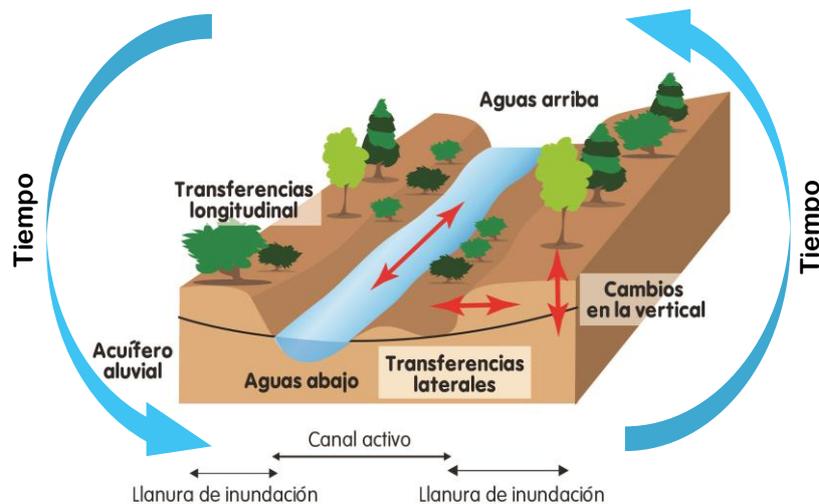
**1. Dimensión longitudinal:** se refiere al recorrido longitudinal del río siguiendo la máxima pendiente desde aguas arriba (cabeceras) a aguas abajo (desembocadura). A escala de cuenca, la estructuración en tramos en el sistema fluvial considera una dinámica diferencial controlada por gradientes energéticos según el sector del curso fluvial (Tabla V). En su recorrido transfieren energía, materia y biota.

**2. Dimensión lateral:** se refiere a todo el espacio inundable por el río considerando al canal, llanuras de inundación y pendientes. Esta dimensión es bastante compleja ya que está relacionada con los intercambios de energía, materia y biota entre el curso de aguas y las zonas aluviales ribereñas. Engloba a todos los ecosistemas interactuantes que forman parte del sistema fluvial en un punto concreto de la red de drenaje: canales funcionales principales y secundarios, brazos muertos, cauces abandonados, bosques de ribera (incluidos en canal y llanura inundable), zonas pantanosas, etc.

**3. Dimensión vertical:** el río tiene elementos superficiales y subterráneos interconectados con agua, sedimentos y organismos vivos en el cauce. La dinámica fluvial produce en esta dimensión la erosión o sedimentación del canal y estos cambios pueden inducir en las fluctuaciones biológicas y químicas de la llanura de inundación. Por ejemplo, la incisión del canal (erosión vertical) lleva al descenso del nivel freático que afecta a la vegetación de ribera o riparia.

**4. Dimensión temporal:** se refiere a todos los cambios producidos en el sistema fluvial a diversas escalas, sean de origen natural o antropogénicos provocados por impactos directos o indirectos de actividades humanas. En este sentido, el río asiste a cambios continuos de su caudal circulante, de su carga sedimentaria, de sus procesos de erosión, de su forma en planta y dimensiones, etc. Siempre que no se corten sus conexiones longitudinales, laterales (con las riberas) y verticales (con el freático subyacente), el río cuenta con capacidad de ajuste (autodepuración y auto-regeneración).

Figura 8  
Esquema de las dimensiones funcionales del río como sistema



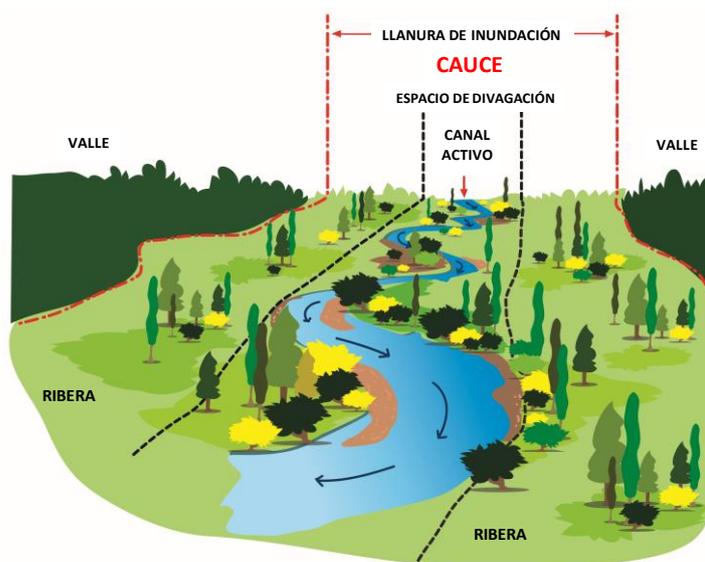
Fuente: ilustración Pirchi, M.L., 2019 modificado de Gutiérrez Elorza, 2008.

### 3.2.1. Componentes morfodinámicos del cauce y su funcionalidad espacial

Según Pedraza Gilsanz (1996) el cauce es una unidad geomorfológica cuya forma y dimensiones son construídas por el sistema fluvial para conducir y evacuar sus caudales ordinarios y extraordinarios. Esta noción establece que los cauces no están limitados a su canal, sino que su dominio fluvial en el valle se extiende por un espacio más amplio que ha sido formado y que es utilizado por el río. Geomorfológicamente, en este espacio fluvial se incluyen dos elementos resultantes de procesos fluviales dinámicos: el *canal* y las *llanuras*

de inundación (Fig. 9). Considerado también como *cauce menor*, el *canal funcional/activo* corresponde al dominio espacial que actúa como conducto en los periodos con caudales ordinarios, mientras que a la franja del espacio ocupado por los caudales de desbordamientos y avenidas lo denomina *cauce mayor o llanura de inundación*. En la extensión territorial del cauce deben quedar incluidos el espacio de divagación de los distintos trazados del cauce que comprenda dentro de sus límites toda la zona inundada por la crecida de 5 años, 10 años, 100 y 500 años (Pedraza Gilsanz, 1996; Ollero Ojeda et al. 2014).

Figura 9  
Unidades morfodinámicas del cauce de un río



Fuente: ilustración Pirchi, M.L., 2019 sobre la base de criterios de zonificación de Pedraza Gilsanz, 1996.

Por otra parte, también dentro del cauce y como parte de la llanura de inundación se encuentran las *riberas*. En términos de la dinámica fluvial, por efectos de los desbordes naturales se desarrollan bancos o diques de orillas muy abruptas que se extienden inmediatos al canal activo y sus márgenes constituyen las riberas. En tal sentido, las *riberas* son las zonas laterales ubicadas fuera de las orillas del canal activo, donde el nivel freático del curso fluvial (acuífero fluvial) permite sustentar la presencia de vegetación (Hernández V., 2018). Además, el concepto de ribera se asocia al espacio de transición (ecotono) entre el medio acuático del río y el medio terrestre adyacente del cauce. Su delimitación espacial y ecológica depende de diversos factores y de su interacción con los suelos ribereños y con las formaciones vegetales que estos sustentan. Entre los factores que inciden en el desarrollo y estructura de las riberas se destacan: el tipo de sustrato, el régimen hidrológico y la recurrencia de los episodios de crecida e inundación lateral, que además condicionan los fenómenos de erosión-sedimentación, así como el aporte de nutrientes y la evolución de la vegetación de ribera (Hernández V., 2018).

### 3.2.2. La importancia de la sección transversal en el análisis hidrogeomorfológico

La morfodinámica fluvial hace referencia a las variaciones morfológicas existentes en un sistema fluvial a lo largo del tiempo, tratándose de un proceso de *feedback* (realimentación) entre procesos y formas (Horacio et al. 2015). Una de las mayores escalas de análisis hidrogeomorfológico es la sección transversal del canal fluvial. La forma de la sección transversal de una corriente depende del tipo de canal, de su geometría en planta y de las características de los sedimentos. Knighton (1998) explica que su forma, en canales naturales, es en general irregular y localmente variable. Petts y Foster (1985) indican que para mantener un equilibrio estable<sup>5</sup> el río ajusta su forma y dimensión de la sección transversal de acuerdo a los cambios en el caudal y la carga sedimentaria. Por otra parte, el análisis de la sección transversal permite reconocer sitios de incisión y depositación. Con respecto a esto, en el sector de una curva, la sección transversal es más profunda en el lado exterior (cóncavo) del canal con un talud lateral prácticamente vertical y es poco profundo en la barra que se forma en el lado interior de la curva (convexo). Sin embargo, en los tramos rectos el canal tiende a ser rectangular, aunque generalmente siempre existe un sitio de mayor profundidad correspondiente al talweg.

### 3.3. Los meandros: *dinámica hidrogeomorfológica*

Los ríos donde la pendiente es baja realizan movimientos laterales disipando parte de su energía sobrante sobre una zona denominada *banda activa o zona de divagación* en la que se producen transferencias de flujos de sedimentos que van siendo depositados en el cauce (Pedraza Gilzanz, 1996; García Martínez, 2015). De esta forma se producen los meandros, elementos geomorfológicos característicos de los cauces sinuosos. En este contexto, los meandros son los principales responsables de contribuir en la construcción y evolución de las llanuras aluviales (Gutiérrez Elorza, 2008). En la tabla VI, se detallan algunas características que corresponden a ríos que forman meandros:

---

<sup>5</sup> De acuerdo a Knighton (1984) existen tres tipos de estados de equilibrio para sistemas abiertos aplicados a ríos naturales. El equilibrio estático, el estable y el dinámico. Se define como equilibrio estable a la condición en la que las propiedades macro del sistema no varían durante un periodo de tiempo determinado lo que implica la ausencia de tendencias o patrones de cambio.

Tabla VI  
**Características hidrogeomorfológicas de ríos meándricos**

<b>Características de los ríos con meandros</b>	<b>Geología/ Topografía</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja pendiente topográfica</li> <li>• Sección transversal variable</li> <li>• Márgenes u orillas erosionables</li> </ul>
	<b>Competencia del flujo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lechos móviles (constituidos por depósitos movilizados por el mismo río)</li> <li>• Transporte de sólidos de tamaño chico y granulometría fina (arenas-limos-arcillas)</li> <li>• Divagan sobre amplias áreas de inundación permitiendo sus desarrollos laterales (llanuras aluviales formadas por depósitos aportados por el río)</li> </ul>
	<b>Comportamiento del flujo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudales (líquidos y sólidos) variables</li> <li>• Flujo helicoidal en las curvas (flujo turbulento)</li> <li>• Movimiento lateral del flujo por acción simultánea de erosión y sedimentación</li> </ul>

Fuente: Pirchi, V., 2019 sobre la base de Martín Vide (2002) y Rocha Felices (2009).

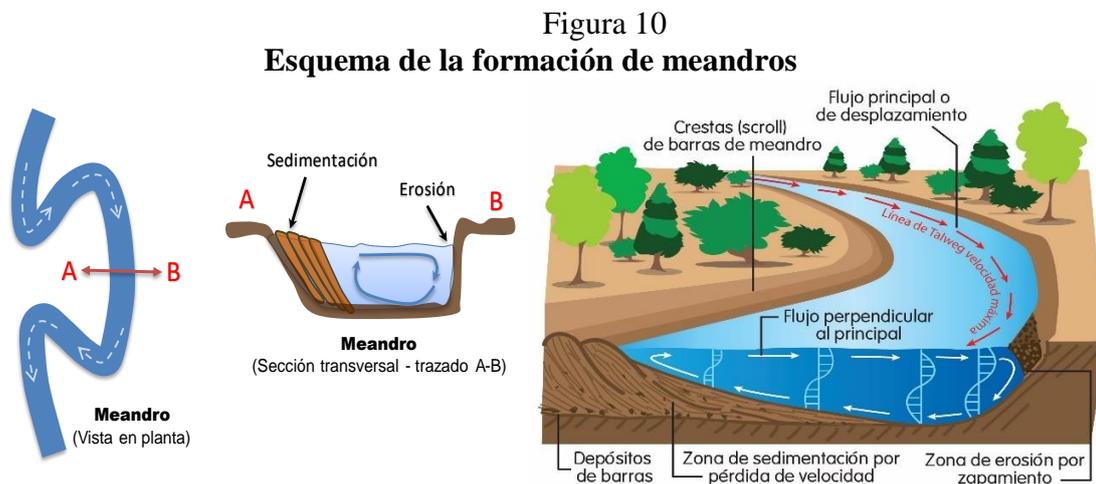
Las curvas características de los meandros son muy dinámicas, dado que su evolución está asociada a las propiedades geológicas de las márgenes (resistencia de las orillas a la erosión) como así también a las características del flujo circulante (Martín Vide, 2002; Campaña Toro, 2019). En la formación de meandros (Fig. 10) la erosión y sedimentación suceden simultáneamente tanto en los arcos como en las inflexiones. Estos procesos fluviales son causados por el comportamiento hidrodinámico del flujo helicoidal que es transversal al movimiento del agua en la dirección del talweg.

Por consiguiente, en la curva del arco del meandro el flujo presenta movimientos helicoidales donde las velocidades en las curvas exteriores son mayores que las velocidades en las curvas interiores. En relación a este movimiento las corrientes superficiales son dirigidas hacia los bancos externos donde se produce la erosión de la curva “*zona pool*”, mientras que las corrientes de fondo son dirigidas hacia los bancos internos causantes de la sedimentación “*zona point bar*” (Campaña Toro, 2019). Pedraza Gilsanz, (1996:230) describe tres procesos hidrodinámicos que ocurren en la formación de meandros:

1. **Retroceso de escarpe de orilla:** este proceso lo regula un zapado (excavado) sobre la margen externa o cóncava del meandro.
2. **Acreción en barras marginales:** en cada arco de meandro erosiona y zapa su margen externa, transporta el material y lo deposita en la margen interna o convexa del arco sucesivo. Este proceso morfodinámico provoca el crecimiento de *barras*

*semilunares* (point bars) hacia la zona externa y la coalescencia entre point bars (scroll).

3. **Coalescencia entre barras (point bars):** producen el relleno en la llanura por desplazamiento continuo de los distintos arcos de meandros y están condicionados por causas climáticas.



Fuente: ilustración Pirchi, M.L., 2019 modificado de Pedraza Gilsanz, 1996

### 3.3.1. Propiedades morfológicas de los ríos meandriformes

Geomorfológicamente, algunos ríos y arroyos tienen como propiedad fundamental desarrollar en su recorrido por la superficie terrestre patrones de alineamientos en planta conformado por una serie de curvas sucesivas. Estas curvas están compuestas por arcos que se desplazan y cambian de forma en el espacio y en el tiempo. En los ríos meandriformes este patrón de curvaturas se denomina *sinuosidad* y cada uno de los sucesivos arcos de las curvas que se desplazan o movilizan reciben el nombre de *meandros* (Pedraza Gilsanz, 1996). Concretamente, el río desarrolla como mecanismo natural de “autoajuste” curvas en su trazado resultado de ajustar su pendiente cuando la del valle por donde fluye es mayor que la necesaria (Leopold y Wolman, 1957, Pedraza Gilsanz, 1996, Díez Herrero et al., 2008; Gutiérrez Elorza, 2008; Batalla y Tena, 2016). Sus precursores Leopold y Wolman definen la meandricación de un río de la siguiente manera:

“Un río se puede definir como meándrico cuando su sinuosidad es mayor que 1 entendiendo la sinuosidad (S) como la relación existente entre la longitud del cauce principal (Lc) y la del valle que drena (Lv), entonces:  $S = Lc / Lv > 1$ . La formación de los meandros...comienza cuando aparecen en el lecho depósitos...que obstruyen y desvían el flujo. El flujo desviado tiende a erosionar la orilla hacia la cual se dirige y a depositar los sedimentos en la orilla opuesta. El canal adoptará primero una forma sinuosa y luego curvas meándricas con mayor curvatura...el meandro es un fenómeno puramente hidrodinámico...la evolución de los ríos meándricos es el resultado de ajustes entre las formas y los procesos” (En: Quintana Cobo, 2015:48 y 55).

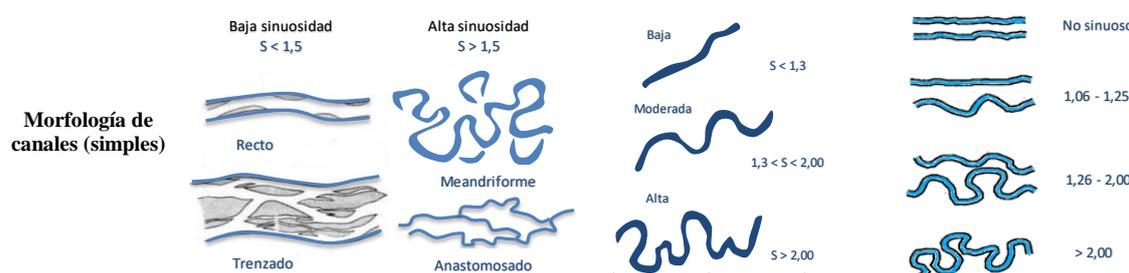
Como propiedad geométrica, la *sinuosidad* y los *meandros* son parámetros de forma que caracterizan la dinámica del río y de un tramo específico. Morfológicamente, las diferencias entre ambos parámetros es que el primero permite caracterizar el grado de curvatura que tiene el *thalweg*<sup>6</sup> del río en su trazado espacial. El segundo es un arco de curva (unidad geométrica) que, en planta, viene definido por la longitud del canal, anchura, amplitud, radio de curvatura y longitud de onda. Por lo general, dichos elementos de la curva caracterizan el comportamiento de las corrientes fluviales con trazados meandriformes (Leopold y Wolman, 1957; Pedraza Gilsanz, 1996; Díez Herrero et al., 2008 y Batalla y Tena, 2016).

El principal criterio de diferenciación morfológica en estas corrientes fluviales meandriformes es el *Índice de Sinuosidad (I.S)*. Normalmente, en la clasificación tradicional se adopta la tipología propuesta en 1957 por Leopold y Wolman, quienes diferencian tres tipos de trazados generales: *rectos*, *meandriformes* y *trenzados*. Con el paso del tiempo, se fueron sucediendo nuevas clasificaciones (tabla VI) donde se reconocen otros tipos transitorios como *sinuoso*, cuyo trazado refleja la transición entre recto y meandriforme o el *anastomosado* para modelos braided.

Tabla VI

**Clasificación morfológica para tramos de ríos, según grado de sinuosidad**

Grado de sinuosidad	Tipología	Tipo de canal	Brice, (1964) y Rust (1978)	Gutiérrez Elorza (2008)	Rocha Felices, A. (2009)	Batalla R. y Tena A. (2016)
Grado 1	Baja sinuosidad	sinuoso	$S < 1.05$	1 – 1.05	$S < 1.3$	$S < 1$
Grado 2	Moderada sinuosidad	Meandriforme	$S > 1.05$ $S < 1.50$	1.06 – 1.25	1.3 – 2	$S < 1.8$
Grado 3	Alta sinuosidad	tortuoso	$S > 1.50$	$S > 1.25$	$S > 2$	$S > 1.8$



Fuente: Pirchi, V., 2019 establecido para cauces fluviales meandriformes sobre la base de rangos de sinuosidad de Leopold y Wolman, 1957. Brice, (1964) tomado de: Gutiérrez Elorza, 2008. Rust, (1978) tomado de Pedraza Gilsanz, (1996).

<sup>6</sup> El *talweg* es la línea en un río en donde el cauce es más profundo y el flujo de agua posee mayor velocidad. Es decir, es la línea que une los puntos topográficamente más bajos de un valle fluvial. Esta línea no es fija en el cauce ya que se mueve de un margen a otro y se presenta en todas las corrientes naturales (Pedraza Gilsanz, 1996).

### 3.3.2. Papel morfológico de la vegetación en los cauces

En aquellos tramos de ríos que discurren bajo un dosel arbóreo, la vegetación de ribera cumple un rol fundamental en la protección de los cauces y cumple funciones hidrológicas relacionadas con la estabilidad del canal, transporte y depositación de sedimentos y calidad del agua, entre otros. La misma, cuando está presente, lleva a un incremento en la resistencia de la erosión de las márgenes del mismo (Knighton, 1998). Además, tiende a favorecer la sedimentación de partículas transportadas por el agua y así acelerar los procesos de acreción fluvial, por ejemplo, en las llanuras de inundación (Martín Vide, 2002).

El papel morfológico de la vegetación se explica por su acción directa sobre el suelo. Las raíces de las plantas fijan el material del suelo y esta fijación ocurre en lugares tales como: las orillas del cauce activo, en las barras del interior del canal o en las llanuras de inundación. Por ello, la forma de las secciones transversales de los ríos resulta de la interacción del agua, de los sólidos y la resistencia ofrecida por la vegetación, ya sea al flujo de agua como también, al arrastre del material aluvial (Martín Vide, 2002). Por otra parte, los ríos y arroyos reciben de manera continua materiales particulados y disueltos de la cuenca que drenan (Díez et al., 2016). Entre estos se destaca la madera muerta procedente de la vegetación de ribera (apartado 5.2.1).

En los tramos de los ríos la abundancia y distribución de la madera muerta depende de la entrada de la vegetación de ribera al cauce como resultado del proceso dominante (erosión de las márgenes, remociones en masa, etc), del tamaño del cauce (ancho, profundidad) y de la energía hidráulica del río (Batalla y Tena, 2016). Díez et al. (2016) explican que la madera muerta puede llegar a un cauce como consecuencia de la caída de árboles de la ribera (entrada lateral), de movimientos de laderas o deslizamientos “*slump*” por socavación basal del río (entrada vertical) o arrastrados por la corriente desde aguas arriba (entrada longitudinal). Por otro lado, en los tramos fluviales de mayor orden (cuenca baja) la mayor parte de la madera muerta accede debido a la erosión de las orillas y por el transporte fluvial. Los depósitos de madera muerta se acumulan sobre barras de grava o terrazas en las márgenes. También estos depósitos pueden quedar fuera del flujo ordinario por la disipación de la energía de la corriente y pueden tener un efecto en la morfología del cauce como, por ejemplo, los troncos depositados en barras atrapan sedimentos que dan lugar a la formación de islas vegetadas.

### 3.3.3. Factores que controlan la dinámica de los meandros

Los cauces de los ríos son sensibles a cualquier tipo de cambios que intervienen en el sistema fluvial. Esa sensibilidad de los ríos se ve perturbada por una dinámica controlada por ciertos umbrales geomorfológicos dado que, después de un momento de umbral (desequilibrio), el río tiende a ajustar su forma con cierta rapidez a las nuevas condiciones definiendo así “estados de transición” (Gutiérrez Elorza, 2008).

Schumm, (1973) introdujo el concepto de umbrales geomorfológicos para poder explicar los cambios de forma en los sistemas fluviales y sostiene que los ríos y arroyos no responden a cambios hasta que supera un cierto umbral (Quintana Cobo, 2015). Este umbral puede ser **extrínseco** donde el sistema responde a las influencias de factores o variables externas o **intrínseco**, donde el sistema se ajusta a su propia dinámica a una condición de inestabilidad incipiente. En los ríos meándricos los cambios en la forma del cauce ya sea su anchura, profundidad, sinuosidad y pendiente están condicionado por factores externos cuyas variables son independientes al río e internos cuyas variables son dependientes.

Cuando se trabaja a escala de tramo o microescala - 100 a 1000 metros de longitud del cauce – los factores que originan los ajustes y cambios morfológicos del cauce pueden deducirse a partir de la respuesta intrínseca del propio cauce (Conesa García et al., 2012). Dichos factores internos incluyen a su vez cambios naturales en los regímenes de caudales y sedimentos y cambios antropogénicos tales como la estabilización de los márgenes y la regulación de la corriente. La respuesta geomórfica de los tramos de ríos a estos factores se manifiesta a través de los cambios en la geometría y el trazado del cauce.

Los siguientes son algunos de los factores que controlan el trazado de canales, la geometría y la dinámica de meandros en ríos antropizados (Tabla VII), los que sirven de base para la fundamentación de los resultados del caso estudiado en esta investigación:

Tabla VII  
Factores de cambios locales en la geometría y trazado de cauce meandriformes

Factores de control	Variables	Cambios hidrogeomorfológicos
<p><b>Externos</b> (variables independientes)</p>	<p>1. <i>Clima</i></p>	<p>1. El <b>clima</b> es el principal factor externo que tiene influencia directa en los caudales determinando su variabilidad. Se puede considerar al caudal y sus variaciones como la causa principal que explican los cambios morfométricos y morfodinámicos en cauces con meandros. En aquellos tramos de ríos que se encuentran antropizados, la regulación de sus caudales provoca cambios en la variabilidad de la carga de agua y carga de sedimentos lo cual induce a la simplificación en la dinámica del cauce.</p>
	<p>2. <i>Geología y topografía (estructura – litología del sustrato- pendiente del terreno)</i></p>	<p>2. El <b>control litológicos o estructurales</b> tiene influencia en la resistencia que ofrece el material del sustrato frente a la erosión del flujo. En el caso de cauces que escurren sobre terrenos que se componen de materiales blandos y erosionables (arenas-limos-arcillas) son más propensos a divagar formando meandros. Por otro lado, si en su recorrido el cauce meandriforme encuentra una pequeña falla tectónica o quiebre de pendiente provocará que la curva de meandro cambie de dirección.</p>
	<p>3. <i>Vegetación</i></p>	<p>3. La <b>vegetación</b> controla la erosión y sedimentación. Generalmente, este factor obstruye y provoca resistencia al flujo, así como también resistencia al transporte del material fluvial, haciendo que se dé la sedimentación. Las grandes acumulaciones de troncos y ramas móviles redirigen las corrientes y obstruyen los cauces provocando avulsiones y grietas en diques de meandros. Además, la vegetación estabiliza el cauce frenando su migración lateral y longitudinal, puesto que controla la erosión de los bancos o arcos de meandros. Esto significa que la vegetación tiene efectos directos en el transporte de sedimentos y en la forma del canal activo. También modifica la topografía del lecho por la deposición de sedimentos y la acumulación de áreas vegetadas.</p>
	<p>4. <i>Antropogénicos</i></p>	<p>4. Las <b>acciones antropogénicas</b> provocan alteraciones geomorfológicas en los ríos. Los usos del suelo e infraestructuras ligadas a ellos como edificaciones, puentes, caminos, endicamiento, azudes, compuertas, canalizaciones, cortes de meandros (rectificaciones), muros de contención, entre otros son acciones directas que provocan cambios morfológicos en el cauce al reducir sus funciones de escurrimiento y disipación de energía. En tal sentido, estas transformaciones humanas en tramos fluviales provocan cambios en el régimen hidrológico y sedimentológico aguas abajo, regularizando el número de crecidas ordinarias. Al modificarse el caudal cambia la energía y competencia de la corriente y con ello se modifican los procesos de erosión, transporte y sedimentación, adaptándose a la nueva situación la morfología y las dimensiones del cauce.</p>
<p><b>Internos</b> (variables dependientes)</p>	<p>1. <i>Hidrodinámica del flujo en la sección del cauce</i> 2. <i>Pendiente local</i></p>	<p>Las <b>características hidrodinámicas del flujo</b> provocan cambios en la anchura, profundidad, arranque y sedimentación de la sección transversal del cauce. Esto modifica principalmente la pendiente local del cauce, puesto que en la migración de meandros sucede que la pendiente local disminuye por la acumulación de sedimento hasta un umbral en que la erosión comienza nuevamente, lo que hará que aumente de nuevo la pendiente.</p>

Fuente: Pirchi, V., 2019 sobre la base de Martín Vide, 2002; Gutiérrez Elorza, 2008; Ollero Ojeda, 2009; Conesa García y Pérez Cutillas, 2014; Bertoldi et al., 2014; García Martínez, 2015 y Díez et al. 2016.

## CAPÍTULO IV

### 4. Área de estudio: *el periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca*

#### 4.1. La influencia de la geomorfología en la configuración de la red de drenaje a escala de cuenca

El área de estudio es un tramo del cauce Napostá Grande (caNG) ubicado en la zona de ingreso a la ciudad de Bahía Blanca mediante el área periurbana norte (Fig.11). Su cuenca (CNG) y la red de drenaje superficial (1.450 km<sup>2</sup>) nace en proximidades de los cerros Tres Picos (1.243 m s.n.m.) y Napostá (1.180 m s. n. m.) y drena la vertiente oeste del cordón Sierra de la Ventana. Tras atravesar la llanura y en su recorrido final, el cauce principal cruza la ciudad de Bahía Blanca y desemboca en el estuario de Bahía Blanca. Esta cuenca posee vertiente atlántica y es considerada dentro de las más importantes de la región (González et al., 1988). Su red de drenaje está integrada por cauces permanentes y semipermanentes (Carrica, 1998). Presenta un régimen de escurrimiento permanente en la cuenca superior y su caudal es variable con picos muy marcados (220 m<sup>3</sup>/s) y escaso flujo en época de estiaje (0,06 m<sup>3</sup>/s) (Paoloni, 2010; Cerana y Varela, 2013). Las avenidas originadas en la cuenca superior provocan frecuentes desbordes y anegamientos en la cuenca inferior (Torrero, 2005).

