

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
XXV CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LOS ESTILOS DE RÍOS DE LA
CUENCA DEL RÍO ANDALIÉN**

CONSTANZA GONZÁLEZ S.¹
JOSÉ VARGAS B.²
SANTIAGO YÉPEZ F.³

RESUMEN

La cuenca del río Andalién ubicada en la región del Biobío, se ha visto afectada en años recientes por el efecto antrópico y por inundaciones asociadas a eventos de precipitación extrema. Por esto, surge la necesidad de investigar el río a escala de cuenca, utilizando nuevas herramientas computacionales. Para esto, se aplica el marco *River Styles* en conjunto con la metodología de desagregación y agregación espacial para conocer su geomorfología y comportamiento. Esto con el objetivo de caracterizar geomorfológicamente y de forma semiautomática la cuenca del río Andalién, siguiendo las primeras etapas del Marco *River Styles*. Para cumplir el objetivo se extraen las principales características geomorfológicas del río, a partir de las cuales, se realiza una clasificación de los estilos de ríos. La caracterización mostró como resultados 56 tramos de ríos con características homogéneas de los cuales, se obtuvieron 12 estilos de ríos principales. A partir de la clasificación se distinguen tres zonas con características homogéneas (alta, media y baja). La zona alta se encuentra confinada con un grado de sinuosidad alto y el río tiene mayor capacidad de arrastre, luego, aguas abajo, el río se empieza a desconfinar, a disminuir su grado de sinuosidad y a producirse deposición de sedimentos, aumentando la presencia de barras.

¹ Estudiante de MSc. con mención Ing. Civil, Universidad de Concepción - email: constanzagonzal@udec.cl

² Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción – email: jvargas@udec.cl

³ Profesor Asistente, Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente, Universidad de Concepción – email: syopez@udec.cl

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se han producido cambios importantes en el comportamiento de los ríos producto de la variabilidad climática, como el aumento de caudales extremos que resultan en inundaciones con consecuencias catastróficas para las personas que viven en sectores aledaños a los ríos. Estas inundaciones extremas producen un mayor impacto por la rápida expansión urbana en los corredores fluviales, provocando cambios en los sistemas hídricos producto de la impermeabilización del suelo y reducción de la infiltración (Miller *et al.*, 2014)

En Chile, uno de los eventos de precipitación extrema más grandes de los últimos años ocurrió en 2006, donde se vieron afectadas la V, VI, VII y VIII región; este evento tuvo como consecuencia social, 18 muertos, 62 416 damnificados y 95 862 afectados (Rojas *et al.*, 2014). Una de las cuencas que se vio comprometida por este evento extremo fue la cuenca del río Andalién que se localiza en la latitud 36.5°S y la altitud 73°O en la VIII región, la cual concentra el 90 % de su población en la zona inferior (cercana a su desembocadura), y donde se produjo el mayor daño en los sectores aledaños al corredor fluvial producto de las inundaciones provocadas por este evento. La superficie urbana de la cuenca del río Andalién se incrementó en 1458 ha en 68 años, lo que ha provocado cambios importantes en la red hídrica, como la disminución de la llanura de inundación y longitud del río, lo cual ha tenido como consecuencia 21 eventos de inundaciones entre 1960-2010, así como el aumento de la zona de peligrosidad de la cuenca (Rojas *et al.*, 2016).

El objetivo de este trabajo es caracterizar geomorfológicamente y de forma semiautomática la cuenca del río Andalién, aplicando el marco “*River Styles*”. Se tienen 4 objetivos específicos, los cuales son extraer componentes morfológicos del río Andalién mediante el uso combinado de datos altimétricos y series de tiempo de imágenes satelitales en la herramienta *South Rivers Toolbox*, calibrar y validarlas métricas extraídas a partir del *South Rivers Toolbox* e identificar los estilos de ríos aplicando el marco *River Styles*.

ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio es el río Andalién, cuyo drenaje principal lleva su nombre. La cuenca del río Andalién está ubicada en la octava región de Chile, en la latitud 36.5°S y altitud 73°O (Figura 1). Es una cuenca costera de aproximadamente 790 km² de régimen pluvial, que nace en la cordillera de la costa hasta desembocar en el Océano Pacífico. La geomorfología de la cuenca se destaca por tener relieves de erosión (cordones y plataformas) y relieves de acumulación (valles, terrazas fluviales, llanuras idiomorfas, cordones litorales, marismas y dunas) (Jaque, 2008).