La cuenca se divide en tres sectores principales donde la configuración del relieve y las formas fluviales superficiales son características. La cuenca alta abarca desde sus límites en las sierras hasta aproximadamente la confluencia con el Ao. del Águila, afluente más importante del cauce principal. Carrica (1998) determina un patrón de drenaje dendrítico, integrado principalmente en el sector de afloramientos rocosos. En la zona serrana las pendientes son entre 12° hasta 25° y mayores mientras que en la llanura las mismas no superan los 4° (Berón de la Puente, et al. 2017). La cuenca media abarca desde la confluencia con el Ao. del Águila hasta aproximadamente el paraje Puente Canesa (a 10 km de la ciudad de Bahía Blanca) en esta zona el cauce principal recibe como único afluente al Ao. de los Leones que nace como cauce de llanura. Según Carrica (1998) la red de drenaje es menos integrada que en la cuenca alta y con presencia de cuerpos de agua someros e intermitentes (lagunas). La cuenca baja (CBNG) se extiende desde el paraje Puente Canesa hasta su desembocadura en el estuario de Bahía Blanca. Ya aquí el cauce principal, drena en pendientes bajas y los afluentes que recibe nacen como cauces de llanura. Este tipo de morfología es típica del modelado fluvial en la unidad geomorfológica denominada por

González Uriarte (1984) "Nivel de planación general (Npg)". Esta unidad posee una capa de tosca que corona los depósitos sedimentarios limo-arcillosos y es la más representativa de la evolución miocena de la región de Bahía Blanca.

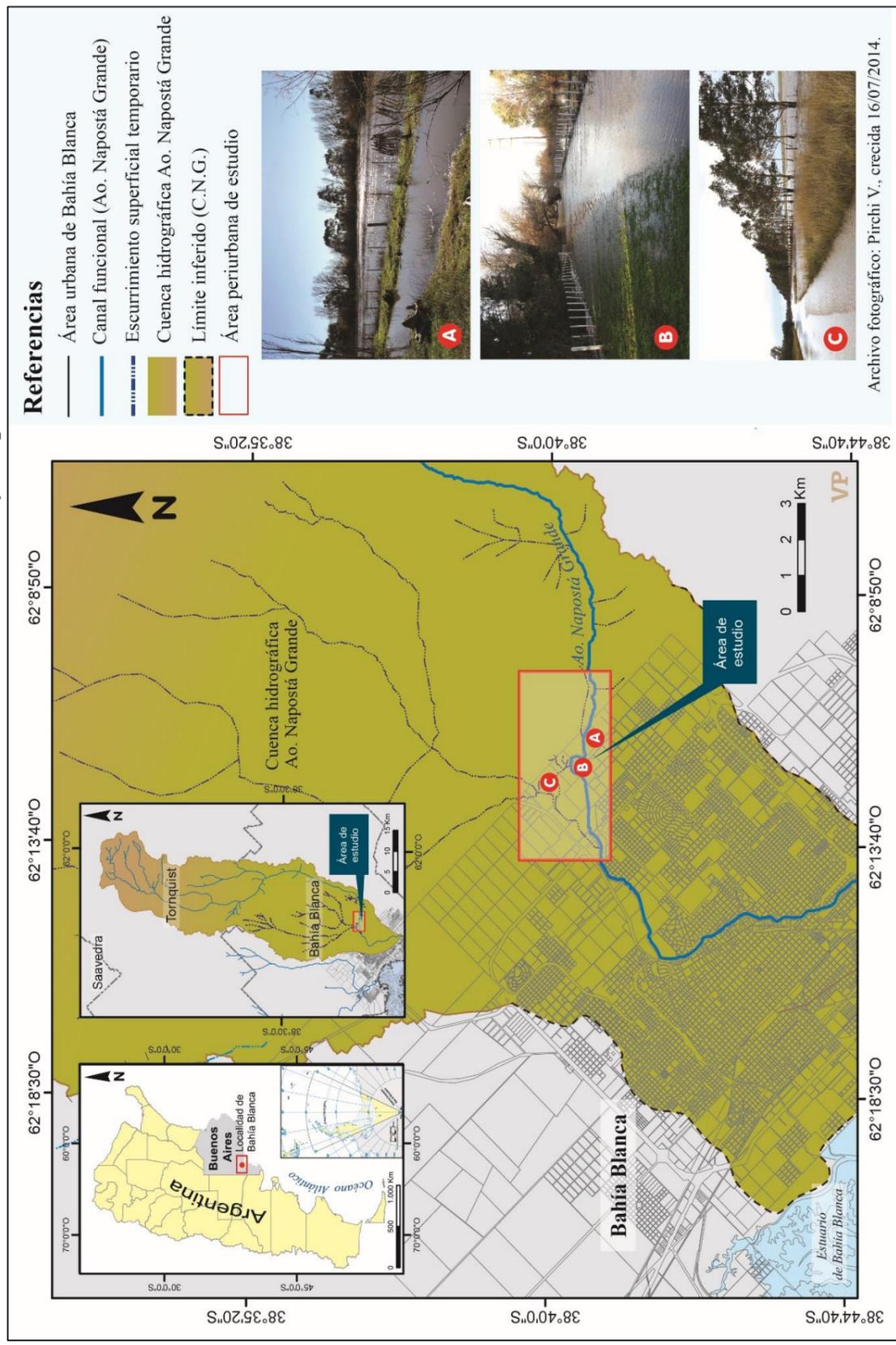
#### **4.1.1. Geomorfología y su influencia en patrón de drenaje en la CBNG y el tramo estudiado**

El relieve general del sector que rodea la ciudad de Bahía Blanca no presenta grandes irregularidades ni elevaciones. En el área periurbana de estudio se reconocen 2 unidades geomorfológicas (González et al., 1988) (Fig. 12):

- Unidad Geomorfológica 1 (UG1): Llanura subventánica perteneciente al NPG o peniplanicie
- Unidad Geomorfológica 2 (UG2): Valle del arroyo Napostá Grande (valle extraserrano (González Uriarte, 1984).

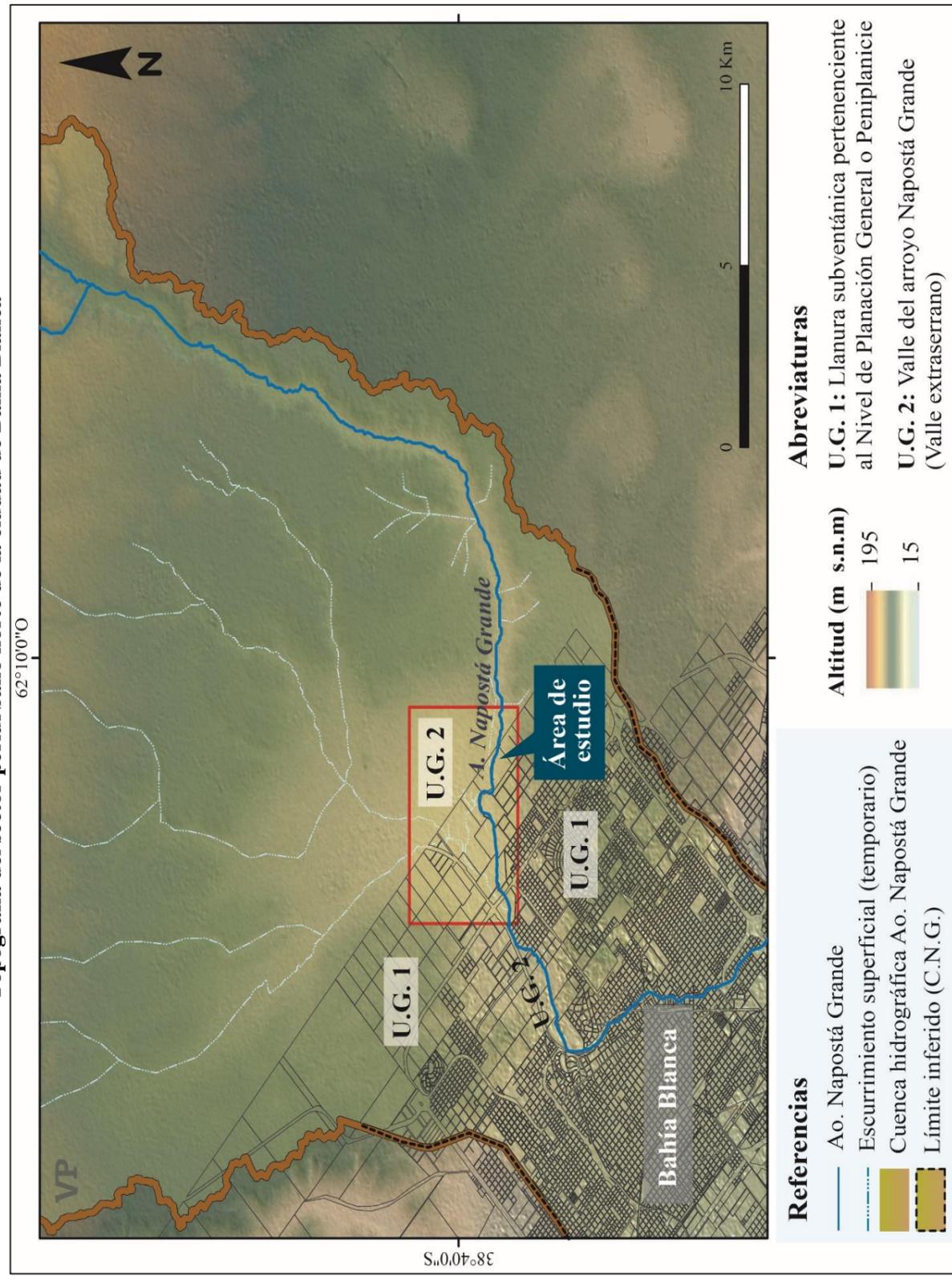
La UG1 es una peniplanicie que alcanza los 70 m s.n.m de altitud en el área del autódromo de la Asociación de Empleados de Comercio. Está conformada por un potente banco de sedimentos limo-loessoides culminando con capas de carbonato de calcio que forman depósitos de calcreta llamados localmente tosca. Las áreas que conectan la peniplanicie con el valle (UG2) (Fig.12) funcionan como vertientes del escurrimiento superficial por tener fuertes pendientes, aquí se puede observar el perfil estratigráfico de esta unidad donde se exponen los sedimentos finos coronados con los materiales de tosca (Caló et al., 2004). El valle (UG2) está condicionado por la estructura que genera un cambio de dirección de este-oeste del cauce principal. Esta disposición del drenaje fluvial coincide con una falla regional del basamento producto de la neotectónica que afecto a la región durante episodios de la orogenia andina. El curso del arroyo muestra una disposición sinuosa controlada por la neotectónica y está cubierto por distintas secuencias sedimentarias (González et al., 1988). A su vez, el cauce del arroyo discurre sobre materiales aluviales de arenas, limos, gravas y tosca recementada (Caló et al., 2004).

Figura 11  
Localización del tramo estudio en la cuenca inferior del arroyo Napostá Grande



Fuente: Pirchi, V., 2019, sobre la base de plano urbano de la Dirección de Catastro Municipalidad de Bahía Blanca, S.I.G 250 de I.G.N., DEM ALOS (sensor PALSAR) y modificado de Berón de la Puente, F., (2017).

Figura 12  
Topografía del sector periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca



Fuente: Pirchi, V., 2019, sobre la base de plano urbano de la Dirección de Catastro Municipalidad de Bahía Blanca, DEM ALOS (sensor PALSAR) y modificado de Berón de la Puente, F., (2017).

#### 4.1.2. Clima regional y local

El área de estudio por su posición latitudinal se enmarca dentro de la faja zonal de climas templados. Esta zona según Campo de Ferreras et al. (2004) presenta una estacionalidad térmica marcada que permite la diferenciación de veranos e inviernos cuyos valores medios de temperatura anuales están comprendidos entre 14 °C y 20 °C. Presenta un régimen estacional de precipitaciones donde la variabilidad espacial y temporal es marcada (Gil, 2010, Gentili y Gil, 2013, Gabella et al., 2010). Por otra parte, Ferrelli y Aliaga (2015) y Aliaga et al. (2016) explican para la zona sur de la región pampeana marcados gradientes de precipitación en sentido este-oeste variando entre los 800 mm y los 524 mm de valores medios anuales. Según estos autores la zona que comprende la (CNG) y el tramo de estudio se encuentra en el área denominada semiárida. Por otra parte, la cuenca en toda su extensión se encuentra afectada por los diferentes ciclos húmedos y secos (Scian, 2000; Campo et al., 2009; Ferrelli, 2016) que generan aportes diferenciales tanto en el sistema fluvial superficial como el subterráneo. A escala urbana, el clima de la ciudad presenta una temperatura media anual de 15,5 °C y las precipitaciones medias anuales de 654 mm. Los vientos dominantes son del cuadrante norte, noroeste y oeste con velocidades medias máximas de 70 km/h (Ferrelli, 2016).

#### 4.1.3. La vegetación en el tramo de estudio

La vegetación nativa que ocupaba la mayor parte del área periurbana de estudio ha sido completamente modificada como consecuencia de la explotación hortícola-ganadera. Actualmente permanecen algunas especies nativas que son parte de la zona ecotonal donde convergen tres provincias fitogeográficas distintas: la del espinal, la del monte y la pampeana (Cabrera, 1976). De esta manera, en el área periurbana sobre las zonas de mayor altitud que corresponden a la peniplanicie y la escarpa se desarrollan pequeños grupos de comunidades vegetales nativas que han subsistido como relictos del espinal. Están compuestas por arbustos de 1 a 3 m de altura donde predomina el chañar (*Geoffroea decorticans*) formando pequeños grupos acompañado de piquillín y matorrales de manca caballo (*Prosopidastrum globosum*) (Zapperi, 2012). De forma muy dispersa sobre la llanura de inundación crecen luego de varios eventos de crecidas árboles de cina cina (*Parkinsonia aculeata*). Por otra parte, sobre las márgenes del arroyo se desarrolla en forma concentrada el sauce criollo (*Salix humboldtiana*) siendo el único representante arbóreo de la provincia espinal (Sanhueza et al., 2014).

Entre las especies nativas del pastizal pampeano se destacan como dominantes: paja vizcachera (*Amelichloa caudata*), cortadera (*Cortaderia selloana*) y cebadilla criolla (*Bromus unioloides*) que crecen en el valle fluvial. A lo largo de las márgenes del arroyo Napostá Grande crece una hierba perenne denominada carrizo (*Phragmites australis*) y una hierba acuática perenne sumergida llamada potamogeton (*Stuckenia striata*). Esta hierba acuática posee frutos de color marrón a marrón rojizo que parecen teñir las aguas del arroyo.

La vegetación exótica del área estudio está vinculada con la práctica hortícola de inmigrantes italianos que ocuparon el valle del arroyo Napostá Grande hace aproximadamente 100 años. A esto se debe la existencia de una abundante vegetación ribereña compuesta por tamariscos (*Tamarix gallica*) que fueron introducidos por los quinteros para cerco y protección de cultivos ante eventos de crecidas. Por otra parte, la influencia de vientos fuertes en el lugar derivó en la forestación con especies exóticas como álamos (*Populus sp.*) y eucaliptus (*Eucalyptus pauciflora*) utilizados como cortinas contra vientos.

## **4.2. Funcionalidad del área de influencia del arroyo Napostá Grande en el periurbano norte de Bahía Blanca: de espacio productivo a escenario de expansión del uso residencial**

### **4.2.1. Alternancia de usos del suelo en el proceso de ocupación del espacio**

Desde el año 1906 hasta la década de 1990, en este sector del actual periurbano norte predominaba el uso del suelo rural destinado a las actividades extractivas de tipo hortícola. En un primer momento, dicho sector fue ocupado por inmigrantes italianos que se organizaron y asentaron en quintas aprovechando la proximidad del arroyo Napostá Grande. Los pequeños productores hortícolas introdujeron los primeros cultivos de hortalizas, frutales y cereales cuya finalidad era abastecer a la población local con productos frescos de huertas. A su vez, aprovecharon el agua del arroyo para riego de siembras. La extracción del agua del arroyo se realizaba mediante un sistema de canalizaciones y acequias que funcionaban por gravedad a través de ruedas hidráulicas (por cangilones) las que fueron sustituidas más tarde por bombeo eléctrico (Carrica, 1998).

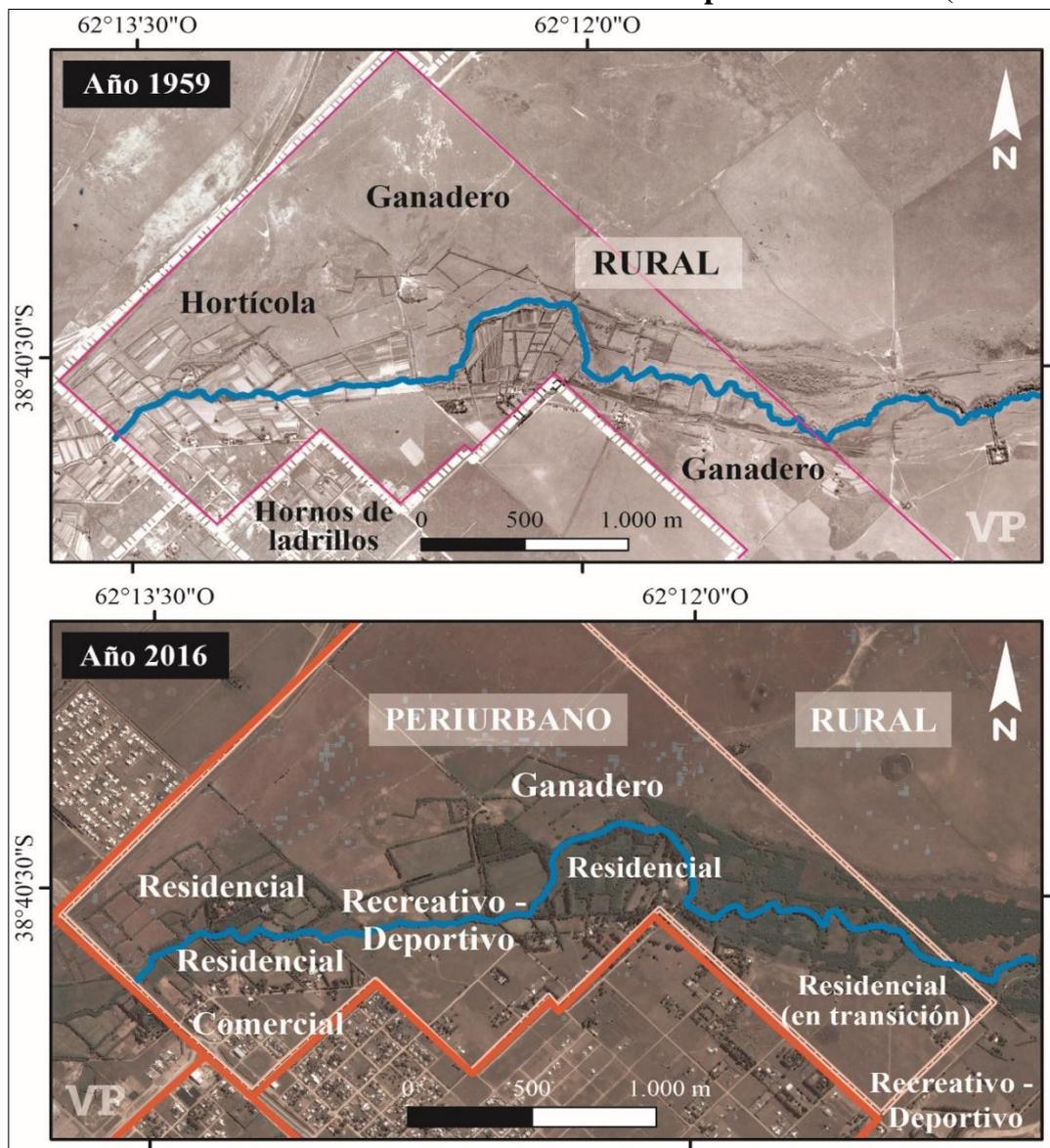
“La existencia de suelos fértiles sobre terrenos sedimentarios, la presencia del arroyo como proveedor de agua para riego y una ciudad demandante de productos agrícolas y hortícolas fueron las causas que propician, a fines del siglo XIX, la instalación de un grupo de inmigrantes italianos en las tierras aledañas al Napostá” (Campos y Zinger, 2003:30).

A mediados de la década de 1990, la ciudad evidenció un proceso acelerado de urbanización hacia el sector de estudio, especialmente a partir de la concreción de importantes ejes viales

como el camino de Circunvalación y la Avenida Cabrera que generaron una mejora en la accesibilidad con el centro urbano. Este aspecto ha revalorizado el suelo en el área por lo que evidenció un cambio de uso reflejado en el abandono de algunas quintas hortícolas que se transformaron en residencias de fin de semana o en espacios recreativos y comercial (Campos y Zinger, 2003). La figura 13, muestra que el área de influencia del arroyo en el año 1959 fue modificada para el desarrollo de cultivos hortícolas. Además, en ese año no existía código de zonificación ni subdivisión de parcelas para este espacio. Sin embargo, la imagen de Google Earth Pro (2016) muestra que el área evidencia una expansión urbana residencial, recreativa y comercial.

Figura 13

### Cambios de funcionalidad en el uso del suelo del actual periurbano norte (1959-2016)



Fuente: Pirchi V., 2019 sobre la base de fотомosaicos año 1959 de la Dirección de Catastro Municipalidad Bahía Blanca e imagen de Google Earth Pro (2016).

#### **4.2.2. Categorización según el Plan Director del Periurbano de Bahía Blanca**

La ciudad de Bahía Blanca se divide en distritos y zonas definidas según los usos del suelo permitidos por el Código de Planeamiento Urbano de la Municipalidad. En los últimos años, la expansión urbana hacia este sector de la periferia implicó la formulación de un nuevo límite del área urbana y la definición de un área complementaria de carácter suburbano denominada “Periurbano”. De esta manera, en el año 2010 se establece la Ordenanza Municipal N°15.637 del Plan Director del Periurbano Bahiense. De acuerdo con la nueva zonificación establecida el área de estudio pertenece al distrito denominado “Periurbano Calificado” (Fig. 1). Dicha ordenanza reglamenta que aquí deben destinarse usos del suelo residencial de baja densidad de ocupación dentro de una franja lindante con el borde del área urbana y áreas verdes públicas de escala regional. En este sentido, las normas de subdivisión estipulan dimensiones superiores a las establecidas para el área urbana. La superficie de los lotes varía entre 1000 y 1500 m<sup>2</sup> y sus propietarios deben ceder el 10 % de sus tierras para uso público. En este espacio periférico coexisten actividades productivas complementarias al uso urbano, equipamientos de servicios y áreas de crecimiento residencial suburbano. También es un área de reserva de espacios de esparcimiento y recreación a la actividad urbana.

CAPÍTULO V

5. Resultados y discusiones

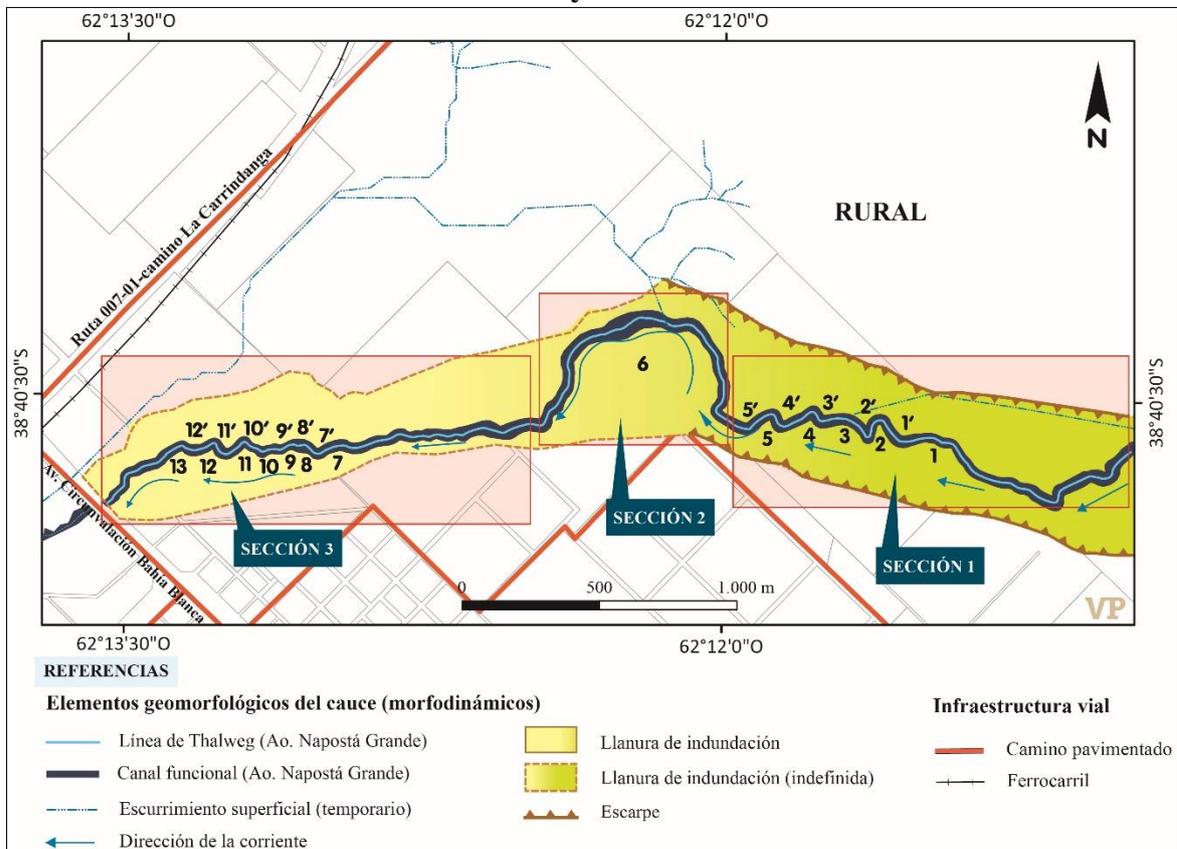
5.1. Sectorización del tramo fluvial de estudio

El tramo de interés (4.647 m de longitud) se divide en tres secciones de acuerdo a las características hidrogeomorfológicas encontradas en cada sector del tramo (Fig. 14):

1. **Sección 1:** corresponde al sector del cauce que queda incluido en el área periurbana de mayor proximidad con el espacio rural que se extiende desde el meandro 1 hasta el meandro 5' inclusive.
2. **Sección 2:** corresponde a la zona periurbana del cauce que se extiende desde el inicio del meandro 6 hasta su finalización.
3. **Sección 3:** comprende la zona periurbana que limita con el área urbana. Se extiende desde el final del meandro 6 hasta el límite que demarca la Avenida de Circunvalación Bahía Blanca.

Figura 14

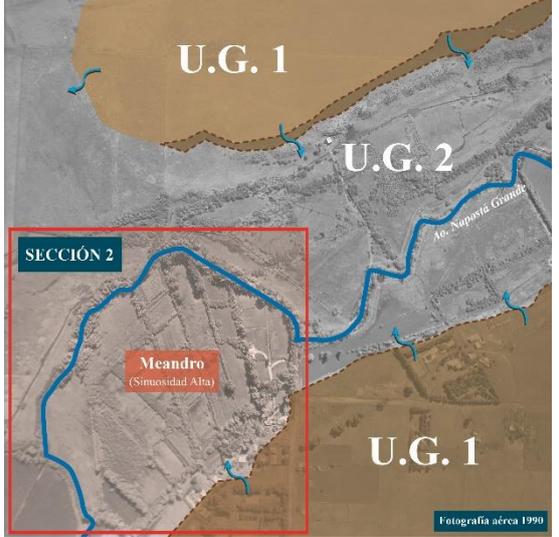
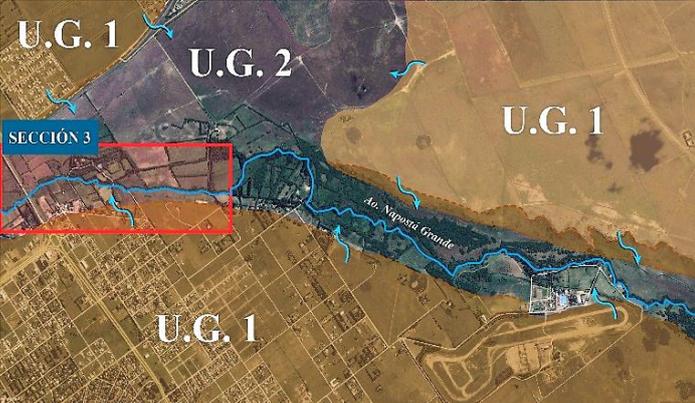
**Subdivisión del tramo en secciones y numeración de meandros analizados**



Fuente: Pirchi V., 2019 sobre la base de Plano Urbano de la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca e imagen del Google Earth Pro., (2016). Los números corresponden al identificador del meandro.

En la tabla IX se explican las características relevantes de cada sector estudiado.

**Tabla IX**  
**Diferenciación hidrogeomorfológica en cada sector del tramo fluvial**

Subtramos	Características
<p><b>Sección N°1</b></p>	<p>- El cauce fluye en un valle bien definido confinado en paredes escarpadas cuyo piso se comporta como una llanura de inundación en cada crecida del arroyo (González et al.,1988).</p> <p>Kostadinoff (en González et al. (1988) manifiesta que dicho valle presenta un evidente control estructural, coincidente con la línea de falla secundaria del basamento y está cubierto por centenares de metros de distintas secuencias sedimentarias. El brusco cambio de rumbo del río, en sentido E-O, es la evidencia que se interpreta como un rasgo generado por el condicionamiento tectónico.</p> 
<p><b>Sección N°2</b></p>	<p>- El cauce fluye en un valle indefinido cuyo rasgo geomorfológico fundamental es la marcada sinuosidad que se refleja en el aumento de la curvatura del meandro que se ha generado una vez que el Napostá Grande pierde su confinamiento en el valle. En la fotografía aérea (izquierda), se observa el valle estructural, mencionado anteriormente en la sección 1. El recuadro rojo indica el cambio del trazado de acuerdo con la curvatura del meandro de mayor tamaño.</p> 
<p><b>Sección N°3</b></p>	<p>- El cauce fluye en un valle indefinido cuyo rasgo geomorfológico fundamental es el marcado cambio en la sinuosidad. La evidencia de esto es un cauce casi recto. En la imagen satelital (derecha) el recuadro rojo indica el cambio de sinuosidad mencionado</p> 

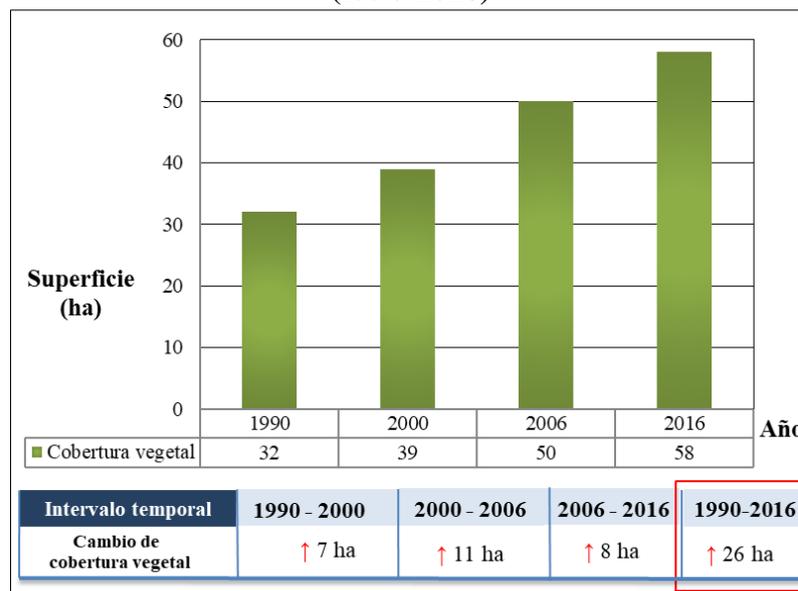
Fuente: Pirchi V., 2019.

## 5.2. Cambios de cobertura vegetal en el cauce del arroyo Napostá Grande (1990-2016)

El tramo analizado del arroyo Napostá se caracteriza por presentar de forma paralela a su cauce áreas cubiertas con abundante vegetación ribereña compuesta principalmente de Tamariscos arbustivos y arbóreos. La misma ha ido en aumento en cada uno de los cortes temporales abordados (Fig. 15) y se registraron variaciones según su posición en canal o en la llanura de inundación.

En el año 1990 la vegetación del cauce cubría 32 ha, en tanto que para el año 2016 pasó a cubrir 58 ha. Por otra parte, los cambios de cobertura vegetal en el cauce se determinaron en función de cantidad de hectáreas incrementadas. En la tabla del gráfico de la figura 15 se muestra que, el mayor cambio en la cobertura vegetal se registró entre el intervalo temporal 2000 y 2006 con un crecimiento de 11 ha. En total la cobertura vegetal del cauce aumentó 26 ha durante el periodo 1990-2016.

Figura 15  
Variación total de cobertura vegetal en el cauce del arroyo Napostá Grande (1990-2016)



Fuente: modificado de Pirchi et al. (2016).

Al respecto, en el año 1990 la cobertura de vegetación de ribera (canal activo) era de 10 ha y pasó cubrir 23 ha en el año 2016. En cuanto a la vegetación en la llanura de inundación en el año 1990 cubría una superficie de 22 ha, pero en el año 2016 se extendió a 35 ha. En los intervalos temporales 2000 y 2006 se verifica que la cobertura vegetal presenta variaciones en la llanura de inundación, pero se mantiene sin cambios en el canal. Si bien en todos los años se registraron aumentos de cobertura vegetal en el último periodo se puede observar que la vegetación en la llanura de inundación comienza a disminuir. A partir de las

observaciones efectuadas en campo se verificó que en el año 2016 este decrecimiento fue producto de la caída de árboles por efecto de las crecidas, quema y deforestación de hectáreas para uso residencial (Fig. 16).

De acuerdo a los mapas de cobertura vegetal (Fig. 17), en la totalidad del tramo fluvial se identificaron principalmente variaciones en la disposición y superficie de la vegetación en función de las diferentes secciones del cauce. Los resultados muestran que los mayores cambios espaciales se observan en el sector noreste (sección 1) y centro del tramo (sección 2) donde se identifica un aumento de la superficie vegetal, tanto en el canal como en la llanura de inundación. Según Ollero Ojeda (2009) este incremento de vegetación podría favorecer la disminución de los desbordes y el control de los procesos erosivos en el tramo. Por otro lado, el sector noroeste (sección 3) manifiesta escaso cambio en la superficie vegetal y los mayores aumentos se vieron en la llanura de inundación.

En cuanto a la disposición espacial de la vegetación, se identifica un patrón lineal distribuido homogéneamente en todo el cauce. Con respecto a esto, en la sección 1 la vegetación de ribera que crece en la llanura de inundación sobre la margen izquierda del arroyo sigue un patrón lineal continuo. Por otro parte, sobre la margen derecha la vegetación no se continúa con el lineamiento, sino que se expande en superficies desocupadas por el hombre. En las secciones 2 y 3 el crecimiento de la vegetación de ribera se dispone siguiendo un patrón lineal en sentido transversal y longitudinal al cauce. Este tipo de patrón en el área de estudio es consecuencia de las actividades hortícolas que se desarrollaron hasta mediados de la década de 1990. Dicha disposición vegetal fue establecida como medida no estructural destinada al control de crecidas y protección de cultivos por parte de los productores hortícolas. En tal caso, la vegetación está compuesta por tamariscos que crecen alineados a surcos y acequias en desuso que actualmente se activan en épocas de crecidas como canales de escurrimientos.

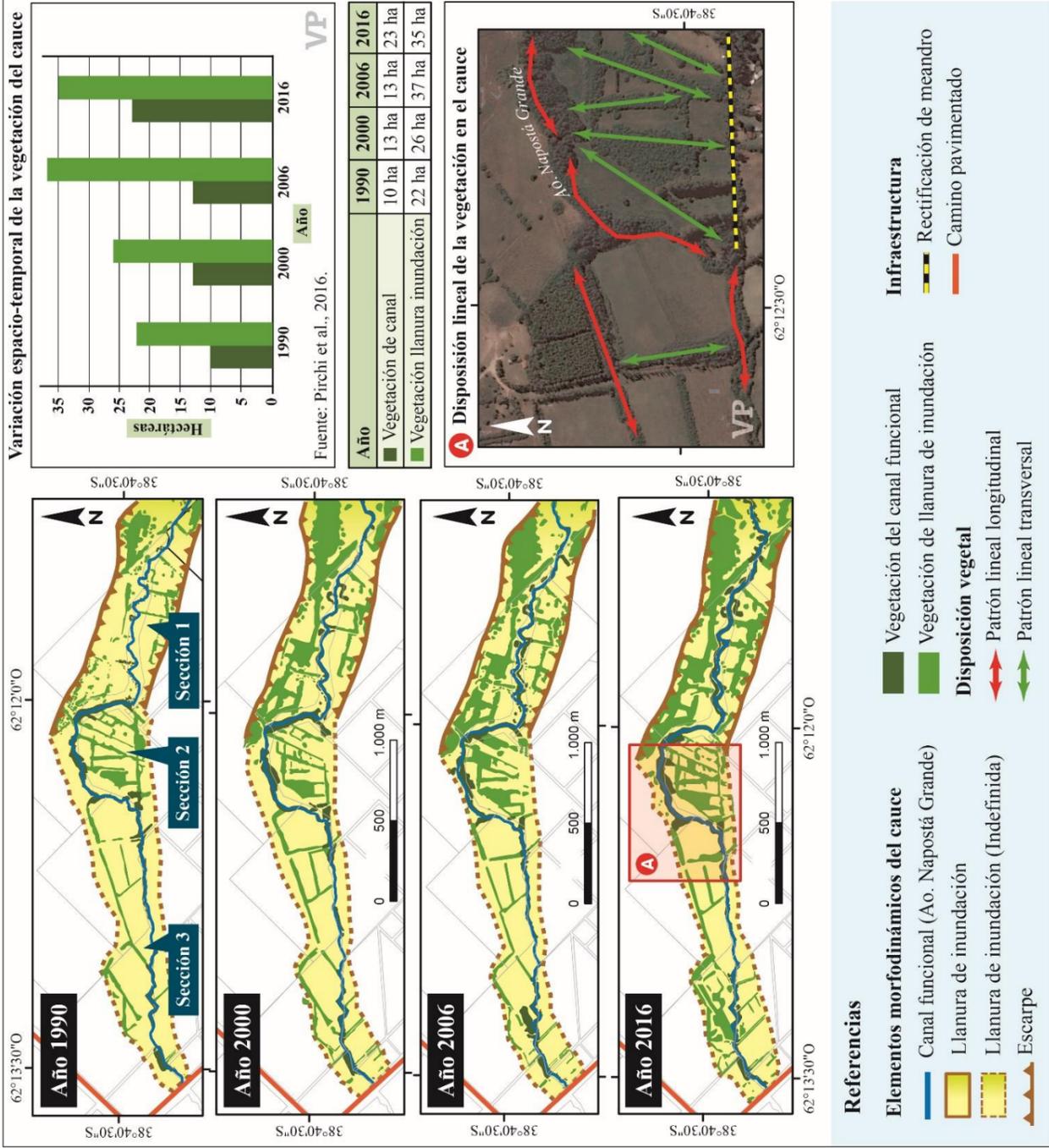
En cuanto a las características de la cobertura vegetal, la sección 1 del tramo fluvial se presenta cubierta con árboles de gran porte en su mayoría sauce criollo, eucaliptus y álamo blanco entorno al canal funcional y tamariscos en llanura de inundación. El patrón lineal de la vegetación en el canal funcional muestra una separación que permite al arroyo depositar sus sedimentos durante crecidas formando albardones o diques longitudinales de 0,50 m a 1 m de altura y depósitos de arenas que se extienden por la llanura de inundación.

Figura 16  
Deforestación en llanura de inundación para uso residencial



Fuente: Pirchi, V., 2019. Relevamiento de campo sector de los meandros 5' (sección 1) y 6 (sección 2).

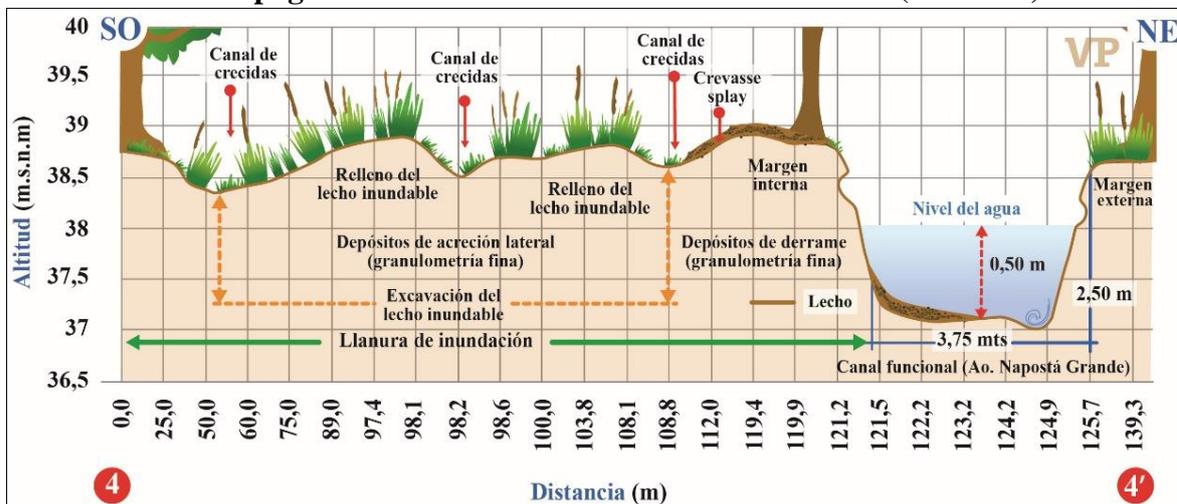
Figura 17  
Variación de la cobertura vegetal en el cauce del arroyo Napostá Grande (1990-2016)



Fuente: modificado de Pirchi et al. (2016) sobre la base de fotomosaicos (1990, 2000, 2006), imagen de Google Earth Pro (2016), Plano urbano de la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca (2015).

Esta sección es la que evidencia un comportamiento dinámico de tipo sedimentario con amplia llanura de inundación y canales secundarios que se activan durante crecidas del arroyo (Fig. 18). Se observa en la llanura inundable una alfombra vegetal con marcados rasgos de escurrimientos (canales temporarios) y depósitos de grietas de desbordamiento (crevasse splay). En las secciones 2 y 3, la vegetación de ribera que crece en las márgenes del arroyo (Fig. 19) se presenta formando una barrera al acceso compuesta por árboles, arbustos y enredaderas. Esta crece sobre albardones longitudinales antropogénicos de 0,70 a 1,60 m de altura vegetados en su mayoría con abundantes tamariscos arbóreos y en los claros el arroyo deposita sus sedimentos formando playas de arenas que se extienden por la llanura de inundación.

Figura 18  
**Perfil topográfico corte 4-4' en el sector del meandro 3 (sección 1)**



Fuente: Pirchi, V., 2019.

Figura 19  
**Procesos fluviales e influencia vegetal en las secciones del tramo fluvial**



Fuente: Pirchi V., 2019.

### **5.2.1. La influencia de la vegetación de ribera sobre la morfología del cauce**

El arroyo Napostá Grande en el tramo analizado discurre bajo un dosel arbóreo que compone la materia orgánica del cauce y que se describió precedentemente. También se encuentran entre ella restos de origen orgánicos denominados por Vericat y Batalla (2016) como madera muerta. La misma incluye hojarasca, ramas, troncos, flores, frutos y semillas. Según estos autores los restos orgánicos llegan al curso de agua como consecuencia de la caída de árboles de la ribera por erosión fluvial de las márgenes o al ser transportado por la corriente desde aguas arriba. Asimismo, la madera muerta tiene incidencia tanto sobre la morfología del cauce como sobre el funcionamiento hidrogeomorfológico ya que, tiene efectos directos en el transporte de sedimentos y en la forma del canal (Díez et al., 2016).

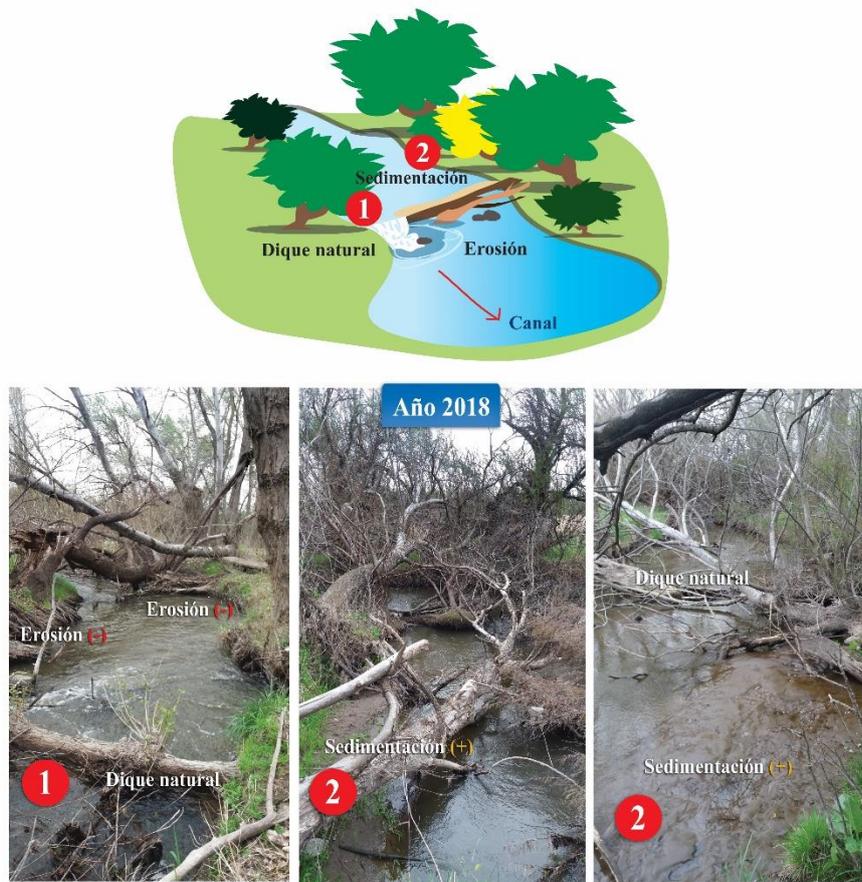
En el cauce estudiado la madera muerta puede aparecer en forma de ramas o fragmentos de pequeño tamaño, pero también troncos o incluso árboles enteros con sus raíces incluidas. En este capítulo se hace referencia al término madera muerta para hacer mención a aquellos fragmentos de mayor dimensión como troncos o árboles enteros, por ser los que mayores efectos tienen sobre la hidrodinámica y morfología del caNG. Considerado esto, en los tramos de las secciones 1 y 2 la madera muerta se encuentra mayormente en el canal funcional y en acumulaciones que se distribuyen irregularmente en márgenes cóncavas y convexas de los meandros. Sin embargo, en la sección 3 la presencia de la misma es menor y permanece inmóvil en el canal. En tal caso, se sugiere que la forma que presenta el canal en las diferentes secciones influye en dicha acumulación. Con respecto a esto, Díez et al., (2016), establecen que la sinuosidad y la altura de las orillas del cauce favorecen la retención de los troncos. Esto puede influir en la morfología del canal debido al ascenso del nivel de base local por un incremento en la sedimentación como también ensanchamiento de riberas por el zapado en la erosión lateral.

En este sentido, aguas arriba de la sección 1 del tramo, el canal es sinuoso y en partes estrecho con escasa altura de riberas. Se encuentra antropizado por obras de canalización, muro de contención (dique) y azudes que restringen el caudal y el transporte de sedimentos, por lo que la caída de árboles es menor. En las observaciones realizadas en campo se verificó que la madera muerta es escasa y su acumulación no restringe el transporte de sedimentos debido al mantenimiento y limpieza del cauce realizado por el predio recreativo. Sin embargo, esta antropización podría estar provocando la caída de árboles aguas abajo en las tres secciones, debido al cambio en la energía de los caudales y la desviación del flujo. Esto estaría provocando erosión localizada en las márgenes del canal y depósitos de sedimentos

aguas abajo de los meandros (Fig. 20). En algunos sitios la vegetación y la madera muerta restringen el transporte de sedimentos. Esto provoca la acumulación de depósitos marginales que quedan fuera del flujo ordinario y que Pedraza Gilsanz (1996) denomina acreción en barras marginales (Fig. 21).

La sección 2 es la que tiene mayor cantidad de madera muerta e intervención antropogénica en el cauce. Presenta un canal de sinuosidad bimodal y de ancho variable con riberas de escasa altura que permite a la corriente depositar la madera muerta sobre las márgenes cóncavas y convexas incrementando así la sedimentación y erosión lateral (Fig. 22). Además, la madera muerta actúa como dique obstaculizando el transporte y provoca la sedimentación hasta que la fuerza de la corriente de agua supera la capacidad de retención del dique formando pequeñas cascadas que erosionan el lecho dando lugar a zonas de remansos donde quedan depositada madera muerta la cual contribuye a un cambio en la morfología del sector (Fig. 23 y 24).

Figura 20  
**Vegetación de ribera, madera muerta y la morfología fluvial**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M. L.

Figura 21



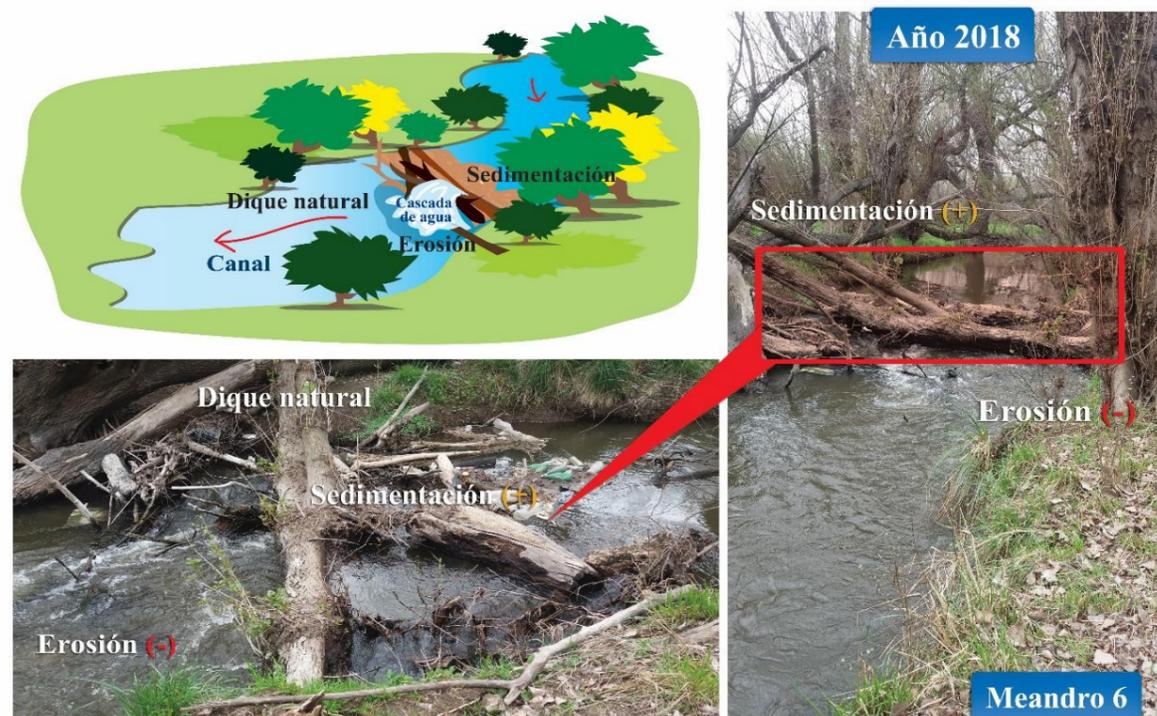
Figura 22



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M. L.

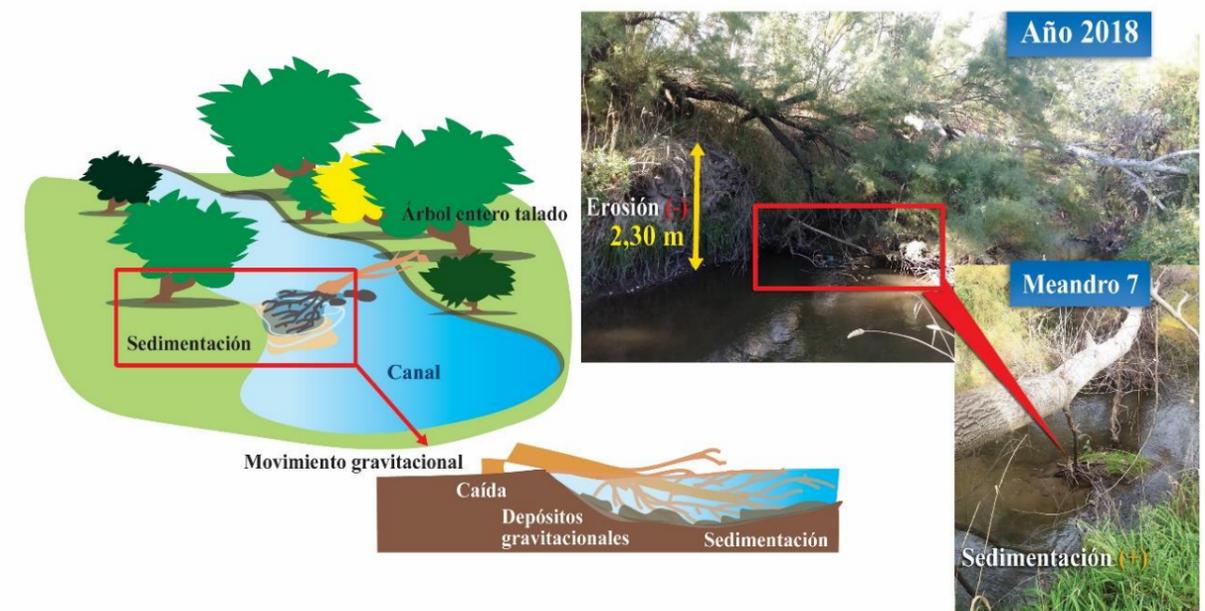
Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M. L.

Figura 23



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M. L.

Figura 24



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M. L.

La disipación de energía en las crecidas y la laminación del caudal por desbordamiento y deposición de sedimentos es el principal papel hidrogeomorfológico de las llanuras de inundación (Ollero Ojeda, 2009). En la mayoría de los ríos y arroyos, la ocupación de la llanura de inundación y su alteración por construcciones y cambios de cobertura restringen las funciones naturales. En el caso de la llanura de inundación del arroyo Napostá Grande existe aguas arriba de la sección 1 del tramo, una obra de defensa longitudinal que actúa como un muro de contención (dique) cuya función es la de protección ante las inundaciones. Estudios realizados por Ollero Ojeda (2009) y Rocha Felices (2009) en tramos fluviales demostraron que las obras de infraestructura en el cauce reducen la funcionalidad natural de la llanura de inundación e incrementa en crecidas, la velocidad y altura del agua como así también la erosión tanto aguas abajo como en la margen opuesta donde la crecida rompe la defensa. En la figura 25 se observa como en la margen opuesta al muro de contención se ha originado una incisión del canal funcional con afloramiento del sustrato y exposición de raíces de árboles y en ciertos casos llegan a caer al canal. La dinámica fluvial natural se detiene ante obras de canalización, endicamiento y azud. Esto se debe a que deja de circular agua y la vegetación comienza a crecer en este sector (Fig. 26).

### **5.3. Morfología del cauce del arroyo Napostá Grande en el periurbano norte**

#### **5.3.1. Cambios en la superficie y ancho de la llanura de inundación**

La llanura de inundación del arroyo Napostá Grande ha sido ocupada y transformada y a la actualidad la mayor parte de su superficie tiene un aprovechamiento residencial (permanente y de fin de semana) en zonas en las que transcurrían antiguos canales naturales y antropogénicos. Los resultados obtenidos muestran cambios en la llanura inundable con pequeños cambios en la superficie desde el año 1990. En cuanto a la anchura en promedio tiene 440 m y su carga es fundamentalmente arena y limo, lo que la convierte en una llanura de tipo aluvial. Ésta se ha mantenido con escasos incrementos y decrecimientos en todas las secciones y años analizados (Fig. 27). Noguera Corral, (2018) explica que la antropización supone una alteración de los procesos de crecida natural lo cual, provoca la reducción del tamaño del cauce y una pérdida en la dinámica fluvial. Por otra parte, en el análisis cartográfico se observó que desde 1990 hasta el presente en estudio la cantidad de canales que se activan durante crecidas sobre el lecho inundable es menor. Esto puede deberse al aumento de la cobertura vegetal que actúa interceptando y captando el drenaje superficial durante las crecidas.

Figura 25  
Exposición de raíces por erosión lateral de márgen



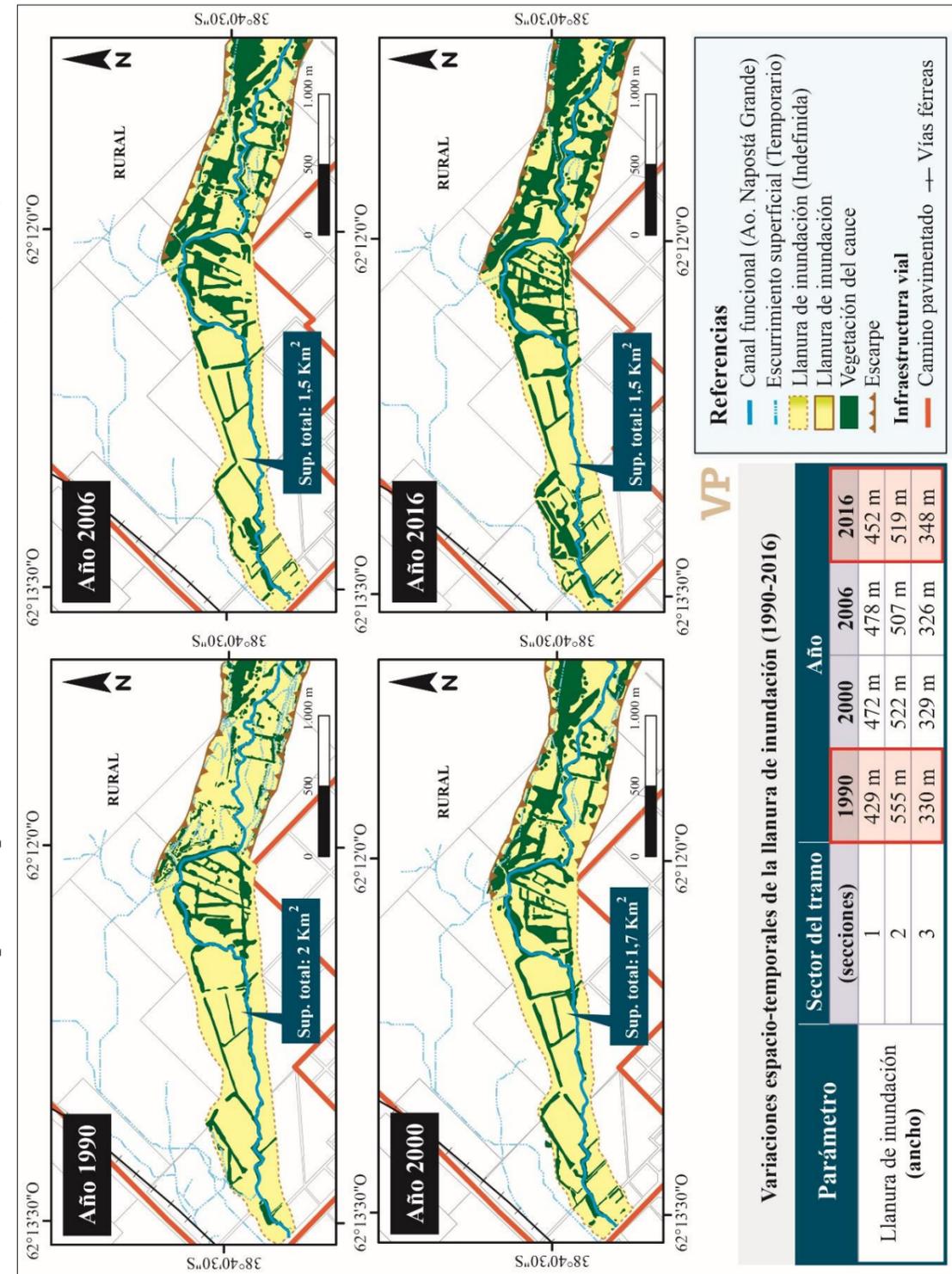
Fuente: Pirchi, V., 2019. Relevamiento de campo aguas arriba a sección 1, año 2016.

Figura 26  
Invasión vegetal y retención de sedimentos en muro de contención erosivo (dique)



Fuente: Pirchi, V., 2019. Relevamiento de campo aguas arriba a sección 1.

Figura 27  
Cambios espacio-temporales en el ancho de la llanura de inundación (1990-2016)



Fuente: Pirchi V., 2019 sobre la base de fotomosaicos (1990, 2000, 2006), imagen de Google Earth Pro (2016), Plano urbano de la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Bahía Blanca (2015).

Los mayores cambios se encuentran en el sector este del tramo fluvial (sección 1) donde se identifican constantes variaciones en el ancho de la llanura inundable y pérdida de drenaje por aumento vegetal. Esto también provoca estabilidad en los meandros y el equilibrio estable en los procesos erosivos y sedimentarios.

### 5.3.2. Análisis morfológico del trazado en planta del canal (1990-2016)

Entre los diversos parámetros que definen la morfología del trazado meandroso de un canal se encuentran aquellos que muestran la divagación de la corriente del río respecto a la línea del valle (sinuosidad) y los que indican la forma de meandros. En este apartado se analizan los cambios producidos en la forma en planta del thalweg como también en la geometría de los 23 meandros seleccionados durante el periodo considerado para este estudio.

#### 5.3.2.1. Parámetros de Sinuosidad

Para determinar la morfología del trazado general que adopta el tramo del cauce objeto de estudio se tuvo en cuenta su geometría en planta durante los últimos 26 años. Los resultados del periodo analizado (Tabla X) determinan que el carácter del canal principal del arroyo en todo el tramo tiene una sinuosidad promedio de 1,41.

Tabla X  
Índice de sinuosidad del tramo periurbano norte del arroyo Napostá Grande (1990-2016)

Índice de Sinuosidad y tipología del canal principal							
Parámetro	Tramo	Tipo de canal	Año				Promedio
			1990	2000	2006	2016	1990-2016
Índice de Sinuosidad (IS)	Sección 1	Baja sinuosidad	1,18	1,20	1,18	1,17	1,18
	Sección 2	tortuoso	2,09	1,92	1,90	1,97	1,97
	Sección 3	Baja sinuosidad	1,10	1,10	1,11	1,08	1,09
	General	meandriforme	1,46	1,41	1,40	1,41	1,41

Fuente: modificado de Pirchi et al. (2017) adecuado a rangos de sinuosidad de Vericat y Batalla, 2016.

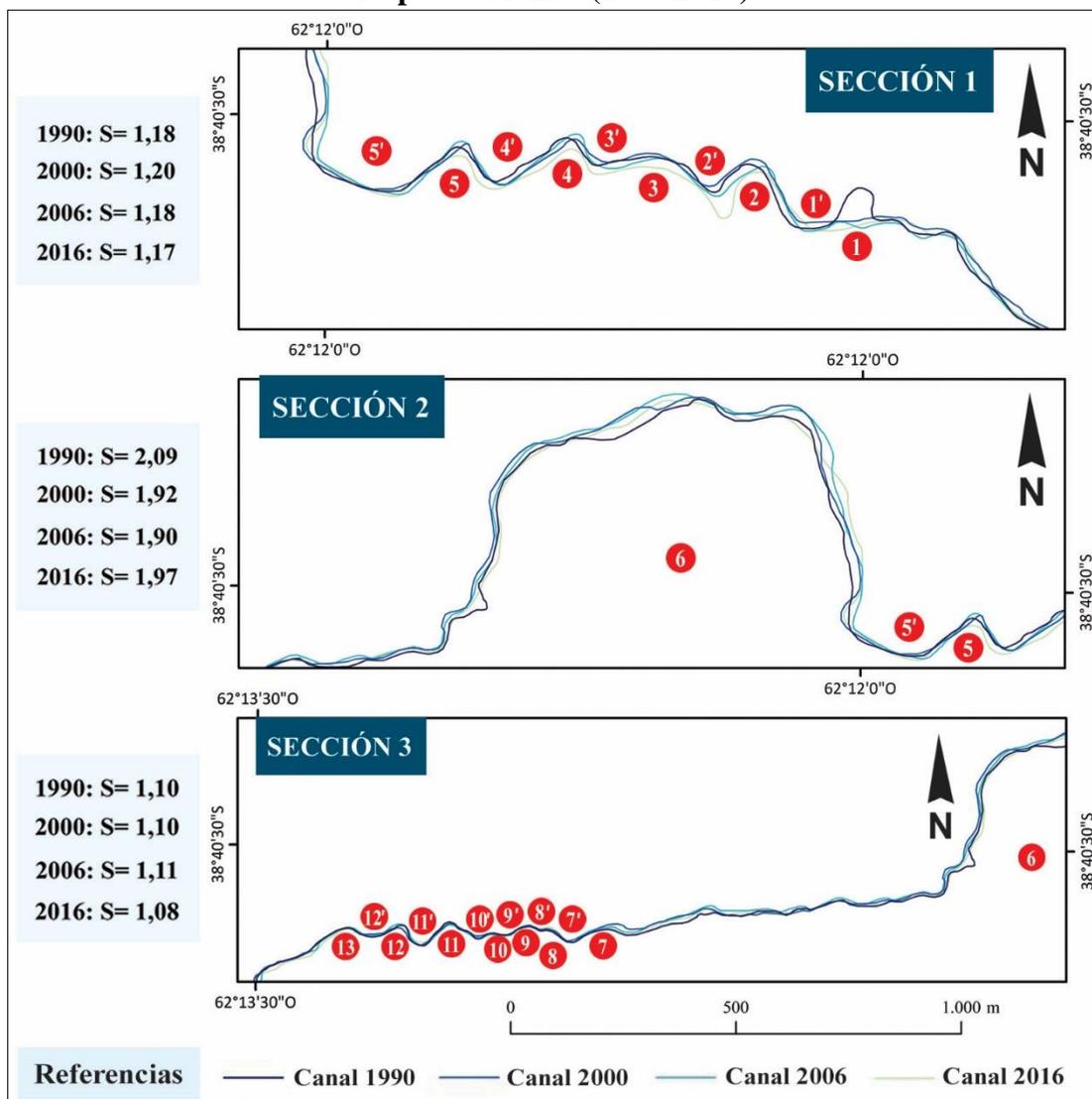
La tipología que presenta el canal del arroyo Napostá Grande en todo el tramo periurbano corresponde al tipo meandriforme bimodal<sup>7</sup> por estar comprendido entre los valores del rango 1,3 y 1,8. En general, el cauce ha perdido sinuosidad con respecto al año 1990, pero en promedio el trazado de la corriente fluvial se ha mantenido constante en todo el periodo, con valores mayores a 1.

Por otro lado, en las secciones existen diferencias en la sinuosidad que sugieren un comportamiento variable. En este sentido, en la sección 1 la sinuosidad es baja mientras que

<sup>7</sup> El sistema de meandros puede ser bimodal cuando se superponen dos sistemas de meandros de diferentes dimensiones (Gutiérrez Elorza, 2008:292).

en la sección 2, el trazado del cauce cambia su curvatura a tortuoso y bimodal notándose una curva grande que a su vez presenta sinuosidad. Por último, la sección 3 presenta una baja sinuosidad con curvaturas poco perceptibles y escasas. Estas pequeñas variaciones de la sinuosidad que manifiestan los tres secciones están relacionados a variaciones de caudal, a la presencia de vegetación, como también a obras de infraestructura sobre el cauce que modifican el trazado del arroyo. En la figura 28 se observan los trazados de los tres subtramos para cada año considerado y se representan los resultados del índice de sinuosidad (IS). Durante el periodo estudiado, se puede advertir que no hubo grandes variaciones en la sinuosidad a excepción del corte del meandro 1, en la sección 1 del tramo.

Figura 28  
**Variación témporo-espacial de la sinuosidad en el tramo periurbano del arroyo Napostá Grande (1990-2016)**



Fuente: modificado de Pirchi et al. (2017) sobre la base de vista ampliada de fotomosaicos (1990, 2000, 2006) e imagen de Google Earth Pro., (2016).

### 5.3.2.2. Variaciones en la longitud del canal (*thalweg*)

La continua variación en el tiempo de los canales sinuosos es una de las características de las llanuras aluviales con meandros. Estos son elementos morfodinámicos que cambian constantemente. Por otra parte, el canal puede migrar, ser estrangulado y/o abandonado por avulsión y crecer y decrecer en su curvatura. Asimismo, los cortes de meandros suelen ser la fase final del elongamiento de la curva que provocan una reducción en la amplitud y sinuosidad por acortamiento de la longitud del canal e incrementándose la pendiente del cauce (Gutiérrez Elorza, 2008; Quintana Cobo, 2015).

Por lo que se refiere a la longitud del canal del arroyo Napostá Grande en el tramo considerado, ésta presenta variaciones en su recorrido por el valle (Tabla XI). En el año 1990 la longitud total del canal ( $L_c$ ) es de 4.808 m recorridos a lo largo de un valle de 3.702 m. En el año 2016 el canal pasó a tener una longitud total de 4.647 m a lo largo de un valle de 3.680 m. En el periodo estudiado, los resultados determinaron que el arroyo perdió sinuosidad por un acortamiento en la longitud del canal de aproximadamente 161 m. Esta disminución del recorrido de la corriente puede vincularse con el aumento de la vegetación en el cauce factor que podría condicionar su desplazamiento longitudinal.

Tabla XI  
Variaciones de la longitud del canal en su tramo periurbano norte (1990-2016)

Parámetro	Año			
	1990	2000	2006	2016
Longitud del canal ( $L_c$ )	4.808 m	4.661 m	4.692 m	4.647 m
Longitud del valle ( $L_v$ )	3.702 m	3.653 m	3.680 m	3.680 m

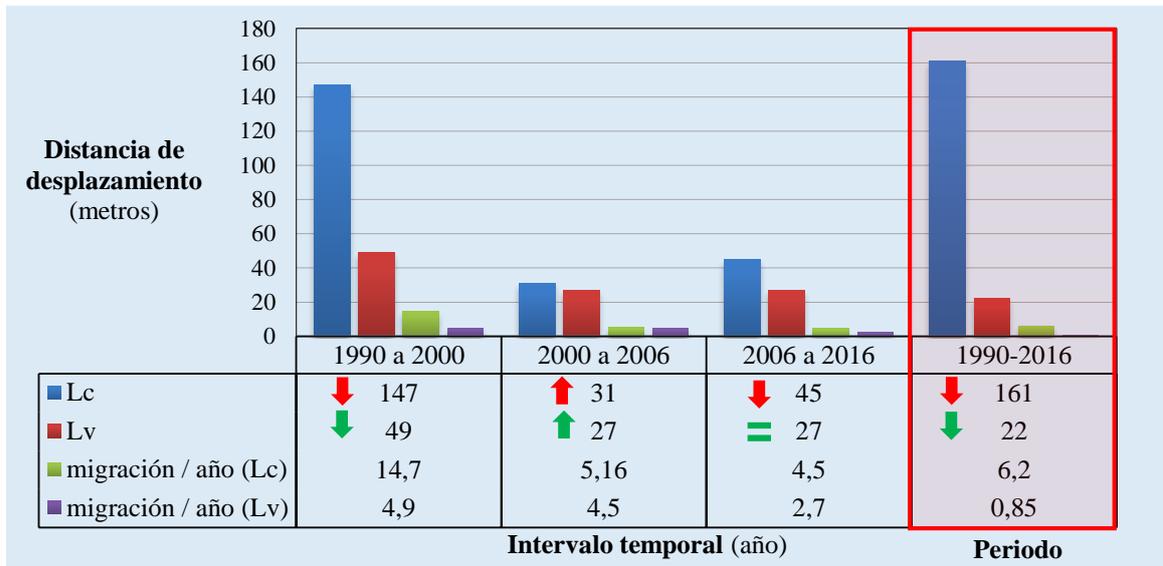
Fuente: Pirchi V., 2019.

En la figura 29, se muestra la velocidad de migración a partir de la distancia de desplazamiento en línea recta del *thalweg* y la distancia en metros desplazada por año. Se puede observar que en el intervalo 1990 a 2000 el canal del arroyo disminuye 147 m en su recorrido a lo largo del valle, perdiendo así sinuosidad por acortamiento. Asimismo, en estos primeros 10 años del periodo el canal del arroyo migra o se desplaza 14,7 m por año. En oposición a esto, el intervalo de tiempo 2000-2006 presentó en 6 años un alargamiento de 31 m en la  $L_c$  con una velocidad de migración de 5 m. Sin embargo, durante el último periodo 2000-2016, el canal del arroyo no presenta variaciones.

Estos cambios en la longitud del canal están relacionados mayormente con el corte del meandro 1, el incremento de la vegetación en el valle, la regulación del caudal y defensas del canal resultado de diversas obras de infraestructuras sobre el cauce. Cabe aclarar que, la

intervención humana en las riberas de los cauces a través de embalses con desviaciones de caudal y defensas en las márgenes provocan diferencias en el nivel de base local. Estos, según Ollero Ojeda (2007), generan que la dinámica fluvial sea muy restringida debido a que las obras confinan las crecidas e impiden la formación de nuevas formas fluviales.

Figura 29  
**Migración del canal en su recorrido por el valle (1990-2016)**



Fuente: Pirchi V., 2019. Las flechas indican: (↓) acortamiento de la longitud del canal. (↑) alargamiento de la Longitud del canal. (↓) acortamiento de la longitud del valle. (↑) alargamiento de la Longitud del valle (=) estable.

### 5.3.3. Análisis de los cambios morfológicos de los meandros (1990-2016)

#### 5.3.3.1. Parámetros de meandros

La variación de la geometría de éstos está controlada por la competencia del flujo, por los materiales y por el grado de confinamiento del valle (Batalla y Tena, 2016). En el análisis de la forma de los meandros estudiados se consideraron los parámetros amplitud del arco de meandro ( $A_m$ ), longitud de onda del arco ( $\lambda$ ) y radio de curvatura del meandro ( $R_c$ ). En la tabla XII, se presentan los resultados del comportamiento morfométrico en los parámetros de los 23 meandros seleccionados y se determina a partir de ello la morfodinámica fluvial.

De esta manera, los resultados del comportamiento morfométrico en los meandros analizados reflejan que, si el parámetro  $A_m$  aumenta, entonces se incrementan los procesos erosivos en margen cóncava y el espacio de divagación del meandro. Mientras que la disminución de este parámetro indica que el espacio de divagación ha disminuido a causa de un incremento en la sedimentación (Anexo I). Respecto al parámetro  $R_c$ , éste se relaciona con la movilidad lateral del cauce y su disminución se asocia a procesos de sedimentación

que propician la acreción en barras marginales y lecho inundable. No obstante, si el  $R_c$  aumenta se produce movilidad lateral por erosión dando como resultado un ensanchamiento del canal (Anexo I). Finalmente, si  $\lambda$  aumenta la distancia entre las curvas consecutivas de meandros es mayor por lo que disminuye la longitud del thalweg ( $L_c$ ) y de esta manera se reduce la sinuosidad. Contrariamente, la disminución de este parámetro implica que la distancia entre las curvas consecutivas de meandros sea menor por lo que aumenta la sinuosidad debido al mayor recorrido de la corriente (Anexo I).

Tabla XII  
**Relaciones geométricas en el comportamiento dinámico de los meandros**

Parámetros	Comportamiento dinámico		Morfodinámica fluvial (Proceso dominante)
	(↑) aumenta	(↓) disminuye	
Amplitud de la curva ( $A_m$ )	$A_m$ (↑)		Mayor erosión (-)
	$A_m$ (↓)		Mayor sedimentación (+)
Radio de curvatura ( $R_c$ )	$R_c$ (↑)		Mayor erosión (-)
	$R_c$ (↓)		Mayor sedimentación (+)
Longitud de onda ( $\lambda$ )	$\lambda$ (↑)		Menor la sinuosidad (-)
	$\lambda$ (↓)		Mayor la sinuosidad (+)

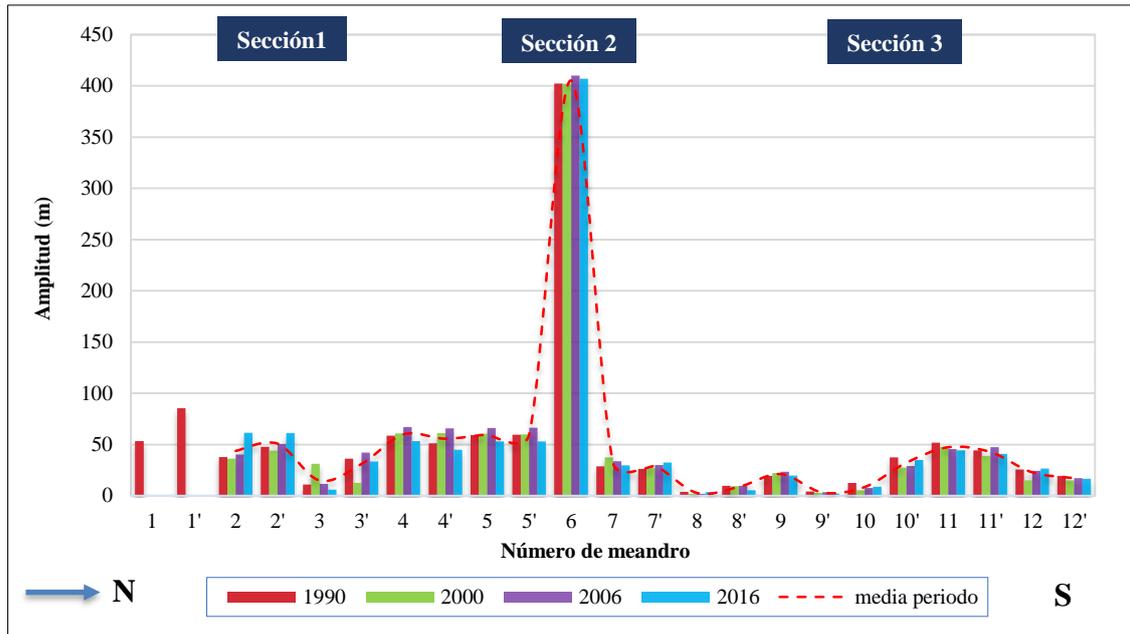
Fuente: Pirchi V., 2019.

#### 5.3.3.1.1 Amplitud de la curva de meandro ( $A_m$ )

Este parámetro de forma se utiliza como un índice de la contención o confinamiento lateral de una corriente. Dicho de otro modo, hace referencia al espacio ocupado por las curvas del río en su desplazamiento lateral (Gallego et al. 2014). Este espacio de divagación se denomina banda activa y corresponde a la zona de la llanura aluvial directamente influenciada por la dinámica lateral de los cauces, la cual está delimitada por una línea imaginaria que uniera los taludes cóncavos de los meandros (García Martínez, 2015).

Durante el periodo 1990-2016, en todo el tramo del arroyo la amplitud de la curva de los meandros varía entre máximos de 410 m y mínimos de 2 m (Fig. 30). Los meandros se movilizan en una zona de divagación media de 50 m a lo largo de todo el valle a excepción del meandro 6. Para todos los años analizados dicha zona se ha mantenido estable y las grandes diferencias entre los valores máximos y mínimos se deben a la amplitud del meandro 6. Este meandro es el único que se moviliza en una zona de divagación promedio de 400 m a lo largo del valle.

Figura 30  
**Variación morfométrica en la amplitud de meandros (1990-2016)**



Fuente: modificado de Pirchi et al. (2017).

El análisis por sección del tramo en estudio demuestra que los meandros están en equilibrio estable y su dinámica se manifiesta por un continuo alargamiento y acortamiento en la amplitud de la curva. En efecto, los cambios en la  $L_c$  como también la migración lateral aguas abajo causada por erosión y sedimentación pueden ser las causantes de estas modificaciones en el parámetro (Rocha Felices, 2009).

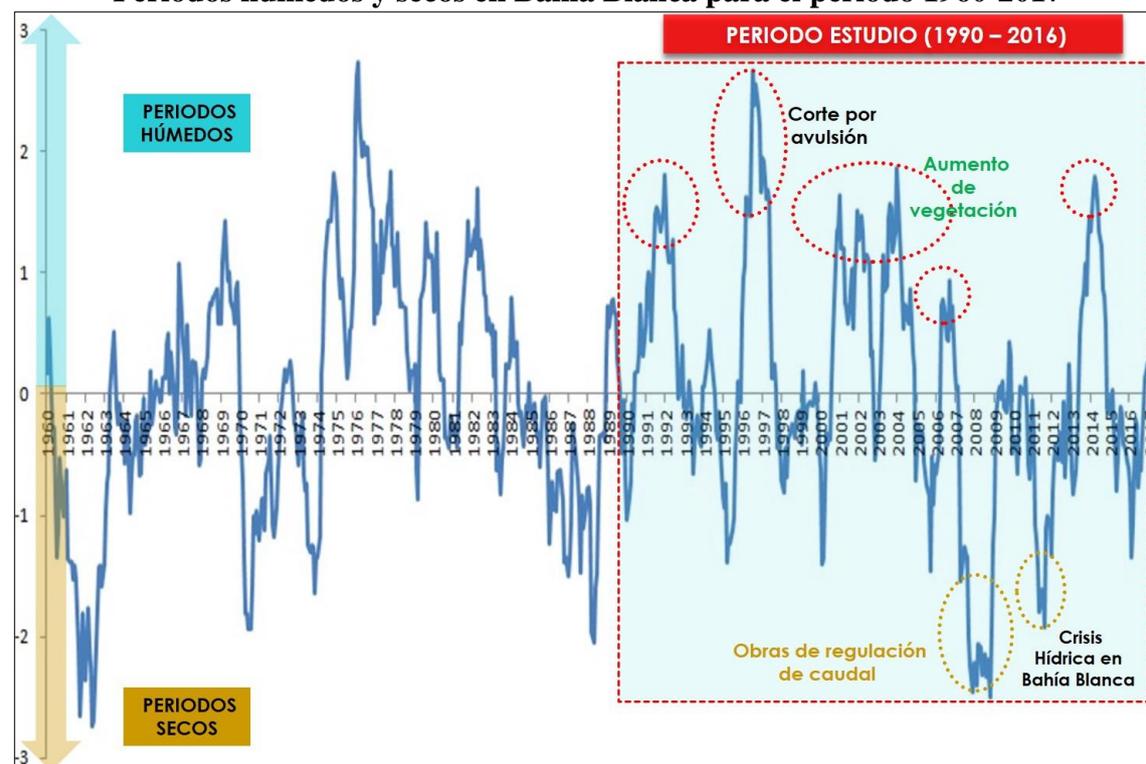
En la sección 1 del tramo, la zona de divagación de los meandros del año 1990 osciló entre máximos de 85 m y mínimos de 11 m, siendo la media de 50 m. Sin embargo, en el año 2016 la misma alcanzó valores en el rango de 61 m a 6 m con una media de 46 m. En todo el periodo estudiado los meandros presentan escasas variaciones percibiendo un acortamiento lateral del espacio de divagación que en promedio disminuyó 4 m. De un total de 10 meandros analizados 6 presentan las mayores variaciones en su amplitud, tal es el caso de los meandros 1, 1', 2, 2', 3, 3'. En este sentido, los meandros 1 y 1' registraron un corte por avulsión después del año 1990, lo cual provoca el cambio en la amplitud de los meandros adyacentes. Esto sería causado, principalmente, por los desbordes del canal derivado de sucesivas crecidas y la rectificación del meandro contiguo que genera cambios en el nivel de base local. Esta situación fue planteada por Gutiérrez Elorza (2008) y García Martínez (2015) para ríos urbanos en España.

En relación a esto, el periodo 1990-2000 en los que se registró el corte de este parámetro (Am) está comprendido dentro de una década que según el Índice de Precipitación

Estandarizado (Fig. 31) se caracterizó por presentar varios ciclos húmedos<sup>8</sup> (Ferrelli, 2016). Por otro lado, asociados a los ciclos de sequías extremas se destacan la rectificación antropogénica del meandro ubicado aguas arriba y contiguo al meandro 1 junto al aumento de obras hidráulicas efectuadas luego de la crisis hídrica que afectó a Bahía Blanca en el periodo 2009-2011. Estas intervenciones antropogénicas y las sucesivas crecidas provocaron cambios en los niveles de base locales del arroyo Napostá Grande en el tramo analizado.

Figura 31

### Periodos húmedos y secos en Bahía Blanca para el periodo 1960-2017



Fuente: modificado de Ferrelli (2016).

En la sección 2 del tramo, el meandro 6 se ha mantenido estable y sin cambios durante los primeros 10 años del periodo. Sin embargo, durante 2000-2006 registró un aumento en la amplitud de la curva. Esto es la respuesta morfométrica a la alteración hidrológica como consecuencia de la intervención ingenieril (Fig. 32) mediante la construcción de un endicamiento con compuertas en el canal y derivación del caudal por acequias/surcos para el riego de quintas hortícolas (actualmente en desuso). Esto, según García Martínez (2015), conlleva a cambios en el caudal y el aumento de procesos erosivos tendientes a incrementar la amplitud de la curva.

<sup>8</sup> Ante la inexistencia de datos históricos de aforos oficiales, las **variaciones de caudales** (líquidos y sólidos) se relacionaron con los ciclos húmedos y secos descritos por el IPE (Índice de Precipitación Estandarizado) calculado para la ciudad de Bahía Blanca durante el periodo 1960-2017 (Ferrelli, 2016).

Figura 32  
Obras de infraestructura hidráulica en sección 2 del tramo periurbano



Fuente: Pirchi V., 2019.

En la sección 3 del tramo, los meandros analizados muestran un comportamiento estable y escasas variaciones en la amplitud de la curva con máximos de 52 m y mínimos de 2 m. La zona de divagación (ancho) de los meandros del año 1990 osciló entre 4 m y 52 m, siendo el valor medio de 24 m. En el año 2016, la misma se mantuvo en el rango de 2 m y 44 m con una media de 22 m. Esto determina que actualmente esta sección del tramo presenta un equilibrio dinámico con escasa migración lateral.

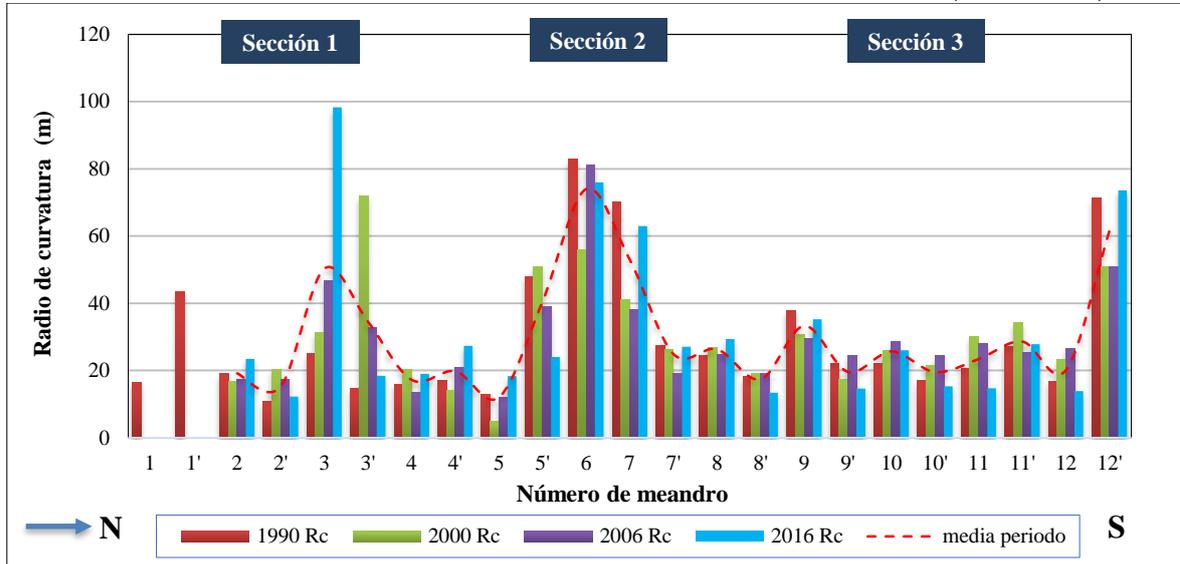
De un total de 12 meandros analizados, 6 han presentado las mayores variaciones en su amplitud, tal es el caso de los meandros 7, 10, 10', 11, 11', 12, mientras que el resto de los meandros mantienen equilibrio dinámico. Esto es la respuesta morfométrica a la alteración hidrológica llevada a cabo por la práctica de actividades hortícolas. Estas provocaron cambios en el diseño del cauce a través de sistemas de endicamiento y derivación del caudal por compuertas para riego.

#### 5.3.3.1.2 Radio de curvatura del arco ( $R_c$ )

Este parámetro de forma representa la desviación o inflexión de una curva de meandro individual lo cual indica la movilidad lateral del canal (Gallego et al. 2014). Los resultados indican que los radios de curvatura de los meandros en todo el tramo aumentan, disminuyen o se encuentran estables a lo largo del periodo considerado (Fig. 33). Los valores del parámetro oscilan en un rango mínimo de 5 m y máximos de 98 m. La mayoría de los

meandros de las tres secciones analizadas muestran variabilidad en sus radios de curvatura por lo cual, el arroyo manifiesta migración en su desplazamiento lateral.

Figura 33  
**Variación morfométrica en el radio de curvatura de meandros (1990-2016)**



Fuente: modificado de Pirchi et al. (2017).

En la sección 1 del cauce, los meandros 1 y 1' registran cortes. Las mayores variaciones se manifiestan en el meandro 3 que presenta un aumento de su radio de curvatura debido a la predominancia de procesos erosivos. Sin embargo, el meandro adyacente 3' registra un descenso en su radio de curvatura como resultado de la sedimentación. A su vez, el meandro 5' evidencia en todos los años un comportamiento inestable con tendencia, en los últimos años, a la reducción de su radio de curvatura debido a mayores procesos de sedimentación. En este sitio se observa que el curso de la corriente se bifurca de lo que se desprende una posible variación en la pendiente del valle. En esta sección el resto de los meandros presentaron un equilibrio dinámico en sus radios de curvatura, es decir entre lo que erosionan y depositan.

En la sección 2 el comportamiento morfológico es más complejo debido a la característica bimodal del meandro. La curva de mayor amplitud permanece estacionaria en el periodo estudiado mientras que, las curvas de menor amplitud superpuestas a la anterior son las que presentan mayor dinámica. Esto puede deberse a las diversas intervenciones antrópicas sobre el cauce. En este sentido, el inicio de la curvatura de este meandro y el contiguo meandro 5' coinciden con la bifurcación del curso del arroyo mencionado anteriormente (Fig.33). En el pasado, los productores hortícolas realizaron el corte del meandro 6 aprovechando esta bifurcación y canalizando el cauce hasta su finalización (Fig. 34). Además, realizaron un

sistema de acequias para riego de sus quintas (Fig. 35). Como consecuencia, en la actualidad el meandro se encuentra encajonado en el valle debido a procesos de incisión vertical que provocan la profundización del lecho y socavamiento de orillas.

Figura 34  
**Corte artificial del meandro 6, sección 2 del tramo periurbano**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Las flechas en trazo azul indican dirección de la corriente de agua.

Figura 35  
**Sistema de acequias para riego en meandro 6, sección 2 del tramo periurbano**



Fuente: Pirchi, V., 2019.

La sección 3 no presenta grandes cambios en los radios de curvatura a excepción de los meandros 7, 11 y 12'. El meandro 7 en el último periodo aumentó su radio de curvatura como resultado de mayores procesos erosivos. El meandro 11 disminuye considerablemente debido a la predominancia de procesos de sedimentación. En el reconocimiento de campo (Fig. 36), se observó que este meandro tiene un endicamiento transversal sobre el canal que en el pasado fue utilizado para elevar el nivel del agua y derivarlo hacia una compuerta localizada sobre la margen cóncava para el riego de cultivos. Este sector en la actualidad presenta incisión en canal (profundización), erosión lateral de ambas márgenes y cambio en

la forma del trazado como resultado de intervenciones antropogénica directas cuya erosión vertical (incisión) ha dejado al descubierto la capa de calcreta (localmente denominado tosca). La dinámica fluvial de esta sección se muestra en el apartado 5.4.2.

Figura 36  
Cambios antropogénicos en el trazado del meandro 11, sección 3



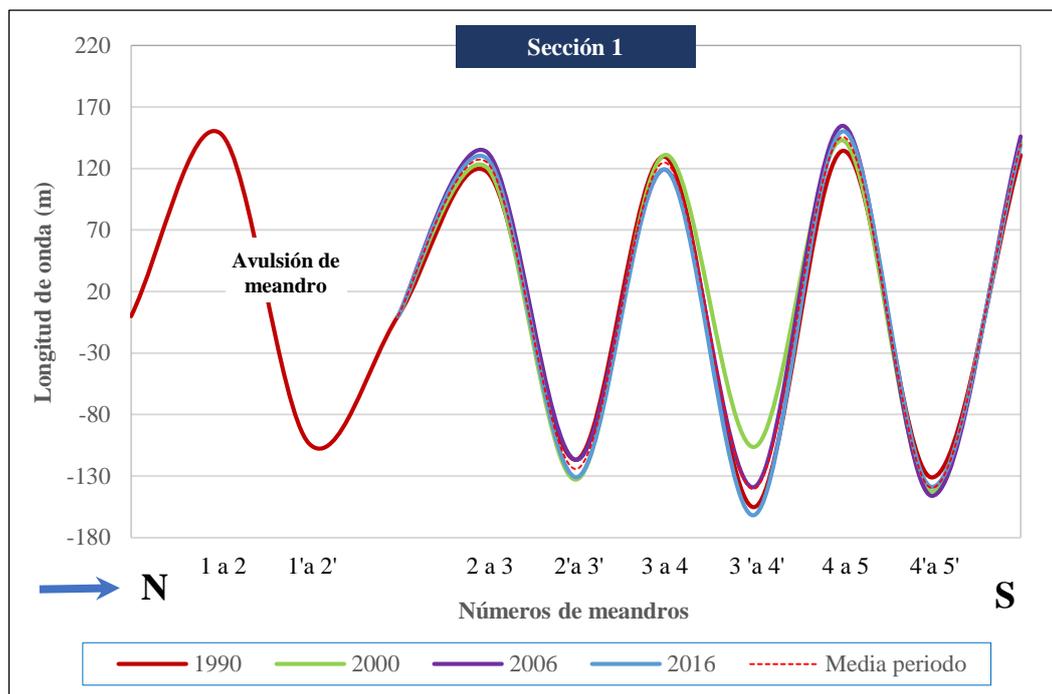
Fuente: Pirchi V., 2019.

### 5.3.3.1.3 Longitud de onda del arco ( $\lambda$ )

Este parámetro es un indicador de la forma del trazado del meandro según se doble en sentido a la corriente o transversalmente a ella. En tal sentido, determina si disminuye o aumenta la sinuosidad del trazado de un cauce (Rocha Felices, 2009). Se aclara que el cálculo de la longitud de onda no se realizó para la sección 2 debido a que las dimensiones del meandro N°6 se exceden del trazado general.

Los resultados determinaron que la longitud de onda ( $\lambda$ ) de los meandros en las secciones 1 y 3 del tramo se encuentran en equilibrio mostrando escasas variaciones a lo largo del periodo considerado. En la sección 1 (Fig. 37), los meandros que presentan mayor variación en su longitud de onda son los senos (2'-3') y (3'-4') y la cresta 4-5. Respecto a esto, los senos registran cambios constantes de crecimiento y decrecimiento en la distancia entre los meandros. En la cresta el parámetro tiene variaciones en todo el periodo, pero el cambio más grande se obtuvo en el intervalo temporal 2006-2016, en el que la longitud del canal aumenta su recorrido por el valle producto del aumento de sinuosidad.

Figura 37

**Variación morfométrica en la longitud de la onda del arco de meandros (1990-2016)**

Fuente: modificado de Pirchi et al. (2017).

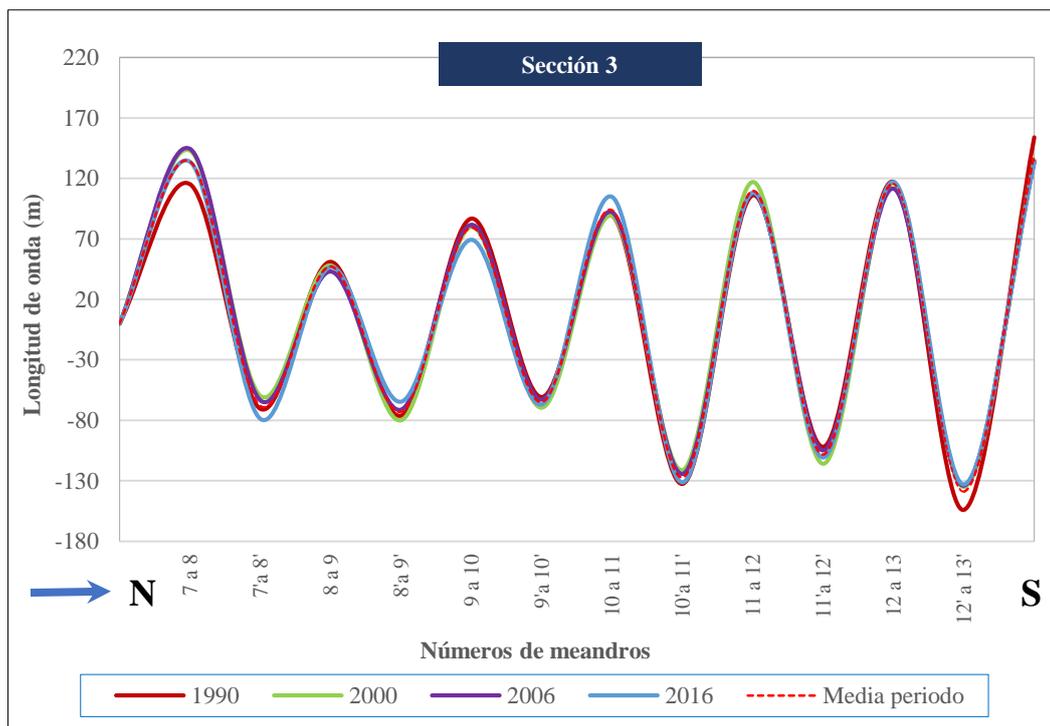
En la sección 3 (Fig. 38), los meandros con más cambios en este parámetro son la cresta (7-8), (9-10), (10-11) y el seno (12'-13'). En las crestas los cambios más notables se muestran en el meandro 7-8 con una importante pérdida de sinuosidad durante el periodo 1990-2006 pero en el último periodo 2006-2016 aumenta la sinuosidad. La cresta 9-10 tiene crecimiento y decrecimiento constante en la ( $\lambda$ ) durante todo el periodo analizado. Por último, el seno 12'-13' muestra un descenso en la ( $\lambda$ ) debido al aumento en la sinuosidad del trazado de la corriente.

En las dos secciones analizadas el parámetro muestra un equilibrio y en algunos casos se mantiene estable entre los intervalos temporales. Este equilibrio en la longitud de onda puede deberse a dos factores uno litológico y otro antropogénico. En el caso del primero, el desarrollo o evolución de meandros depende de la resistencia de las orillas a la erosión y del confinamiento del valle además de otros factores (Batalla y Tena, 2016). En este sentido, en el tramo periurbano analizado el arroyo Napostá Grande discurre sobre un valle que está controlado por la calcreta<sup>9</sup>, un material sedimentario endurecido que presenta resistencia a

<sup>9</sup> La **calcreta** es la costra calcárea denominada "tosca" en Argentina. Es un material sedimentario de origen continental formado predominantemente por carbonato cálcico (caliza) cuya consistencia es pulverulenta y nodular a fuertemente endurecida que implica la cementación del suelo. Se caracterizan por su elevado grado de endurecimiento y su resistencia a la erosión (Apuntes cátedra Geomorfología, 2006).

la erosión. Este factor de control litológico podría provocar la restricción de la libre movilidad de los meandros a grandes distancias y por este motivo la longitud de onda no presente variación en la mayoría de ellos. Por otra parte, el aumento constante en la cobertura vegetal del cauce controla la erosión y sedimentación. Este factor antropogénico puede ser el causante del aumento en la longitud de onda y de la pérdida de sinuosidad ya que, la introducción de abundante vegetación actúa como confinamiento en el valle (Batalla y Tena, 2016).

**Figura 38**  
**Variación morfométrica en la longitud de la onda del arco de meandros (1990-2016)**



Fuente: modificado de Pirchi et al. (2017).

## 5.4. Consecuencias de las intervenciones antropogénicas sobre la dinámica fluvial del cauce

### 5.4.1. Intervenciones directas en el arroyo Napostá Grande

La forma y dinámica del arroyo Napostá Grande en el tramo estudiado está controlada por factores naturales, en especial los climáticos, que inciden en la variabilidad estacional del caudal<sup>10</sup> (eventos extremos de precipitaciones locales y regionales). Asimismo, la existencia de ciertos elementos antropogénicos también incide sobre el volumen del caudal circulante.

<sup>10</sup> Uno de los inconvenientes en este estudio para el análisis temporal ha sido la falta de datos hidrológicos y sedimentológicos continuos debido a la inexistencia de aforos oficiales en el arroyo Napostá Grande.

Entre los que se relevaron se destacan los siguientes: rectificaciones de meandros, canalizaciones, surcos, muro de contención de márgenes erosivos, azudes, endicamiento, compuertas, puentes y caminos.

#### 5.4.1.1. Toma de agua directa (con azud derivador)

Agua arriba de la sección 1 del tramo, en el año 2010 se realizó la construcción de la toma de agua directa del canal activo que se encuentra localizado en el interior del Predio de la Asociación Empleados de Comercio (Fig. 39). La misma fue ejecutada, al igual que el dique de contención que se detallará a continuación, como medidas de mitigación entre los años 2009 y 2011, cuando se decretó la crisis hídrica en Bahía Blanca y la región (ABSA, 2017).

Figura 39  
Ubicación de la toma directa con azud derivador aguas arriba a sección 1



Fuente: Pirchi, V., 2019 sobre la base de imagen de Google Earth Pro con fecha 10/05/2019.

Esta obra se efectuó sobre la margen externa del meandro para aprovechamiento humano del recurso hídrico. Comprende un sistema de endicamiento y azud construida en hormigón con una toma de agua lateral a través de una planta de bombeo con ducto hacia la Planta Potabilizadora Patagonia (ABSA). El caudal sobrante es desviado fuera del cauce activo a través de una canalización (sin revestimiento) cuyo desagüe final es el comienzo de la sección 1 del tramo estudio.

#### 5.4.1.2. Defensa longitudinal de margen (dique de contención)

Esta obra de intervención fue construida en hormigón armado con piedra como defensa longitudinal de la margen del arroyo (Fig. 40). Al ser un sector en el que predomina el uso del suelo deportivo-recreativo y en menor proporción residencial, su función consiste en estabilizar el cauce (impedir erosión e inundación) para hacer uso de las orillas y de los espacios de la llanura de inundación.

Figura 40

#### Muro de contención (dique) aguas arriba a sección 1



Fuente: Pirchi, V., 2019. Relevamiento campaña 27/04/2016 (izquierda) y 23/04/2018 (derecha).

#### 5.4.1.3. Canalizaciones, rectificaciones y acequias

En todo el tramo estudiado y aguas arriba del mismo existen varias modificaciones del trazado del cauce debido a diversas acciones humanas como: desvíos por acequias, surcos, rectificaciones de meandros y canalizaciones (Fig. 49). Las acequias correspondientes a las secciones 2 y 3 fueron construidas por los productores en hormigón armado de concreto para riego de cultivos ubicados en la llanura de inundación. En la actualidad, éstas están en desuso, pero aun así interfieren en la dinámica de la sección cuando en ésta se producen crecidas. Durante estos eventos, los excedentes de caudal alcanzan la llanura de inundación a través de las acequias y los desbordes incrementan la velocidad de ocupación de la llanura de inundación por el agua. Esto provoca inconvenientes en las residencias distantes a 20 m del canal.

Las canalizaciones situadas aguas arriba del tramo fueron diseñadas siguiendo el escurrimiento natural. Están construidas sin revestimiento de sus márgenes con sistemas de ductos para desagües pluviales con pendiente hacia el arroyo Napostá Grande. Por último, existen dos rectificaciones artificiales que cortan los meandros; en el caso de la rectificación

del meandro 6 el dragado es de escasa profundidad con márgenes revestidas en hormigón armado, mientras que la rectificación ubicada aguas arriba y adyacente al meandro 1 presenta un dragado profundo y sin revestimiento.

#### 5.4.1.4. Puentes y senderos

Las principales intervenciones que afectaron la dinámica fluvial corresponden a puentes y caminos peatonales. Estas obras civiles son obstáculos que rompen la continuidad longitudinal y lateral del cauce además de la topografía del fondo del lecho. En el relevamiento de campo se observó su deterioro en los cimientos y soportes como resultado de las variaciones de caudal y activación de procesos erosivos y de transporte en eventos de crecidas.

#### 5.4.2. Dinámica hidrogeomorfológica en las secciones del tramo estudio

Luego de haber analizado los parámetros de meandros se estimaron cambios morfológicos<sup>11</sup>. A su vez, se estableció en forma cualitativa el proceso fluvial dominante para cada una de las secciones del tramo fluvial periurbano según el intervalo temporal (tabla XIII). En tal caso, en las tres secciones se ve un comportamiento homogéneo en la dinámica con ciclos erosivos y sedimentarios a excepción de la sección 1.

Tabla XIII  
Dinámica de meandros en el tramo periurbano norte del cauce Napostá Grande

Procesos morfodinámicos dominante	Sección del tramo	Intervalos temporales		
		1990-2000	2000-2006	2006-2016
	1	erosión	erosión	sedimentación
	2	sedimentación	erosión	sedimentación
	3	sedimentación	erosión	sedimentación

Fuente: Pirchi V., 2019.

A continuación, se describen las características hidrogeomorfológicas en las tres secciones del tramo y los efectos que provocan en la dinámica fluvial los diversos factores observados.

<sup>11</sup> Los datos detallados de los parámetros calculados para cada uno de los meandros en el periodo de análisis (1990-2016), se adjuntan en el Anexo I.

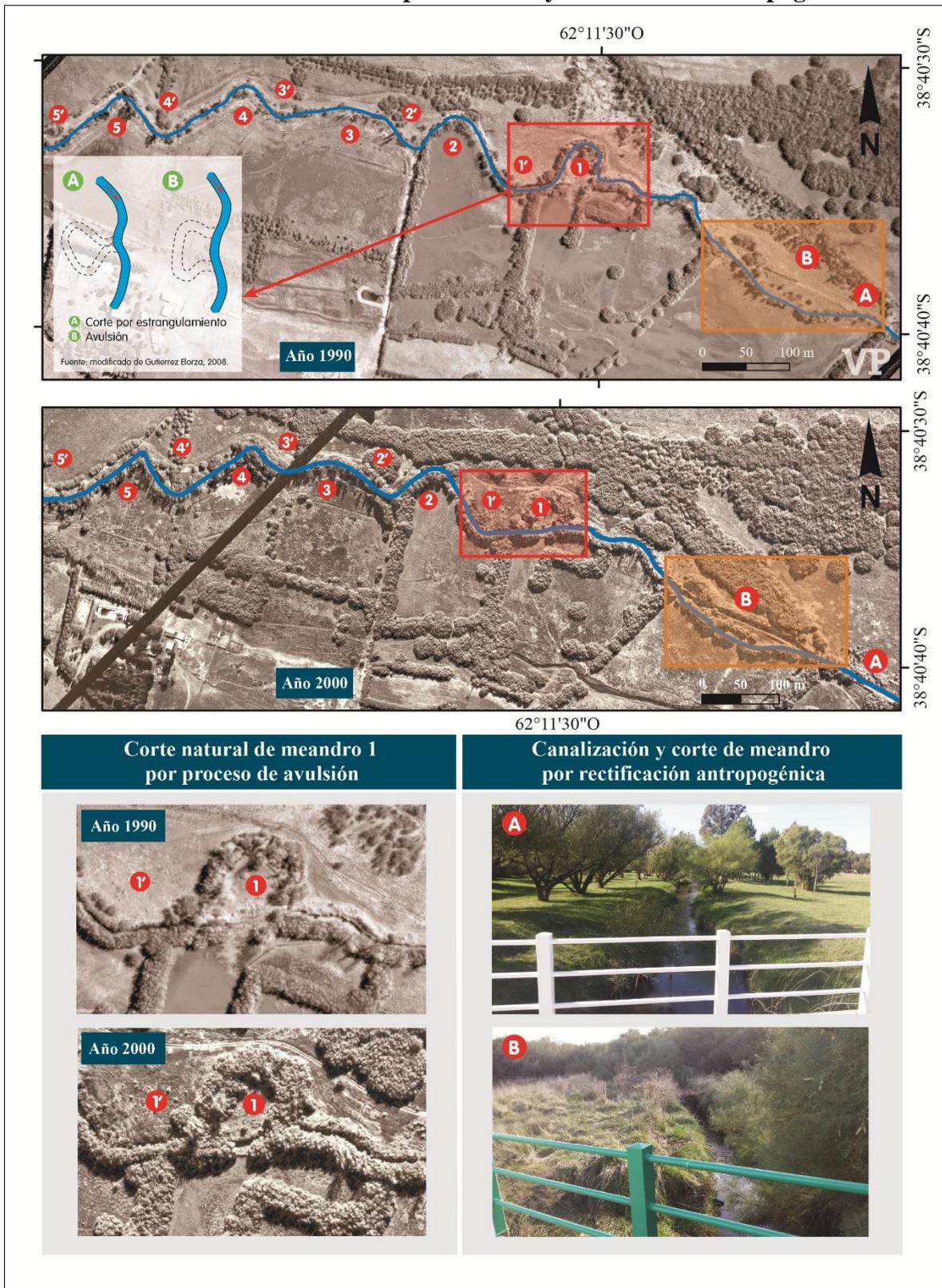
## Sección N°1

Una de las características geomorfológicas de esta sección del tramo (1.662 m de longitud) es que el arroyo drena sus aguas por una extensa planicie aluvial (452 m de ancho aprox.) cuya disposición sinuosa presenta confinamiento estructural. Esto sería un factor natural por el cual los meandros no se mueven a grandes distancias. Asimismo, a diferencia de las otras dos secciones ésta no presenta intervenciones antropogénicas directas dentro del espacio fluvial. Desde el punto de vista funcional predomina el uso del suelo residencial. Sin embargo, la urbanización del tipo casa-quinta (RQ) se encuentra ubicada sobre el nivel de terraza fluvial de la unidad geomorfológica UG1 (Tabla IX) fuera de la zona de divagación de los meandros por eso no influye en la dinámica fluvial.

Los resultados determinan que durante los intervalos temporales 1990-2000 y 2000-2006, este sector del tramo fluvial manifestó mayores procesos erosivos en los 10 meandros estudiados. Sin embargo, en los últimos años fue dominante la sedimentación (Anexo II). En las fotografías aéreas y observaciones de campo se verificó lo siguiente:

A partir del año 2000, ha avanzado la antropización en el sector ubicado aguas arriba de la sección 1 (Fig.41). Se observó dos tipos de cortes de meandros: 1) corte natural por avulsión y 2) corte artificial por rectificación. Para el primer caso, la causa posible del cambio en el trazado del cauce son los desbordes de sucesivas crecidas cuya evidencia documentada de este comportamiento hidrológico son las fotos aéreas de 1990. En el segundo caso, la causa del cambio en el trazado del cauce es antropogénica. En la dinámica fluvial, ambos cortes provocan como efectos la disminución de la longitud del canal del Napostá Grande (147 m disminuye en 10 años) y en el meandro (Anexo V) desestabilizando el sistema (Gallego et al. 2014; Quintana Cobo, 2015; Ollero Ojeda, 2017).

Figura 41  
 Proceso de corte de meandro por avulsión y rectificación antropogénica



Fuente: Pirchi, V., 2019 sobre la base de fotomosaicos 1990, 2000 y relevamiento del terreno 30/04/2017.

Después del año 2000, el proceso de migración por avulsión del meandro 1 ha generado una zona inestable en los meandros adyacentes aguas abajo (Fig. 42). Esta inestabilidad se destaca a través del cambio en la forma de los meandros 2' y 3.

Figura 42  
**Inestabilidad de meandros ubicados aguas abajo a la avulsión**



Fuente: Pirchi, V., 2019.

En el caso del meandro 2', se ha comparado el ancho del cuello del meandro durante los años 1990 y 2016. El resultado indica que el ancho se aproximó unos 17,27 m y la curva se ha pronunciado unos 13 m por erosión aumentando el desarrollo de la sinuosidad. Esta zona del tramo fluvial podría estar anunciando un nuevo corte de meandro y cambio de trazado del canal.

**Datos cuantitativos:**

- **Año 1990:** ancho del cuello del meandro 2' (54,69 m).
- **Año 2016:** ancho del cuello del meandro 2' (37,42 m).

En las observaciones de campo se identificó sobre la margen externa del meandro un escarpe de orilla generado por la erosión fluvial acompañado de procesos gravitacionales del tipo deslizamiento en la propia orilla del meandro. Estos procesos gravitacionales son parte del inicio de la migración del meandro (zapamiento). Además, se observó en el interior del canal activo una barra central de sedimentos de granulometría fina formando una pequeña isla vegetada. El crecimiento de vegetación en la barra puede ser un indicativo de la reducción del caudal circulante (Noguera Corral, 2018). En este caso la regulación del caudal aguas arriba de esta sección podría la causa de este descenso de caudal.

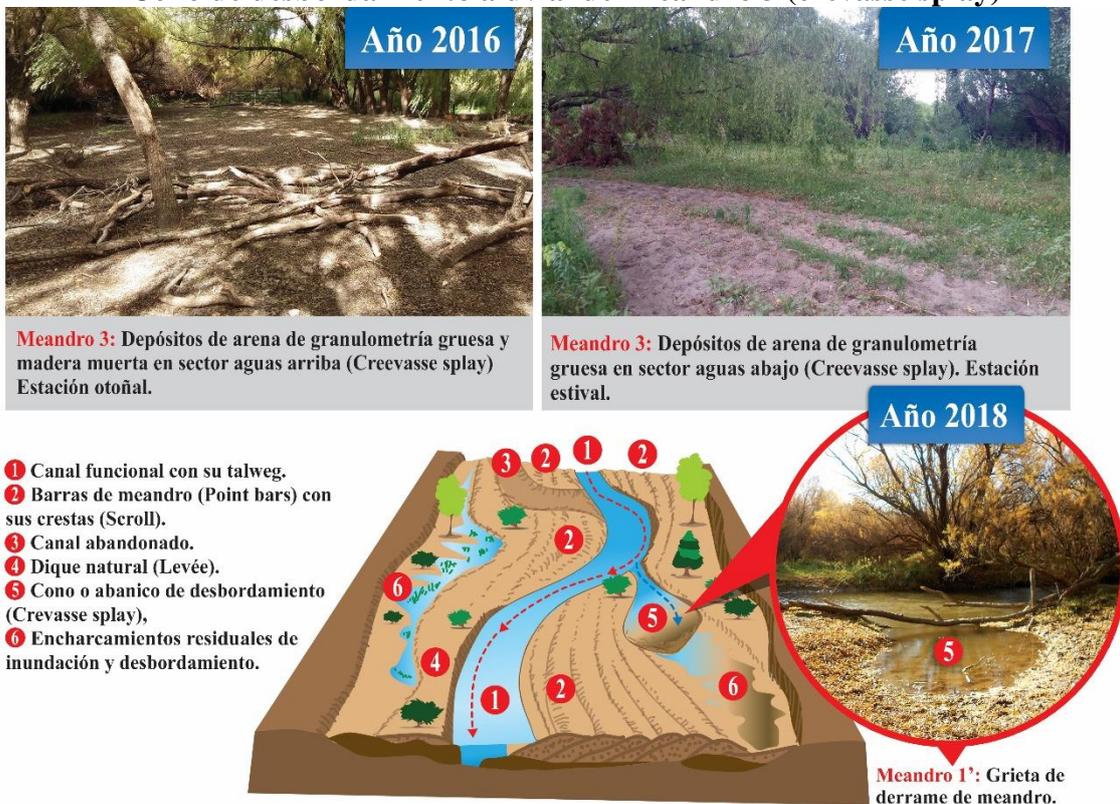
En el segundo caso, comparando entre los años 1990 y 2016, el ancho del cuello del meandro 3 se ha alejado unos 39,78 m disminuyendo su amplitud por sedimentación, lo cual indica que la curvatura se está elongando aproximadamente 73 m por erosión lateral. En este sector se produce la sedimentación proveniente de la rotura o grieta de derrame<sup>12</sup> del meandro 1' ubicado aguas arriba a éste (Fig. 43).

**Datos cuantitativos:**

- **Año 1990:** ancho del cuello del meandro 3 (92,14 m).
- **Año 2016:** ancho del cuello del meandro 3 (131,92 m).

Figura 43

**Cono de desbordamiento aluvial del meandro 3 (crevasse splay)**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L., modificado de Pedraza Gilsanz, 1996.

Por otra parte, en su desplazamiento lateral el arroyo efectúa la erosión de orillas y la sedimentación para disipar el exceso de energía disponible (Ollero Ojeda, 2009). En las observaciones de campo se comprobó que durante los desbordes de crecidas el arroyo

<sup>12</sup>La grieta de derrame se origina durante grandes inundaciones y su tamaño depende de las dimensiones del río (Gutiérrez Elorza, 2008). Las crecidas pueden ocasionar la rotura del dique natural u albardón, inundando las márgenes mediante conos de desbordamiento o derrame (crevasse splay). Una vez que descargan el material más grueso cerca del canal, las aguas reparten el material fino sobre la llanura inundable (Pedraza Gilsanz, 1996).

transporta sedimentos en su mayoría de granulometría fina del tipo arenas, limos y arcillas (Fig. 44). Sin embargo, la movilidad lateral del meandro 5' es interrumpida por construcciones ubicadas dentro de la zona de divagación de la sección 2 siguiente.

Figura 44  
**Movilidad lateral con transporte de sedimentos en el meandro 5'**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Las fotografías corresponden al mismo sector en diferentes tiempos.

### Sección N°2

La principal característica geomorfológica de esta sección (1.198 m de longitud) es la forma de la geometría en planta donde se diferencia claramente un cambio en la sinuosidad. Esto se refleja en el aumento de la curvatura del meandro una vez que el arroyo pierde su confinamiento en el valle. Funcionalmente, desde la instalación de las quintas hortícolas, hace más de 100 años, esta sección al igual que la siguiente sección 3, muestran una elevada antropización. Las diversas transformaciones en el trazado del canal fue el diseño propuesto para riego de cultivos (en desuso actualmente) y espacios recreativos. Sin embargo, en los últimos 10 años el cambio en el diseño de este sector del cauce se debe principalmente al aumento del uso residencial. Estas urbanizaciones se encuentran ubicadas dentro del espacio de divagación de los meandros de ambas secciones, por lo que irrumpen a la dinámica fluvial.

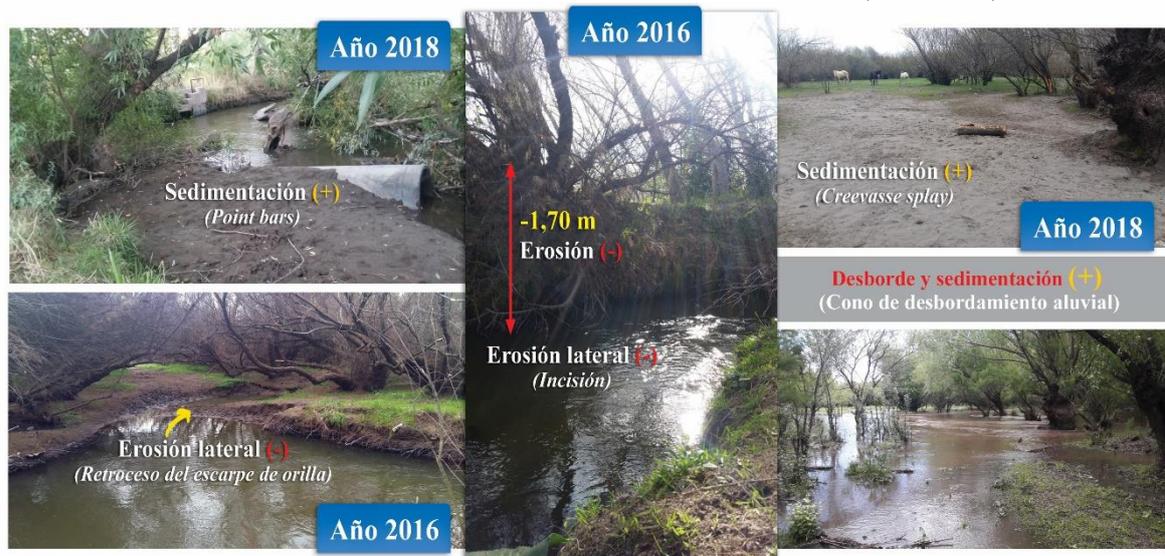
Los resultados de la sección 2 determinaron una actividad fluvial erosiva durante el intervalo 2000-2006 y en los restantes fue de sedimentación (Anexo III). El único meandro que representa a esta sección se mantiene estable en su espacio de divagación, esto significa que la amplitud del meandro no ha variado mucho. Esta estabilidad es producto del corte del meandro causado por la rectificación artificial. Sin embargo, la curvatura cambia constantemente como consecuencia de una dinámica lateral intensa. Durante las diversas observaciones de campo se comprobó que esta sección es la que evidencia mayor migración

fluvial lateral. Los márgenes del canal cambian de forma por los siguientes procesos fluviales (Fig. 45):

- a. **Zapamiento:** erosión que produce escarpe de orillas con ensanchamientos del canal activo.
- b. **Socavación:** erosión continua lateral que produce deslizamientos del banco de meandro.
- c. **Acreción en canal:** procesos de sedimentación en barras dentro del canal meándrico en forma de barras de orillas (point bar) barras marginales de fondo, barras centrales de fondo.
- d. **Acreción en llanura de inundación:** procesos de sedimentación en barras dentro del cauce mayor o llanura de inundación en forma de conos de derrame o crevasse splay, crestas alargadas (scroll bar) y diques naturales (albardón).

Figura 45

**Procesos morfodinámicos locales en el meandro 6 (sección 2)**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Relevamientos realizados durante crecidas y estiajes.

En esta sección del tramo, “se articulan los efectos erosivos y la dinámica de los sedimentos como también, las construcciones antropogénicas que por la fuerza del curso del agua migran en la dirección del cauce, aguas abajo” (Pera Vallejos, G., comunicación personal, 24/09/2019). En la figura 46, se puede observar los efectos de la acción fluvial en un sendero peatonal ubicado en la margen interna del meandro. “La erosión lateral (socavación) produce el desmoronamiento de una parte del bloque construido (sendero) en la dirección del escurrimiento fluvial” (Pera Vallejos, G., comunicación personal, 16/04/2019).

Figura 46  
**Dinámica lateral con erosión local en un sector residencial**



Fuente: Pirchi, V., 2019. La letra **R** indica uso residencial.

Por otro lado, el aumento del caudal sólido y líquido generado durante crecidas ha transportado materiales sedimentarios en el sector de bifurcación de la corriente (Fig. 47). Los materiales son de granulometría fina a gruesa junto a bloques de tosca (calcreta) e incluso bloques de concreto de construcciones cercanas.

Figura 47  
**Dinámica lateral con sedimentación local en un sector residencial**



Fuente: Pirchi, V., 2019. La letra **R** indica uso de suelo residencial.

### Sección N°3

Una de las características geomorfológicas de esta sección es que el arroyo discurre sobre un amplio valle, cuyo tramo (1787 m) presenta un cauce de transición *recto-meandriforme*. Funcionalmente, esta sección al igual que la anterior muestran una elevada antropización

con diversas transformaciones en el trazado del canal cuyo diseño fue propuesto para riego de cultivos (en desuso actualmente) y espacios recreativos. Sin embargo, en los últimos 10 años el cambio en el diseño de este sector del cauce se debe principalmente al aumento del uso residencial. Estas urbanizaciones se encuentran ubicadas dentro del espacio de divagación de los meandros de ambas secciones, por lo que irrumpen a la dinámica fluvial.

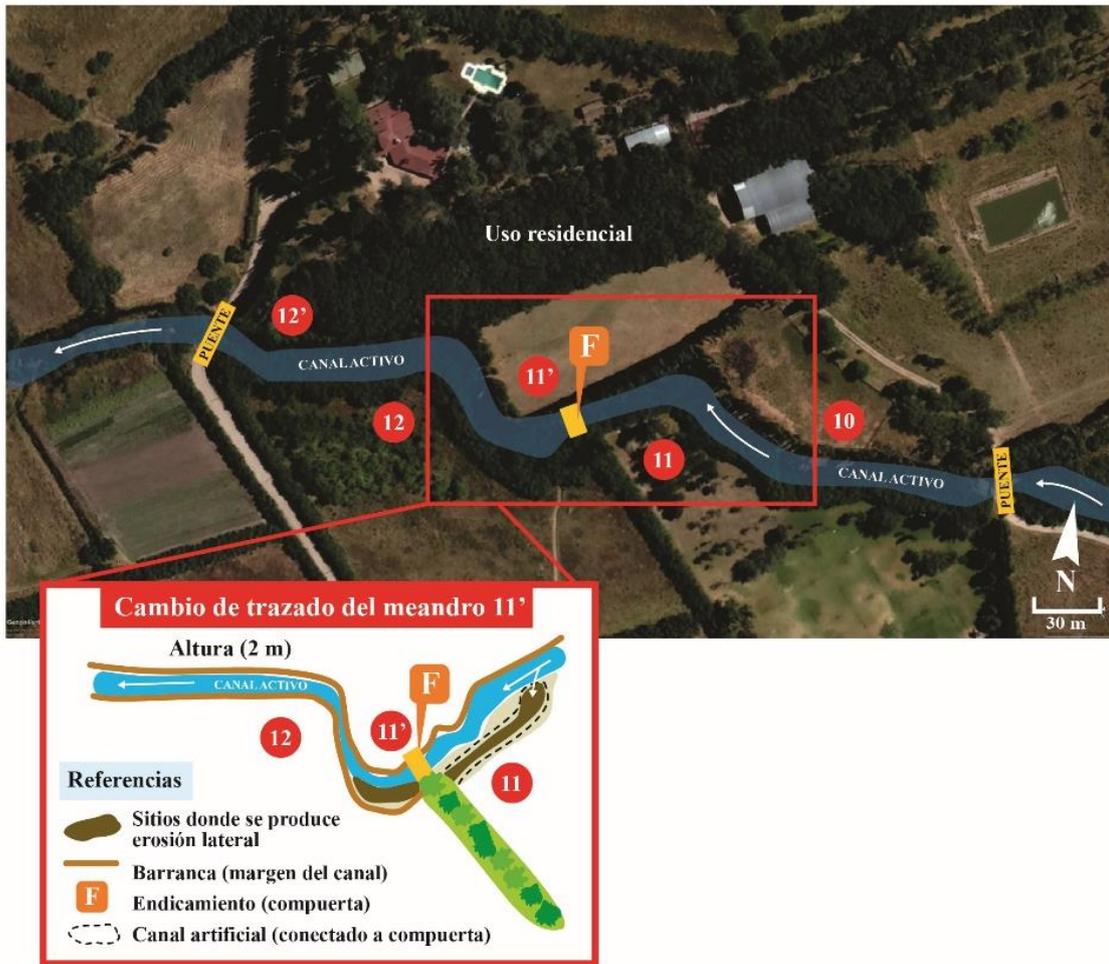
Los resultados obtenidos en la sección determinaron que la actividad fluvial es más erosiva durante el intervalo 2000-2006 y en los restantes de sedimentación (Anexo IV). Los 12 meandros estudiados se han mantenido estables en la zona de divagación (banda activa), debido a que la amplitud de las curvas no ha variado notablemente. Los cambios en la curvatura de los meandros son escasos y en la mayoría son provocados por sedimentación. De esta manera, al no presentar cambios morfológicos muy notorios se considera que este tramo está estable. Las causas de la disminución en la movilidad de los meandros de esta sección es la antropización<sup>13</sup> junto al progresivo aumento de la cobertura vegetal registrado durante el periodo 2000-2006.

En las observaciones de campo se identificó un cambio en el ancho y profundidad del canal activo. Comparado con las otras secciones es más ancho y ambas márgenes son más altas con riberas cubiertas por densa vegetación siendo un factor importante para la estabilidad de las funciones laterales del cauce. En cuanto a la dinámica longitudinal se muestra interrumpida por diversos puentes y endicamiento. En algunos sitios la presencia de obras de endicamiento con compuertas en desuso provocan intensos procesos de erosión en los canales artificiales laterales (Fig. 48). Esto cambia el trazado de la corriente aguas abajo de dichas obras cuyo efecto es la profundización de los surcos artificiales. En los puentes se observa actividad erosiva en los estribos y de sedimentación en pilares centrales.

---

<sup>13</sup> Antropización se refiere a todo tipo de transformaciones que el ser humano ejerce sobre el medio natural biológico y físico (Ollero Ojeda, 2009).

Figura 48  
**Cambios antropogénicos en el diseño del trazado del cauce en el meandro 11'**



Fuente: Pirchi, V., 2019.

**5.4.2.1. Descripción de perfiles batimétricos del canal meándrico**

En los apartados anteriores se explicó que los meandros se desplazan por la fuerza de la corriente de agua que en su movimiento genera el flujo helicoidal, dando lugar a cambios morfológicos causados por erosión y sedimentación en cada curva de los meandros. Es por ello que a partir del análisis en detalle de algunos sectores donde los meandros presentaron mayores cambios morfológicos se realizaron perfiles batimétricos. En ellos se identificaron unidades morfológicas de las cuales se extrajeron muestras de sedimentos (Anexo VI) como información granulométrica<sup>14</sup> y se las caracterizó según su ubicación en canal y llanura de inundación (Tabla XIV).

<sup>14</sup> La información granulométrica se basa en el tamaño de la partícula sólida, es decir, tamaño del sedimento.

Tabla XIV

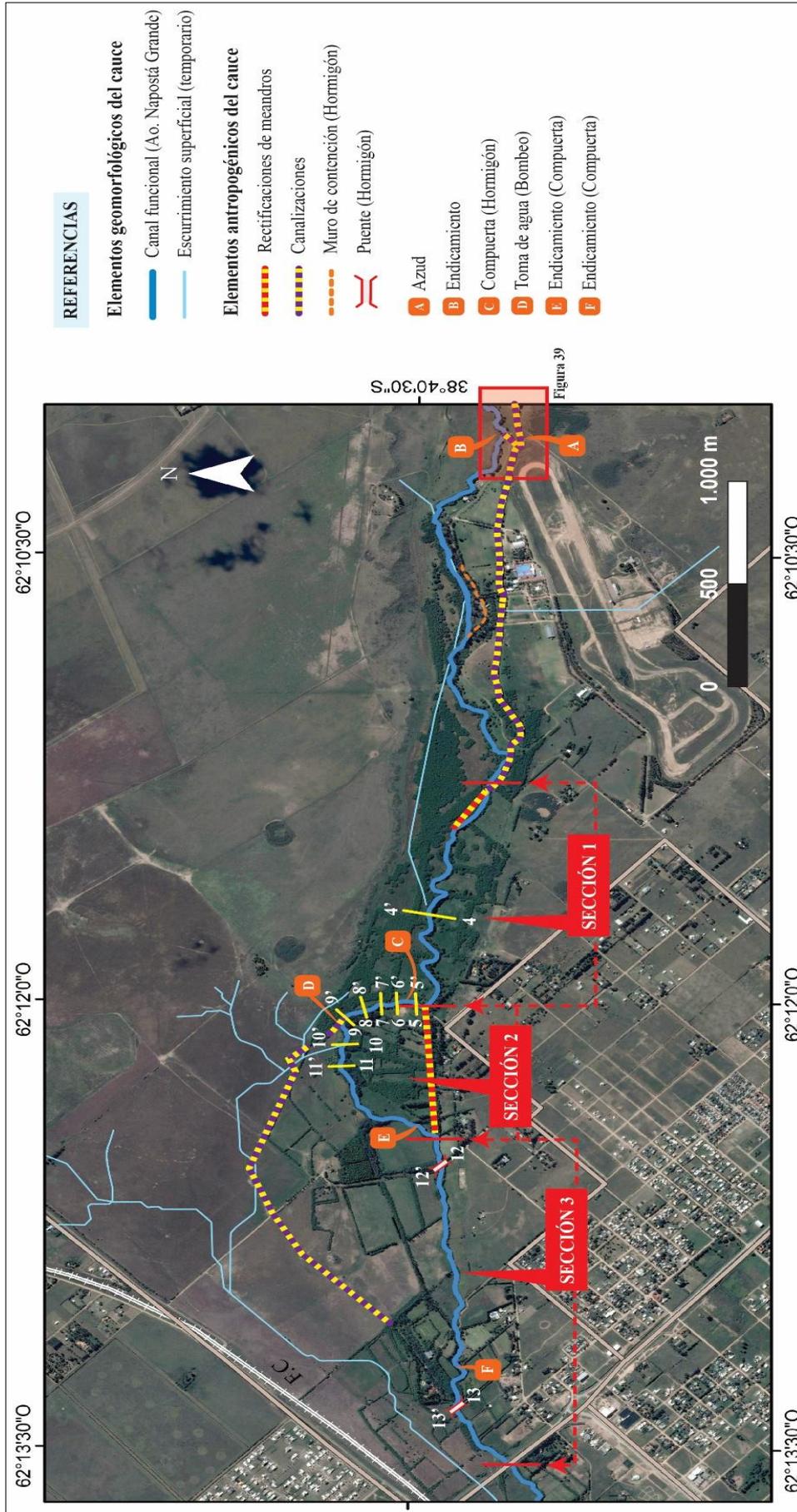
**Tipologías de depósitos de sedimentos fluviales en el arroyo Napostá Grande**

<b>Elemento geomorfológico</b> (generador del depósito)	<b>Unidad morfológica</b>	<b>Ubicación</b>	<b>tipo y tamaño del sedimento</b>
<b>CANAL</b>	<b>1. Barras del lecho</b> a. <i>barras centrales</i> b. <i>barras marginales</i>	a. Barras centrales al canal meándrico b. Barras marginales laterales al canal meándrico	<b>1a.</b> En su mayoría sedimentos de tamaño arenas y limos finos <b>1b.</b> En su mayoría sedimentos de tamaño arenas finas
	<b>2. Barras laterales de meandro</b> a. <i>scroll bars</i> b. <i>point bars</i>	a. <i>Scroll bars</i> : márgenes internas al meandro formando depósitos de barras de desplazamiento en crestas b. <i>Point bars</i> : márgenes internas al meandro formando depósitos de barras de puntos	<b>2a.</b> Solo se han identificado en el meandro 6 en el sector del ápice de la curva de meandro. <b>2b.</b> Únicamente se han identificado en época de estiaje. Su composición es en su mayoría arenas de tamaño grueso a fino.
	<b>3. Islas vegetadas</b> a. <i>depósitos de barra central vegetadas</i>	a. Interior del canal funcional	<b>3a.</b> Variable de acuerdo al origen. Se han identificado pequeñas islas vegetadas sobre sedimentos de arenas finas/limos
<b>LLANURA DE INUNDACIÓN</b> <i>de desbordamiento</i>	<b>4. Dique natural</b> ( <i>natural levees</i> ) a. <i>Albardones</i>	a. Sobre la llanura aluvial adyacente al canal y en forma lineal o suavemente arqueados	<b>4a.</b> En su mayoría forman depósitos en crestas de 0.50 a 1.40 m aproximadamente. Se componen de arenas finas a limos en forma lineal al canal principal.
	<b>5. Conos de derrames por roturas del canal meándrico</b> a. <i>lóbulo de derrame</i> ( <i>crevasse splay</i> )	a. Sobre la llanura aluvial adyacente al canal en forma de abanico o lobulada	<b>5a.</b> Forman derrames de arenas gruesas a finas desde el canal en dirección hacia la llanura de inundación.

Fuente: Pirchi, V., 2019, sobre la base de clasificaciones morfológicas de Pedraza Gilsanz, 1996 y Gutiérrez Elorza, 2008.

Los perfiles se ubican dentro de las tres secciones analizadas y también aguas arriba del área estudio (Fig. 49) para obtener una mejor comprensión de los procesos hidrosedimentarios y los efectos de la antropización en la morfología del cauce. Precisamente, las obras de tipo estructural detalladas en el punto anterior se ubican aguas arriba de la sección 1 sobre el canal activo del arroyo Napostá Grande (Fig. 39). Esto implica que su influencia puede ser la evidencia de las variaciones registradas en los parámetros analizados de las secciones del tramo estudio. A continuación, en los perfiles se describen los procesos y formas asociadas al mencionado flujo helicoidal que da lugar a zonas de incisión y de acumulación causantes de los cambios visibles en su geometría. Estas formas de modelado fluvial son importantes para inferir las variaciones del flujo del agua y sedimentos del arroyo en crecidas o en caudales bajos.

Figura 49  
**Localización de perfiles topo-batimétricos y relevamiento de intervenciones antropogénicas en el cauce Napostá Grande**



Fuente: Pirchi V., 2019.

### **Perfiles aguas arriba a la sección 1**

**Perfil 1:** Este perfil presenta un ancho del canal de 6,50 m y una profundidad de 1,80 m al nivel del agua (Fig. 51). Las márgenes se encuentran recubiertas por gaviones de piedra, la cual restringe los procesos de erosión de las márgenes. El fondo del canal sin recubrir queda sujeto a la movilización de sedimentos. La obra de endicamiento y toma de agua tiene influencia en la dinámica fluvial debido a que provoca cambios en el nivel de base local aguas arriba y debajo de la misma. Esto significa que, aguas arriba funciona como embalse cuyo efecto en la geomorfología es un nuevo perfil longitudinal de canal más alto por retención y acumulación de sedimentos. Por el contrario, aguas abajo el perfil longitudinal del canal descende por erosión. Los cambios en el nivel de base local del cauce fueron comprobados mediante la observación de campo. Días previos a la realización de este perfil transversal la empresa encargada de la gestión de dicha obra realizó la extracción de sedimentos (dragado), debido a que los mismos se acumulan provocando un tapón en la planta de bombeo eléctrico (Empleado del predio, comunicación personal, 30/04/2018). La altura del montículo de sedimentos es de 2,60 m y su composición es arenas, limos, arcilla y tosca. Con esto, queda demostrado que dicha obra influye en la dinámica sedimentaria del canal meandrónico.

**Perfil 2 y 3:** Los perfiles 2 y 3 presentan similares características morfológicas (Fig. 51). El canal principal es más estrecho en el perfil 3 (5,7 m) que en el perfil 2 (6,20 m) y la profundidad máxima al nivel del agua es 2 m (perfil 2) y 1,70 m (perfil 3). Ambos perfiles presentan semejanza en su forma, la margen derecha no presenta procesos erosivos mientras que en la margen izquierda se observa formas de remoción incipiente. Aquí los procesos erosivos no son naturales, sino que dependen del dragado del fondo. En el caso de la sedimentación, los depósitos provienen de sus márgenes y de la propia dinámica fluvial.

### **Perfiles en la sección 1**

**Perfil 4:** En este caso las márgenes presentan una profundidad máxima de 1,70 m al nivel del agua (Fig. 51). Éstas se encuentran vegetadas y presentan pendientes elevadas siendo la margen externa del meandro más alta. El canal es estrecho (3,75 m) y profundo (2,50 m aprox.) y se mantiene así en toda la sección 1 hasta el meandro 5. Sobre la margen interna se acumulan sedimentos lomo-arenosos que se depositan en barras de meandro. Contrariamente, la margen opuesta presenta procesos de erosión por el zapado del material. Este sector se corresponde con el perfil topográfico del sector del meandro 3 (Fig. 18) cuya dinámica fue detallada anteriormente (apartado 5.2).

## Perfiles en la sección 2

**Perfil 5:** Se observa una marcada asimetría entre las márgenes por sedimentación de arenas de grano fino formando barras de meandro (Fig. 52). La margen interna es la que presenta mayor profundidad (2,20 m) y la que debido a procesos de erosión (socavación) migra en la dirección de la corriente cuyo efecto es la destrucción del elemento antropogénico (sendero peatonal).

**Perfil 6:** El fondo del lecho es plano donde no se observa ningún proceso de depositación debido a la continua remoción del material de fondo (Fig. 52). Asimismo, la profundidad de ambas márgenes es semejante. Cabe señalar que las márgenes se encuentran revestidas por material de concreto para permitir la instalación de la compuerta.

**Perfil 7:** Este perfil muestra una profundización en el centro del fondo del lecho (2 m) mientras que hacia las márgenes la profundidad es menor de acuerdo a la depositación del material transportado (Fig. 52). El ancho del canal es 4,5 m y la profundidad máxima al nivel del agua es -1,85 m. Se identifica en el perfil la formación de barras en el fondo donde predomina la sedimentación. Las barras son de granulometría fina en su mayoría limos. La margen externa presenta retroceso del escarpe de orilla por zapado.

**Perfil 8:** El ancho del canal de 8 m y la profundidad máxima al nivel del agua es de -1,15 m. Se identifica en el perfil la formación de barras en el fondo donde predomina la sedimentación (Fig. 52). Se identificó barras de granulometría fina en su mayoría limos (barras laterales) y arenosas (barras centrales). En dirección aguas abajo, la margen externa presenta retención de sedimentos y madera muerta, con retroceso del escarpe de orilla por socavación lateral.

**Perfil 9:** El ancho del canal de (10 m aprox.) y la profundidad máxima al nivel del agua es de -1,20 m (Fig. 53). Esta sección transversal muestra una sección irregular por la formación de una barra central cuya acumulación de sedimentos puede deberse al efecto que provoca la disposición de la vegetación de ribera y de sus raíces sobre la capacidad de transporte de sedimento.

**Perfil 10:** El ancho del canal de (7 m aprox.) y en la profundidad existe una asimetría entre las márgenes siendo la de mayor profundidad la margen interna con -1,25 m al nivel del agua (Fig. 53). Hacia la margen externa del meandro se identifica la formación de depósitos de barras de meandro de granulometría fina limo-arenosa. Teóricamente, sobre las márgenes externas del meandro se debe producir la erosión y en la margen interna la depositación. Sin

embargo, en este perfil no se verifica puesto que este meandro está condicionado por la sinuosidad bimodal, obras antropogénicas, vegetación y madera muerta.

**Perfil 11:** El ancho del canal de (8 m aprox.) y la profundidad máxima al nivel del agua es de -1,90 m (Fig. 53). Se trata de un perfil regular donde la competencia del flujo se concentra en el centro del canal. Se identificó la formación de una barra de meandro de granulometría fina arenosa. Aguas arriba de esta sección transversal la madera muerta tiene influencia en la retención de sedimentos y en la velocidad de la corriente. Al traspasar el obstáculo (árbol entero caído) la corriente retoma impulso y en la margen interna se produce socavación lateral mientras en el fondo la depositación del zapado. En las observaciones de campo se observó sobre la margen interna de este perfil, 2 sucesiones de depósitos en barras con forma de cresta alargada (scroll bars) las que se encuentran densamente vegetadas. Se ubican a 3 m con respecto a la orilla del arroyo y su altura es aprox. 1,60 m descendiendo a medida que se aleja de la misma.

### **Perfiles en la sección 3**

Los principales elementos antropogénicos que se ven afectados por la dinámica fluvial del arroyo en este sector del tramo son los puentes. Los procesos de erosión y sedimentación que sufren estas obras deterioran la estructura de sus cimientos y soportes. Esto constituye un problema para los residentes ribereños debido a que permanece inhabilitado el principal acceso a su residencia durante crecidas extremas.

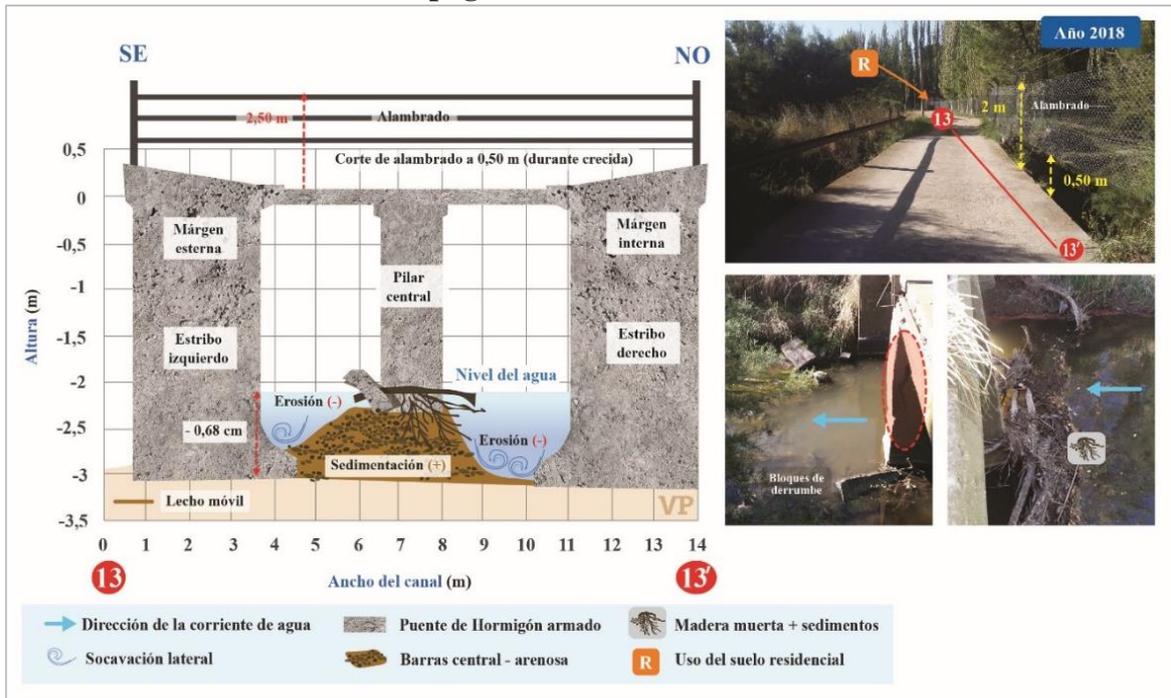
**Perfil 12:** Este perfil se corresponde con un puente vehicular de concreto armado en piedra y vigas que fue reconstruido en troncos luego de la crecida del año 2002 (Nicolás (residente), comunicación personal, 16/07/2015). El ancho del canal es de 5 m y la profundidad máxima al nivel del agua es de -0,51 m (Fig. 53). En el fondo se reconoce la formación de una barra central de granulometría gruesa arenosa. En la actualidad, la última crecida registrada en junio de 2019 derrumbó completamente la reconstrucción en troncos dejando sin paso el sitio.

### **PERFIL 13: Sección topográfica transversal corte 13-13' en puente vehicular ubicado en el canal activo del meandro 6**

Esta sección transversal corresponde a un puente vehicular que durante las crecidas se ve superado por la altura del agua. El ancho del canal es de 8 m aproximadamente y la profundidad máxima al nivel del agua es de -0,68 m (Fig. 50). En el fondo se identifica la formación de una barra central arenosa de granulometría gruesa con madera muerta y

acumulación de escombros. La infraestructura presenta problemas de socavación, roturas y desprendimientos de bloques de los cimientos que conforman los estribos y el pilar central. Se observó que el pilar central rompe con la continuidad longitudinal del transporte no solo del agua sino también de sedimentos y madera muerta. Esto demuestra que la geometría hidráulica no permite la evacuación de las descargas del caudal durante crecidas extremas.

Figura 50  
Sección topográfica transversal corte 13-13'

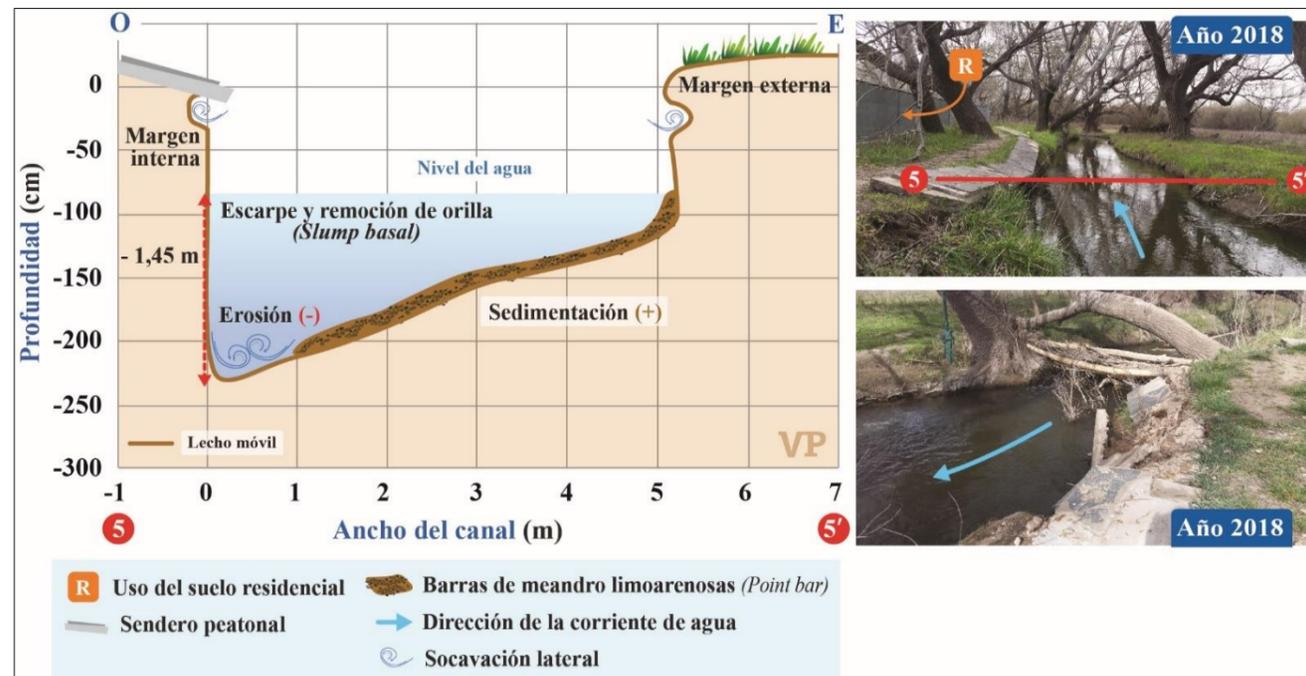


Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.



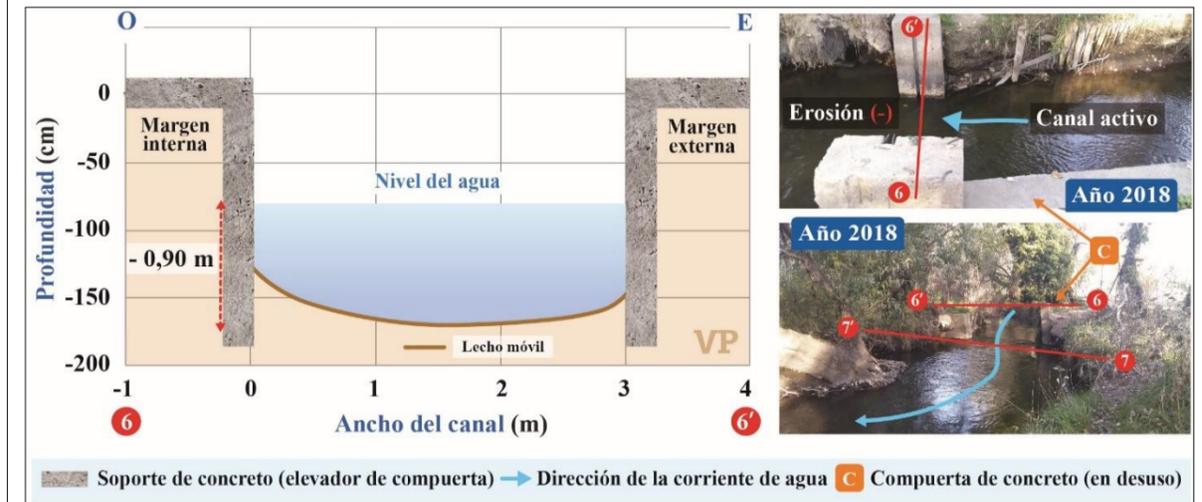
Figura 52

**PERFIL 5: Sección topográfica transversal corte 5-5' en canal activo del meandro 6**



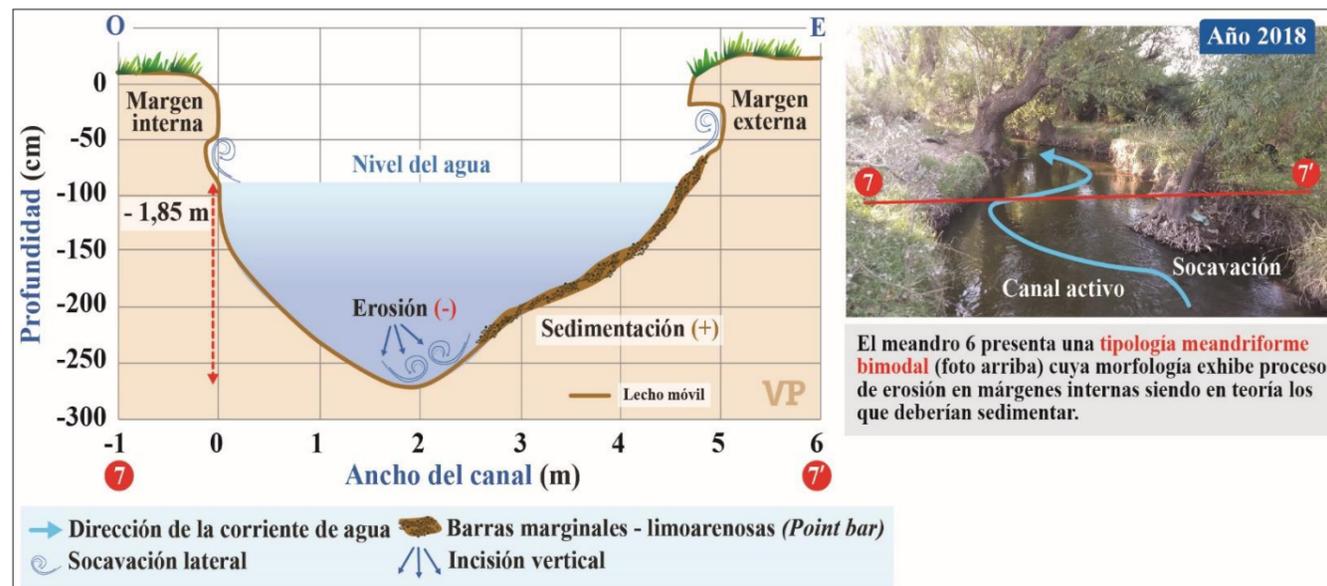
Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.

**PERFIL 6: Sección topográfica transversal corte 6-6' en compuerta ubicada en el canal activo del meandro 6**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.

**PERFIL 7: Sección topográfica transversal corte 7-7' posterior a la compuerta ubicada en el canal activo del meandro 6**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.

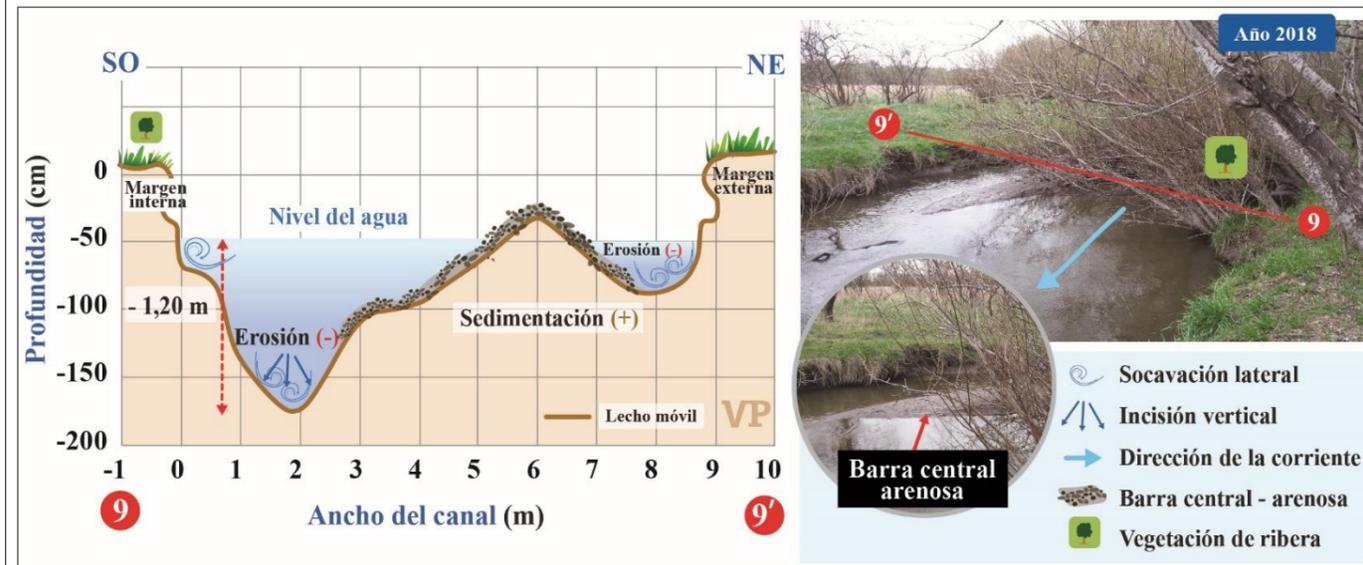
**PERFIL 8: Sección topográfica transversal corte 8-8' posterior a la compuerta ubicada en el canal activo del meandro 6**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.

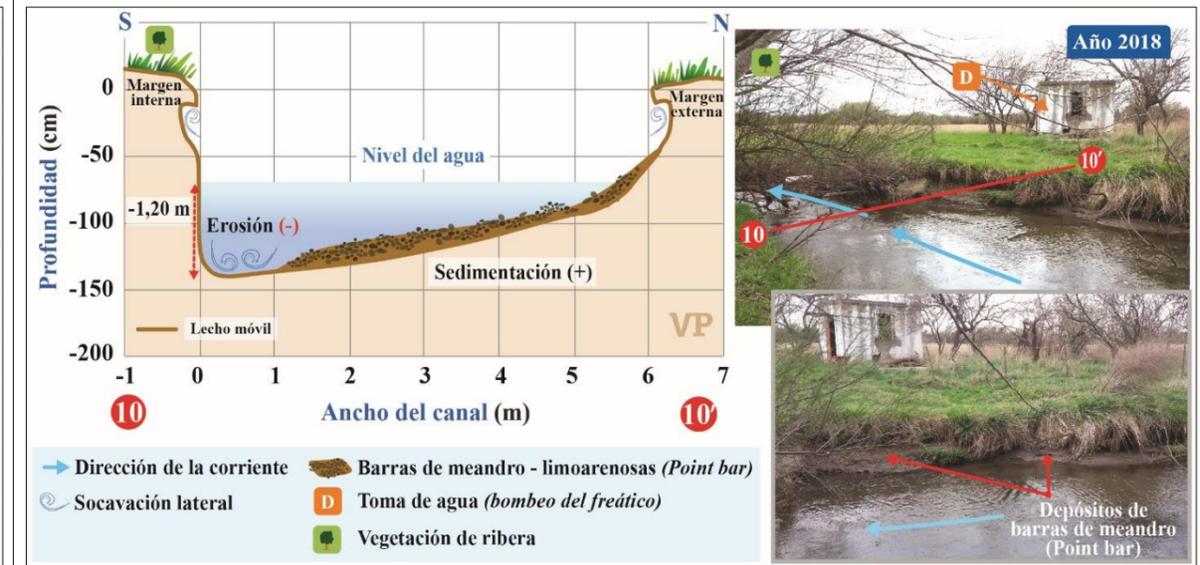
Figura 53

**PERFIL 9: Sección topográfica transversal corte 9-9' posterior en el canal activo del meandro 6**



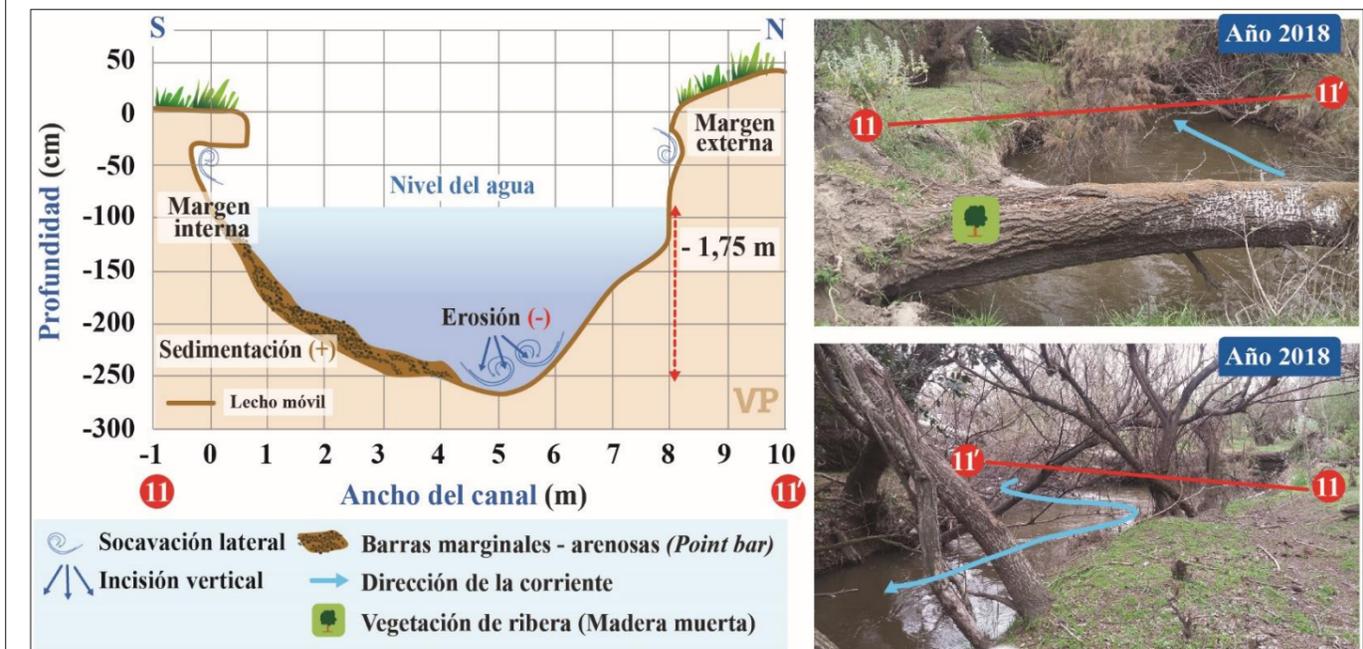
Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.

**PERFIL 10: Sección topográfica transversal corte 10-10' en el canal activo del meandro 6**



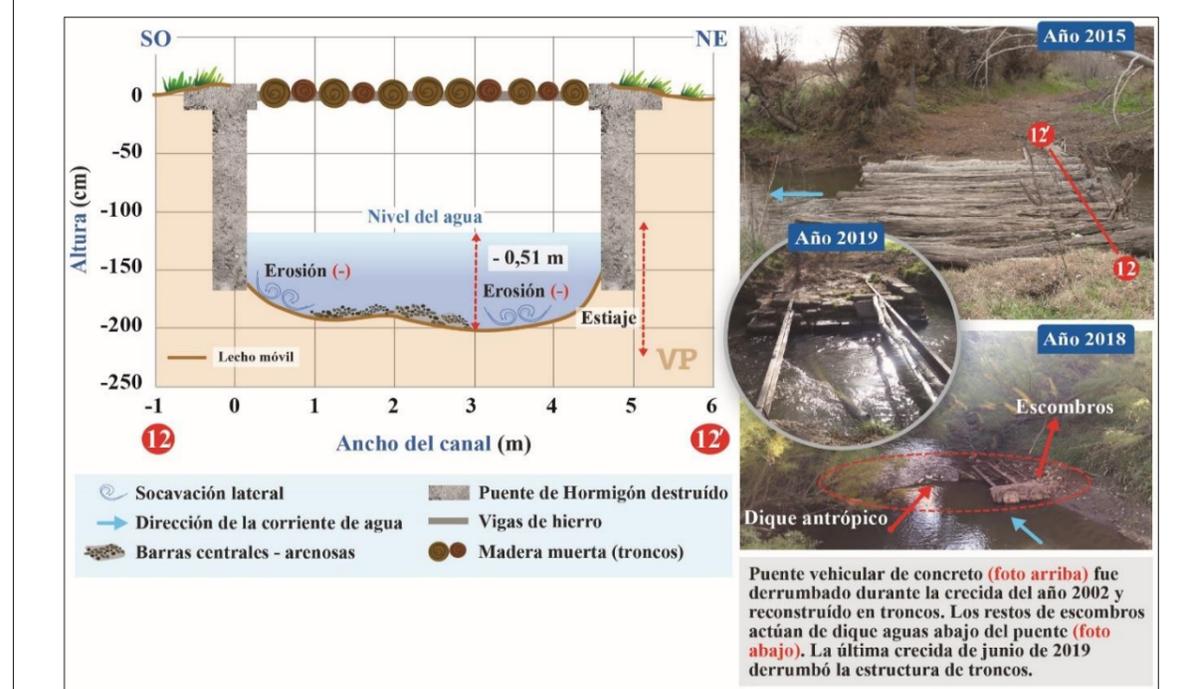
Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.

**PERFIL 11: Sección topográfica transversal corte 11-11' posterior a la compuerta ubicada en el canal activo del meandro 6**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.

**PERFIL 12: Sección topográfica transversal corte 12-12' en puente vehicular ubicado en el canal activo del meandro 6**



Fuente: Pirchi, V., 2019. Ilustración Pirchi, M.L.

## 6. Conclusiones

Las transformaciones identificadas en el diseño del trazado del cauce del arroyo Napostá Grande muestran la influencia de la antropización del sector norte del periurbano de la ciudad de Bahía Blanca. Allí, la práctica de actividades hortícolas, que comenzó a principios de siglo XX, produjo cambios en 1) la vegetación a través de la reforestación con especies introducidas y 2) en el diseño de drenaje a partir de la implantación de un sistema de riego. En los últimos años, se sumó la construcción de obras de regulación de caudal y de defensa ante desbordes provocados por crecidas. Estas intervenciones antropogénicas forzaron la modificación del cauce en su forma y movilidad.

La hipótesis que guió esta investigación fue que la intervención antropogénica en el tramo del arroyo Napostá Grande en el sector periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca genera transformaciones en el diseño del cauce y acelera la dinámica hidrogeomorfológica. La misma se comprobó a partir del desarrollo de los objetivos planteados. Su abordaje permitió identificar que las distintas intervenciones humanas que allí se han realizado en el periodo estudiado modificaron y aún modifican las funciones hidrogeomorfológicas del cauce. Los resultados obtenidos para el periodo estudiado ponen de manifiesto que, tanto en términos de superficie como de movilidad espacial, el cauce del Napostá Grande ha presentado cambios morfológicos y alteraciones en su trazado de tipo meandriforme. Los mismos resultan del ajuste permanente, en tiempo y espacio, a las intervenciones realizadas y las fluctuaciones de caudal (líquido y sólido) ligadas a las condiciones naturales.

La antropización del tramo estudiado ha perturbado la dinámica de los meandros en las tres secciones cuyas curvas parecen alcanzar un equilibrio en su dinámica. Dentro de los distintos intervalos temporales analizados, los cambios más notables se produjeron a partir de los años 2000 y 2006 como resultado del aumento de la cobertura vegetal (11 ha) tanto en la zona urbanizada como en la zona de las obras reguladoras. En ellos se constata que el cauce del arroyo Napostá Grande ha disminuido su sinuosidad (de 1,46 a 1,41) debido a la simplificación de su trazado. Se destaca el corte del meandro 1 (sección 1) que queda separado de la corriente principal, como resultado de un proceso de avulsión y que posteriormente fue invadido por la vegetación. En el caso del intervalo 2006-2016 no se registran cambios significativos. Sin embargo, es importante señalar la ocupación de la llanura de inundación a partir de nuevos usos residenciales altera la dinámica del agua y los sedimentos en el cauce durante las crecidas.

Por otra parte, los resultados obtenidos de los trece perfiles batimétricos indican la movilidad del curso y los cambios en la topografía del lecho principalmente en las secciones 2 y 3. En la primera son las acequias y las canalizaciones con compuerta las que modifican la morfología del canal. En el caso de la sección 3 los puentes intervienen tanto en morfología del perfil transversal como en el longitudinal a través de la generación de nuevos niveles de base local.

Cabe destacar que en el desarrollo de esta investigación se han presentado algunos condicionantes que dificultaron la posibilidad de obtener conclusiones de mayor precisión y detalle espacial. Situaciones como la ineficiencia en el aporte de información por parte de algunos organismos e instituciones públicas, las dificultades en el acceso a los sectores del arroyo incluidos en propiedad privada, la ausencia de datos oficiales de aforos históricos y de mediciones hidrosedimentarias sumado a la falta de tecnologías de medición de última generación adecuadas para el trabajo a escala de tramos fluviales obstaculizaron la integración de diversas variables en la organización de los resultados. No obstante, la metodología empleada en el análisis e interpretación de los cambios del arroyo Napostá Grande en el tramo periurbano permitió identificar procesos erosivos y sedimentarios que afectan la forma y evolución del cauce, como también los factores naturales y antropogénicos que explican su comportamiento dinámico. Asimismo, la aplicación de herramientas cartográficas, apoyadas en el trabajo de campo, demostró su utilidad para el análisis hidrogeomorfológico del área estudio a escala de tramo fluvial.

Esta investigación se ha desarrollado bajo un enfoque de hidrogeomorfología aplicada cuyos resultados son un aporte para el proceso de planificación urbana de este espacio fluvial. Si bien no se ha analizado el riesgo hidrogeomorfológico, se sugiere que la continuación del trabajo iniciado avance sobre este aspecto. La línea de investigación que se propone en el marco de la restauración fluvial brinda herramientas metodológicas acordes con este objetivo. Bajo este enfoque, se plantea la aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) propuesto por el equipo del geógrafo Ollero Ojeda (2009), con escala de análisis en el territorio fluvial que comprenda, dentro de sus límites, el espacio del arroyo Napostá Grande. A su vez, integrarlo en la infraestructura verde urbana como medida de conservación de espacios fluviales urbanos y también de prevención de riesgos hidrogeomorfológicos.

## 7. Bibliografía

- **Aliaga, V., Ferrelli, F., Alberdi Algañaz, E.D., Bohn, V. Y. y Piccolo, M. C. (2016).** Distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana argentina. 219° Cuadernos de Investigación Geográfica, Universidad de La Rioja, España. En prensa.
- **Berón de la Puente, F., Gil, V. y Zapperi, P. (2017).** Estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica. En Actas de Resúmenes del VI Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas. 25-27 de octubre. Resistencia, Argentina.
- **Bertoldi, W., Siviglia, A., Tettamanti, S., Toffolon, M. Vetsch, D., Francalanci, S. (2014).** Modeling vegetation controls on fluvial morphological trajectories. *Geophysical Research Letters*, 41 (20): 7167-7175.
- **Batalla, R. y Tena, A. (2016).** Procesos hidrosedimentarios en medios fluviales. España. Lleida: Milenio. 275 pp.
- **Cabrera, A. (1976).** Regiones fitogeográficas argentinas. Acme, Buenos Aires.
- **Caló, J., Fernández, E., Marcos, A. y Sequeira, M. (2004).** Medidas de mitigación de los impactos ambientales producidos por lluvias intensas en la ciudad de Bahía Blanca. SINERGIA 2004. XVII Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica. III Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos. VIII Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente. Córdoba. Argentina.
- **Campaña Toro, R., (2019).** Procesos morfológicos en ríos relevantes en el diseño de puentes. Recuperado de: <http://www.imefen.uni.edu.pe/Papers/morfologicos.pdf> [7 de marzo de 2019].
- **Campo de Ferreras, A., Capelli de Steffens, A. y Diez, P. (2004).** El clima del sudoeste bonaerense. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Geografía y Turismo.
- **Campo, A., Ramos, M. y Zapperi, P. (2009).** Análisis de las variaciones anuales de precipitación en el suroeste bonaerense, Argentina. En: Actas del XII Encuentro de Geógrafos de América Latina. Montevideo, Uruguay.
- **Campos, Marta y Zinger, A. (2003).** Calidad paisajística y recreación. El periurbano norte de Bahía Blanca. En Realidad, enigmas y soluciones. Consejo de Decanos y Directores de Unidades Académicas Relacionadas con la Enseñanza del

- Turismo, CONDET. Secretaría de Investigación, Facultad de Turismo, Universidad Nacional del Comahue. Neuquén, pp.29-47.
- **Carlston, C.W. (1965).** The relation of free meander geometry to stream discharge and its geomorphic implications. *American Journal Science*, (263). 864-885 pp.
  - **Charlton, R. (2008).** *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Londres: Routledge.
  - **Carrica, J. (1998).** Hidrogeología de la cuenca del arroyo Napostá Grande, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur. 215 pp.
  - **Cerana, J.L. y Varela, H. (2013).** Propuesta de revalorización del arroyo Napostá a partir de su integración a la dinámica urbana de la ciudad de Bahía Blanca. Proyecto CAPWEM: Desarrollo de Capacidades en Ingeniería del Agua y Gestión Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional. Bahía Blanca. Argentina. 271 pp.
  - **Chuvieco, E., (1995).** *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid: Ediciones RIALP. S.A. 224 pp.
  - **Collinson, J.D. y Lewin, J. (Ed.) (1983).** *Modern and Ancient Fluvial Systems*, London, 575 pp.
  - **Conesa García, C., Pérez Cutillas, P., García Lorenzo, R. y Martínez Salvador, A. (2012).** Cambios históricos recientes de cauces y llanuras aluviales inducidos por la acción del hombre. *Nimbus*, 29-30: 159-176.
  - **Conesa García, C. y Pérez Cutillas, P., (2014).** Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la península ibérica. Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Scielo Revista de Geografía Norte Grande*. [En línea]. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile. Instituto de Geografía, n°59, <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n59/art03.pdf> [11 de marzo de 2018].
  - **Degiovanni, S., Villegas, M. y Ulla, J.P. (2013).** Análisis de la carga de fondo y dinámica de transporte en el Río cuarto, provincia de Córdoba, como base para una minería de áridos sustentable. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 70(2), 238-248. Recuperado el 26 de febrero de 2018, de: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php>
  - **Diez Herrero, A. (2001).** *Geomorfología e hidrología fluvial del río Alberche. Modelos y SIG para la gestión de riberas*. Tesis Doctor en Geología. Universidad Complutense de Madrid. 583 pp.

- **Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente Martínez, I. (2008).** Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: Guía metodológica para su elaboración. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Madrid: Planeta Tierra.
- **Díez, J., Sarriegi, M. y Elozegi, A. (2016).** La madera muerta y la morfología fluvial: ecología y gestión. En: Batalla, R. & Tena, A. (Eds.), (2016). Procesos hidrosedimentarios en medios fluviales. Lleida: España. 245-275 pp.
- **Díez, J. y Ibisate, A. (Eds.). (2018).** Retos y experiencias de restauración fluvial en el ámbito de la Red Natura 2000. 1ª ed. Vitoria-Gasteiz: Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia. 267 pp.
- **Downs, P. y Gregory, K. (1993).** La sensibilidad de los canales fluviales en el sistema de paisaje. *The Professional Geographer* 47: 167-175.
- **Fernando, A., Bambill, E., Bandoni, A. Campaña, H., Carrica, J., Cifuentes, O., Parodi, E., Piccolo, M., Poggio, J., Varela, H. y Schefer, J., (2009).** Informe Técnico sobre aspectos relevantes de la problemática del agua en la región de Bahía Blanca. Universidad Tecnológica Nacional, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 41 pp.
- **Ferrelli, F. y Aliaga, V. S. (2015).** Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina. Trabajo de aplicación final de Especialización en teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio del medio ambiente. Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina.
- **Ferrelli, F. (2016).** Análisis del clima local y micro local de la ciudad de Bahía Blanca. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- **Frecaut, R. y Pagney, P. (1978).** Climatologie et hydrologie fluviale a la surface de la terre. Paris, CDU, SEDES. I.
- **Gabella, J., Zapperi, P. y Campo, A. (2010).** Distribución estacional de las precipitaciones en el suroeste bonaerense. En: Actas de las VIII Jornadas de Geografía Física, Posadas, Argentina.
- **Gallego, S.; Moreno, R. y Campos, P. (2014).** Cambios en la geometría de los meandros de la cuenca media del río Arias (Salta, Argentina) por efecto de la construcción del embalse Gral. Belgrano. *Revista Digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Universidad Nacional de Luján. Luján. Año 6, Número 6, 201-225pp.

- **Gallegos Reina, A. J. (2015).** Caracterización de cuencas fluviales periurbanas con riesgo de inundación en ámbitos mediterráneos y propuesta de cartografía de peligrosidad adaptada. Tesis Doctor en Geografía. Universidad de Málaga.
- **García Martínez, B. y Baena Escudero, R. (2006).** El Impacto de las Infraestructuras de la Ciudad de Sevilla Sobre el Paisaje Fluvial del Río Guadalquivir. En Ríos y Ciudades Europeas: Espacios Naturales, Culturales y Productivos. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, pp.119-128.
- **García Martínez, M.B. (2015).** Cambios hidromorfológicos en el Guadalquivir y sus afluentes Guadalbarcar, Rivera de Huéznar y Rivera de Huelva (sector, Palma del Río-Sevilla). (Tesis de Doctor en Geografía). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- **Gaspari, F. y Bruno, J. (2003).** Diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande. Revista de la Asociación Argentina de Ecología. Ecología Austral. 13: 109-120.
- **Gentili, J.; Aldalur, B.; Gil, V. y Campo, A. (2013).** Áreas expuestas al peligro de crecidas en un tramo del arroyo Napostá Grande. Bahía Blanca. Argentina. II Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica y II Jornadas de Sistemas de Información Geográficas. Instituto del Conurbano de la Universidad Nacional de General Sarmiento. 8 pp.
- **Gil, V. (2010).** Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- **González Uriarte, M. (1984).** Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Actas del IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche. 556-576 pp.
- **González, F., Fernández, E. y Blanco, M. (1988).** Micromodelos geomorfológicos en la cuenca inferior del Napostá Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina. En: Actas de las Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses. Bahía Blanca. 213-224 pp.
- **Graf, W. L. (1988).** Definition of floodplains along arid region rivers. In Baker, V.R., Kochel, C.R y Patton, P.C. (Eds.) Flood Geomorphology. Wiley, New York. 231-242, pp.
- **Granado, D., Acín, V., Díaz Bea, E., Ibisate, A., Ollero Ojeda, A. (2011).** Análisis diacrónico de la migración de cauces fluviales mediante técnicas de SIG vectorial. I Congreso Ibérico de Restauración Fuvial- Restaurarios. León. 296-304

- **Guerrero Amador, I., García Martínez, B. y Baena Escudero, R. (2014).** Crecidas históricas, transformaciones territoriales y riesgo actual de inundación en la ciudad de Sevilla. En Sevilla, la ciudad y la riada del Tamarguillo (1961). Universidad de Sevilla. Secretariado de Publicaciones, pp. 247-267.
- **Gutiérrez Elorza, M. (2008).** Geomorfología. Editorial Pearson Educación, Madrid.
- **Hernández, V., N. C. (2018).** El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión. Terra Nueva Etapa, 34 (56).
- **Horacio, J., Ollero, A. y Pérez Alberti, A., (2015).** Clasificación morfodinámica en geomorfología fluvial y su aplicación a la restauración de ríos. Actas del II Congreso Ibérico de Restauración Fluvial Restaurarios 2015, 207-216, Pamplona.
- **Horacio, J. (2015).** Medicina fluvial. Un nuevo paradigma en la conservación y restauración de ríos bajo el enfoque de la geomorfología. Jolube, 122 p., Jaca.
- **Ibisate, A., Ollero, A., Sáenz de Olazagoitia, A., Acín, V., Granado, D., Ballarín, D., & Mora, D. (2016).** Condiciones de referencia para la restauración de la geomorfología fluvial de los ríos de las cuencas de Oiartzun y Oria (Gipuzkoa). Cuaternario y Geomorfología, 30 (1-2), 49-60 pp.
- **Knighton, D. (1984).** Fluvial Forms and Processes. Londres: Arnold.
- **Knighton, D. (1998).** Fluvial Forms and Processes: a new perspective. Londres: Arnold.
- **Leopold, L. B. y Wolman, M. G. (1957).** River channel patterns: braided, meandering, and straight. Washington, DC: US Government Printing Office. 37-86 pp.
- **López, N., Belleggia, F. y Schefer, J., (2012).** Evaluación de un indicador para la calidad del agua del arroyo Napostá Grande (Buenos Aires, Argentina). PGI 24/ZJ25 - Área I Hidráulica. Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur.
- **Magnante, L., Degiovanni, S. y Doffo, N. (2014).** Análisis de los cambios morfológicos y morfodinámicos del arroyo El Cano (Córdoba), en la última centuria: factores de control, causas e implicancias ambientales. Revista de la Asociación Geológica Argentina 71 (1): 56-68.
- **Martín Vide, J. P. (2002).** Ingeniería de ríos. Barcelona: Ediciones UPC.
- **Morisawa, M.E. (1985).** Rivers: form and process. London: Longman, 220 pp.

- **Noguera Corral, I. (2018).** Evolución y dinámica reciente del curso medio del río Ebro en el tramo de Alfaro-Castejón (La Rioja y Navarra). Tesis Máster en Ordenación Territorial y Medioambiental (inédita). 36 pp.
- **Ochoa, S., Reyna, T., Reyna, S., García, M., Labaque, M. y Díaz, M.J. (2016).** Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Calamuchita, Córdoba. Revista Facultad de Ciencias Exactas, Física y Naturales, Vol. 3, N°2, septiembre. 95-101.
- **Ollero Ojeda, A., Ballarín, D., Mora, D. (2006).** Cambios en el cauce y el llano de inundación del río Ebro (Aragón) en los últimos 80 años. Geographicalia, 50: 87–109.
- **Ollero Ojeda, A. (2007).** Algunos apuntes sobre la dinámica fluvial: los ríos actuales como resultado de su propia libertad y de la intervención humana en sus riberas. [En línea]. <https://www.researchgate.net/publication/291075532>. Zaragoza, España.
- **Ollero Ojeda, A., Romeo, R. (coord., 2007).** Las alteraciones geomorfológicas de los ríos. Mesas de trabajo de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- **Ollero Ojeda, A. (2009).** Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico en la cuenca del Ebro. Guía metodológica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Confederación Hidrográfica del Ebro. Universidad de Zaragoza. 91 pp.
- **Ollero Ojeda, A., Ballarín, D., Mora, D. (2009).** Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Guía metodológica. Confederación Hidrográfica del Ebro, 93 p., Zaragoza.
- **Ollero Ojeda, A., Ibisate, A., Elso, J. (2014).** Fluvial territory: restoration space. Technical note 1. CIREF and Wetlands International, 9 p.
- **Ollero Ojeda, A. (2014).** Guía metodológica sobre buenas prácticas en gestión de inundaciones. Manual para gestores. Zaragoza: Contrato de río del Matarraña, ECODES.
- **Ollero Ojeda, A. (2017).** Hidrogeomorfología y geodiversidad: el patrimonio fluvial. Zaragoza: Centro de Documentación del Agua y el Medio Ambiente (CDAMAZ). ISBN: 978-84-697-6952-2.
- **Paoloni, D. (2010).** Ambientes y recursos naturales del partido de Bahía Blanca: clima, geomorfología, suelos y aguas. 1ª ed.- Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, Ediuns, pp. 242.

- **Pedraza Gilsanz, J. (1996).** Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda, Madrid. 444 pp.
- **Pérez, D. y Perillo, G. (2002).** Transporte de sedimentos del arroyo Napostá Grande, Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología. Vol. 9, n°2: 189-199.
- **Petts, G. E. y Foster, I. (1985).** Rivers and Landscape. Londres: Arnold.
- **Petts, G.E. y Amoros, C. (1996).** Fluvial hydrosystems. En: Petts, G.E. y Amoros, C. (Eds.). Fluvial hydrosystems. Países Bajos: Springer.
- **Pez, M. A. y Villalba, S. (2015).** Simulación aerodinámica bidimensional en el río salado. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Departamento de Hidráulica Ciudad Universitaria. Santa Fe. Argentina. 4 pp.
- **Piégay, H. y Schumm, S.A. (2003).** Systems approaches in fluvial geomorphology. En Kondolf, G.M. y Piégay, H. (Eds.). Tools in Fluvial Geomorphology. (105-134). Chichester: Wiley.
- **Pirchi, V., Zapperi, P. y Gil, V. (2016).** Cambios de cobertura vegetal en un tramo del cauce del arroyo Napostá Grande (1990-2016) y su influencia en las condiciones de escurrimiento. En Actas de Resúmenes III Jornadas de Tecnologías de Información Geográfica del Sur Argentino. Bahía Blanca, 24-26 de agosto de 2016. ISSN 2525-0264
- **Pirchi, V., Gil, V. y Zapperi, P. (2017).** Geometría de meandros y cambios en el diseño del cauce en un tramo del arroyo Napostá Grande (1990-2016). XII Jornadas Cuyanas de Geografía: Huellas y Perspectivas. Universidad Nacional de Cuyo, 20-22 de septiembre de 2017. ISBN 978-950-774-328-3
- **Quintana Cobo, I. (2015).** Dinámica de meandros del alto Amazonas (Ucayali Basin). Tesis Doctor en Geografía. Universidad de Cantabria. Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio. España. 367 pp.
- **Rocha Felices, A. (2009).** La morfología fluvial y su incidencia en la estabilidad de las obras viales. VIII Congreso Internacional de obras de Infraestructura Vial. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- **Ruíz Chacón, M. (2018).** Caracterización hidromorfológica, diagnóstico y actuaciones de restauración en el río Arga a su paso por Pamplona. (Tesis de Maestría inédita). Universidad de Zaragoza, Zaragoza. 123 pp.

- **Sanhueza, C., Germain, P., Zapperi, G., Cuevas, Y., Damiani, M., Piovan, M., Tizón, R. y Loydi, A. (2014).** Plantas nativas de Bahía Blanca y sus alrededores. Descubriendo su historia, belleza y magia. 2 da ed. Bahía Blanca: el autor, 2016.
- **Santamaría, M. y Aldalur, B. (2014).** Enfoque estadístico de análisis de textura: su aplicación a la clasificación de un ortofotomosaico del valle de inundación del Arroyo Napostá Grande. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (14), 55-67.
- **Sato, R. A., (2016).** Modificaciones en el riesgo de inundación fluvial debido al desarrollo urbano junto a ríos de llanura. Estudio de caso: la ciudad de Gualeguaychú. Tesis de Maestría en Ingeniería de los Recursos Hídricos. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe. Argentina. 228 pp.
- **Schumm, S.A. (1969).** River metamorphosis. *ASCEJ. Hydraulic Division*, 95: 255-273.
- **Schumm, S.A. (1973).** Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. *Fluvial geomorphology*, 6, 69-85.
- **Schumm, S.A. (1977).** The fluvial system. Ed. J. Wiley & Sons, N. Y., U.S.A.
- **Scian, B. (2000).** Episodios ENSO y su relación con las anomalías de precipitación en la pradera pampeana. *Geoacta*, 25, 23-40.
- **Sereno, C. (2017).** Procesos socioambientales en un espacio de borde. Estrategias de los actores en el rururbano bahiense. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur. 309 pp.
- **Strahler, A. N. (1964).** Geomorfología cuantitativa de cuencas de drenaje y redes de canales. In V.T. CHOW (Ed.): *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill, New York, 39-76pp.
- **Strahler, A. y Strahler, A. (1989).** *Geografía Física*. 3ª Edición. Barcelona: Omega, S.A. 448 pp.
- **Torrero, M. (2005).** Análisis temporal de la variabilidad hidroclimática y su relación con las actividades antrópicas en el ambiente fluvial del arroyo Napostá Grande. Tesis de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, 62 pp.
- **Urriza, G. (1998).** Procesos de producción y transformación del espacio periurbano del sector noreste de Bahía Blanca. Director: Lic. Silvia Marengo (Tesis de grado). Universidad Nacional del Sur. Departamento de Geografía y Turismo.

- **Urriza, G., Marengo, S. y García Muñoz, C. (2011).** El crecimiento de Bahía Blanca desde la perspectiva de los planes urbanos. Actas del III Congreso de Geografía de Universidades Públicas. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe.
- **Urriza G. y Garriz E. (2014).** ¿Expansión urbana o desarrollo compacto? Estado de situación en una ciudad intermedia: Bahía Blanca, Argentina. Scielo: Revista Universitaria de Geografía. [En línea] Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur. Vol. 23. N°2. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/reuge/v23n2/v23n2a03.pdf>. [Fecha de consulta: 17 de marzo de 2017]
- **Urriza, G. (2016).** Expansión urbana, tierra vacante y demanda habitacional en Bahía Blanca. Modelos de ciudad y política urbana en debate. QUID16: Revista del Área de Estudios Urbanos del Instituto de Investigaciones Gino Germani de la Facultad de Ciencias Sociales. [En línea] Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. N°6. Disponible en: <http://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/quid16/article/view/2089>. [Fecha de consulta: 17 de marzo de 2017].
- **Vericat, D. y Batalla, R. (2016).** Morfodinámica fluvial. En: Batalla, R. y Tena, A. Procesos hidrosedimentarios en medios fluviales. España. Lleida: Milenio. 19-73 pp.
- **Zapperi, P. (2012).** Hidrografía urbana de Bahía Blanca. Tesis de Doctor en Geografía. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Argentina.

#### **Páginas web consultadas**

- **Aguas Bonaerenses S.A., (2017).** Taller de problemática regional del agua. UTN-FRBB- <https://www.frbb.utn.edu.ar/prodeca-proimca/archivos/absa-taller-problematica-regional-agua.pdf> [7 de marzo de 2017].
- **El arroyo Napostá.** Revalorización arroyo Napostá- integración a la dinámica urbana de Bahía Blanca. <http://www.naposta.org.ar/> [24 abril de 2016].

## 8. Anexo

### Anexo I

#### Variaciones espacio-temporales en los parámetros de meandros (1990-2016)

Variación espacio-temporal de la amplitud del arco de meandro						
Año	1990	2000	2006	2016	Periodo 1990-2016	
Nº de meandros	Am (metros)	Am (metros)	Am (metros)	Am (metros)	MEDIA	
1	53	Corte de meandros por avulsión				
1'	85					
2	38 (+)	36 (-)	40 (-)	61 (-)	44	
2'	48 (+)	44 (-)	51 (-)	61 (-)	51	
3	11 (-)	31 (+)	11 (-)	6	15	
3'	36 (+)	12 (-)	42 (+)	33	31	
4	59 (-)	61 (-)	67 (+)	53	60	
4'	51 (-)	61 (-)	66 (+)	45	56	
5	59 (-)	61 (-)	66 (+)	53	60	
5'	60 (=)	60 (-)	66 (+)	53	60	
6	402 (=)	402 (-)	410 (+)	407	405	
7	29 (+)	38 (+)	34 (+)	30	32	
7'	26 (+)	27 (-)	30 (-)	32	29	
8	4 (+)	2 (=)	2 (-)	4	3	
8'	10 (=)	10 (=)	10 (+)	5	9	
9	19 (-)	22 (-)	23 (+)	20	21	
9'	4 (+)	3 (=)	3 (+)	2	3	
10	12 (+)	5 (-)	8 (-)	9	8	
10'	37 (+)	28 (-)	29 (-)	35	32	
11	52 (+)	48 (+)	46 (+)	44	47	
11'	44 (+)	39 (-)	47 (+)	41	43	
12	26 (+)	15 (-)	24 (-)	27	23	
12'	19 (+)	15 (-)	17 (=)	17	17	

Variación espacio-temporal de radios de curvatura de meandros						
Año	1990	2000	2006	2016	Periodo 1990-2016	
Nº de meandros	Rc (metros)	Rc (metros)	Rc (metros)	Rc (metros)	MEDIA	
1	16	corte de meandros por avulsión				
1'	43					
2	19 (+)	17 (+)	17 (-)	23	19	
2'	11 (-)	20 (+)	17 (+)	12	15	
3	25 (+)	31 (-)	47 (-)	98	50	
3'	15 (-)	72 (+)	33 (+)	18	35	
4	16 (-)	20 (-)	14 (-)	19	17	
4'	17 (+)	14 (-)	12 (-)	27	20	
5	13 (-)	5 (-)	21 (-)	18	12	
5'	48 (-)	51 (-)	39 (+)	24	41	
6	83 (-)	56 (-)	81 (+)	76	74	
7	70 (-)	41 (-)	38 (-)	63	53	
7'	28 (+)	26 (+)	19 (-)	27	25	
8	25 (-)	27 (+)	25 (-)	29	26	
8'	18 (-)	19 (+)	19 (+)	13	17	
9	38 (-)	31 (+)	30 (-)	35	33	
9'	22 (-)	17 (-)	24 (+)	15	20	
10	22 (-)	26 (-)	29 (+)	26	26	
10'	17 (-)	22 (-)	24 (+)	15	20	
11	21 (-)	30 (+)	28 (+)	15	23	
11'	27 (-)	34 (+)	25 (-)	28	29	
12	17 (-)	23 (-)	27 (+)	14	20	
12'	71 (-)	51 (+)	51 (-)	74	62	
13	44 (-)	49 (+)	29 (+)	14	34	

Variación espacio-temporal de la longitud de onda del arco de meandros						
Año	1990	2000	2006	2016	Periodo 1990-2016	
Tipo de onda	λ (metros)	λ (metros)	λ (metros)	λ (metros)	MEDIA	
1 a 2	149	corte de meandros por avulsión				
1'a 2'	104					
2 a 3	117 (-)	121 (-)	133 (+)	128	125	
2'a 3'	117 (-)	133 (+)	117 (-)	131	124	
3 a 4	130 (-)	131 (+)	119 (=)	119	125	
3'a 4'	155 (+)	106 (-)	139 (-)	162	141	
4 a 5	135 (-)	143 (-)	155 (+)	150	146	
4'a 5'	131 (-)	142 (-)	146 (+)	139	140	
7 a 8	115 (-)	143 (-)	145 (+)	134	134	
7'a 8'	70 (+)	60 (-)	63 (-)	79	68	
8 a 9	51 (+)	48 (+)	43 (-)	47	47	
8'a 9'	76 (-)	80 (+)	71 (+)	65	73	
9 a 10	87 (+)	80 (-)	82 (+)	69	79	
9'a 10'	61 (-)	70 (+)	63 (-)	67	65	
10 a 11	89 (=)	89 (-)	92 (-)	105	94	
10'a 11'	133 (+)	121 (-)	124 (-)	131	127	
11 a 12	106 (-)	117 (+)	108 (=)	108	110	
11'a 12'	102 (-)	116 (+)	105 (-)	111	108	
12 a 13	117 (+)	116 (+)	112 (-)	117	115	
12'a 13'	154 (+)	135 (+)	134 (+)	133	139	

Fuente: Pirchi V., 2019. Los signos indican la dinámica fluvial de los meandros en el cauce periurbano norte del Ao. Napostá Grande durante el periodo 1990-2016. Tabla (Am): (+) sedimentación (-) erosión (=) estable o sin cambios. Tabla (Rc): (+) movilidad lateral por sedimentación (-) movilidad lateral por erosión (=) estable o sin cambios. Tabla (λ): (-) disminuye la sinuosidad (+) aumenta la sinuosidad (=) estable o sin cambios.

Anexo II  
Dinámica de meandros de la sección 1

Nº de meandro	Comportamiento dinámico de los parámetros de meandros		
	1990 -2000	2000-2006	2006-2016
1 y 1'	Corte de meandro por proceso de avulsión		
2	↓ Am: + 2 m sedimentación ↓ Rc: + 2 m sedimentación	↑ Am: - 4 m erosión = Rc: 0 m estable	↑ Am: - 21 m erosión ↑ Rc: - 6 m erosión
2'	↓ Am: + 4 m sedimentación ↑ Rc: - 9 m erosión	↑ Am: - 7 m erosión ↓ Rc: + 3 m sedimentación	↑ Am: - 10 m erosión ↓ Rc: + 5 m sedimentación
3	↑ Am: - 20 m erosión ↑ Rc: - 6 m erosión	↓ Am: + 20 m sedimentación ↑ Rc: - 16 m erosión	↓ Am: + 5 m sedimentación ↑ Rc: - 51 m erosión
3'	↓ Am: + 24 m sedimentación ↑ Rc: - 57 m erosión	↑ Am: - 30 m erosión ↓ Rc: + 39 m sedimentación	↓ Am: + 9 m sedimentación ↓ Rc: + 15 m sedimentación
4	↑ Am: - 2 m erosión ↑ Rc: - 4 m erosión	↑ Am: - 6 m erosión ↓ Rc: + 6 m sedimentación	↓ Am: + 14 m sedimentación ↑ Rc: - 5 m erosión
4'	↑ Am: - 10 m erosión ↓ Rc: + 3 m sedimentación	↑ Am: - 5 m erosión ↑ Rc: - 7 m erosión	↓ Am: + 21 m sedimentación ↑ Rc: - 6 m erosión
5	↑ Am: - 2 m erosión ↓ Rc: + 8 m sedimentación	↑ Am: - 5 m erosión ↑ Rc: - 7 m erosión	↓ Am: + 13 m sedimentación ↑ Rc: - 6 m erosión
5'	= Am: 0 m estable ↑ Rc: - 3 m erosión	↑ Am: - 6 m erosión ↓ Rc: + 12 m sedimentación	↓ Am: + 13 m sedimentación ↓ Rc: + 15 m sedimentación
Proceso dominante	<b>EROSIÓN</b>	<b>EROSIÓN</b>	<b>SEDIMENTACIÓN</b>

Fuente: Pirchi, V., 2019. Los símbolos indican: ↑ aumento del parámetro del meandro por erosión ↓ disminución del parámetro por sedimentación = sin cambios en el parámetro.

Anexo III  
Dinámica de meandros de la sección 2

Nº de meandro	Comportamiento dinámico de los parámetros de meandros		
	1990 -2000	2000-2006	2006-2016
6	= Am: 0 m estable ↓ Rc: + 27 m sedimentación	↑ Am: - 8 m erosión ↑ Rc: - 25 m erosión	↓ Am: + 3 m sedimentación ↓ Rc: + 5 m sedimentación
Proceso dominante	<b>SEDIMENTACIÓN</b>	<b>EROSIÓN</b>	<b>SEDIMENTACIÓN</b>

Fuente: Pirchi, V., 2019. Los símbolos indican: ↑ aumento del parámetro del meandro por erosión ↓ disminución del parámetro por sedimentación = sin cambios en el parámetro.

Anexo IV  
Dinámica de meandros de la sección 3

Nº de meandro	Comportamiento dinámico de los parámetros de meandros		
	1990 -2000	2000-2006	2006-2016
7	↑ Am: - 9 m erosión ↓ Rc: + 29 m sedimentación	↓ Am: + 4 sedimentación ↓ Rc: + 3 m sedimentación	↓ Am: + 4 sedimentación ↑ Rc: - 25 m erosión
7'	↑ Am: - 1 m erosión ↓ Rc: + 2 m sedimentación	↑ Am: - 3 m erosión ↓ Rc: + 7 m sedimentación	↑ Am: - 2 m erosión ↑ Rc: - 8 m erosión
8	↓ Am: + 2 sedimentación ↑ Rc: - 2 m erosión	= Am: 0 m estable ↑ Rc: + 2 sedimentación	↑ Am: - 2 m erosión ↑ Rc: - 4 m erosión
8'	= Am: 0 m estable ↑ Rc: - 1 m erosión	= Am: 0 m estable = Rc: 0 m estable	↓ Am: + 5 sedimentación ↓ Rc: + 6 m sedimentación
9	↑ Am: - 3 m erosión ↓ Rc: + 7 m sedimentación	↑ Am: - 1 m erosión ↓ Rc: + 1 m sedimentación	↓ Am: + 3 sedimentación ↑ Rc: - 5 m erosión
9'	↓ Am: + 1 sedimentación ↓ Rc: + 5 m sedimentación	= Am: 0 m estable ↑ Rc: - 7 m erosión	↓ Am: + 1 sedimentación ↓ Rc: + 9 m sedimentación
10	↓ Am: + 7 sedimentación ↑ Rc: - 4 m erosión	↑ Am: - 3 m erosión ↑ Rc: - 3 m erosión	↑ Am: - 1 m erosión ↓ Rc: + 3 m sedimentación
10'	↓ Am: + 9 sedimentación ↑ Rc: - 5 m erosión	↑ Am: - 1 m erosión ↑ Rc: - 2 m erosión	↑ Am: - 6 m erosión ↓ Rc: + 9 m sedimentación
11	↓ Am: + 4 sedimentación ↑ Rc: - 9 m erosión	↓ Am: + 2 sedimentación ↑ Rc: + 2 m sedimentación	↓ Am: + 2 sedimentación ↓ Rc: + 13 m sedimentación
11'	↓ Am: + 5 sedimentación ↑ Rc: - 7 m erosión	↑ Am: - 8 m erosión ↑ Rc: + 9 m sedimentación	↓ Am: + 6 sedimentación ↑ Rc: - 3 m erosión
12	↓ Am: + 11 sedimentación ↑ Rc: - 6 m erosión	↑ Am: - 9 m erosión ↑ Rc: - 4 m erosión	↑ Am: - 3 m erosión ↓ Rc: + 13 m sedimentación
12'	↓ Am: + 4 sedimentación ↓ Rc: + 20 m sedimentación	↑ Am: - 2 m erosión = Rc: 0 m estable	= Am: 0 m estable ↑ Rc: - 23 m erosión
Proceso dominante	<b>SEDIMENTACIÓN</b>	<b>EROSIÓN</b>	<b>SEDIMENTACIÓN</b>

Fuente: Pirchi, V., 2019. Los símbolos indican: ↑ aumento del parámetro del meandro por erosión ↓ disminución del parámetro por sedimentación = sin cambios en el parámetro.

Anexo V  
Variación en la longitud de meandros durante el periodo 1990-2016

Nº de meandro	Años				Periodo
	1990	2000	2006	2016	1990-2016
1	166 m	Corte de meandro por avulsión			
2	178 m	177 m	185 m	207 m	↑29 m
3	178 m	151 m	160 m	191 m	↑13 m
4	168 m	178 m	193 m	175 m	↑7 m
5	185 m	201 m	196 m	191 m	↑6 m
6	1314 m	1323 m	1313 m	1264 m	↓50 m
7	158 m	153 m	153 m	144 m	↓14 m
8	76 m	85 m	70 m	79 m	↑3 m
9	80 m	79 m	74 m	66 m	↓14 m
10	70 m	70 m	78 m	73 m	↑3 m
11	161 m	146 m	149 m	157 m	↓4 m
12	139 m	145 m	141 m	140 m	↑1 m
13	190 m	146 m	147 m	160 m	↓30 m

Fuente: Pirchi, V., 2019. Las flechas indican: ↑ aumento de la longitud del meandro ↓ reducción de la longitud del meandro.