El río Andalién nace de la unión de los esteros Poñén y Curapalihue hasta desembocar en el océano Pacífico, zona donde se encuentra el humedal Rocuant (Dirección General de Aguas [DGA], 2021). El río tiene aproximadamente 35 km de largo y confluyen a él los esteros Nonguén, Palomares, Queule y Chaimávida.

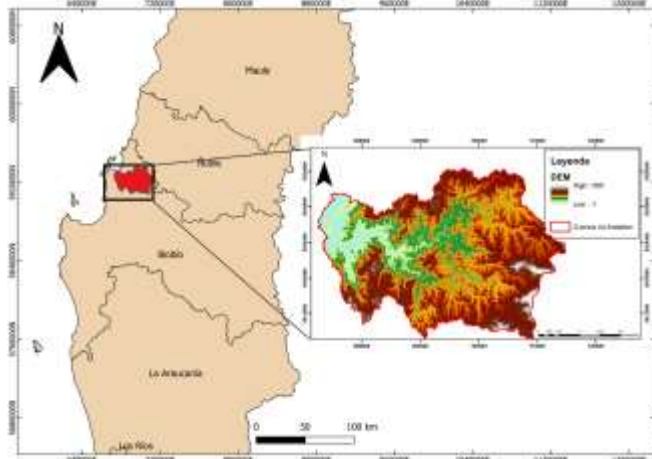


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Andalién

METODOLOGÍA

1. Materiales

Para la extracción de las características geomorfológicas se utilizan diferentes datos de entrada, imágenes satelitales temporales y tres modelos de elevación digital (DEM), combinando toda la información disponible para abarcar la zona de estudio.

Las imágenes satelitales permiten delimitar el canal activo y la presencia de unidades geomorfológicas en la zona de estudio. Para obtener buenos resultados es necesario contar con imágenes satelitales extraídas para diferentes periodos del régimen hidrológico, es decir, imágenes captadas en días de mayor y menor caudal del mismo año hidrológico. Para este estudio se extrajeron imágenes *Planet* captadas por la constelación de nanosatélites *PlanetScope* de 3 metros de resolución espacial en periodos de aguas altas y aguas bajas. Se utilizaron imágenes de la plataforma ESRI de alta resolución del mismo año hidrológico, esto debido a la gran presencia de vegetación alta aguas arriba del río Andalién y la necesidad de imágenes con mayor resolución espacial para una mejor digitalización de los elementos del corredor fluvial. Para este estudio se utilizaron tres datos de DEM, un LIDAR de resolución espacial 5 metros de octubre del 2012 (SEREMI MINVU, 2012), el DEM de la agencia espacial alemana TanDEM-x de resolución espacial 10 metros y el DEM de *Alos World 3D-30m*. El DEM LIDAR abarca solo la zona baja del río Andalién, el TanDEM-X el 80 % de la cuenca y el DEM de 30 metros el 100 % de la cuenca.

2. Métodos

Para realizar la caracterización geomorfológica del río Andalién se aplican dos metodologías, la primera aborda la desagregación y agregación de objetos geográficos (Alber y Piégay, 2011), la cual se desarrolla utilizando la herramienta *South Rivers Toolbox* (SRT) en QGIS (<https://vosores.github.io/SouthRiversToolbox/web/plugins.xml>), siendo utilizado para extraer las métricas y principales características en un sistema fluvial de forma semiautomática. La segunda es el marco *River Styles* (Brierley y Fryirs, 2005), el cual toma como datos de entrada los obtenidos con el SRT para luego realizar una clasificación de estilos de ríos mediante un árbol procedimental y una herramienta de agrupamiento o clasificación, según sus características más relevantes.

Metodología de desagregación y agregación

Esta permite extraer las principales características geomorfológicas de una cuenca para luego realizar una clasificación de estas. Esta metodología consiste en extraer Objetos Geográficos Unitarios (UGO) a partir de imágenes satelitales temporales, combinando este análisis con uno o más DEM para construir el esqueleto del río, los cuales son desagregados espacialmente para obtener los Objetos Geográficos Desagregados (DGO). Una vez obtenidos los DGO, se calculan las métricas y se determina su configuración en planta, confinamiento local y sinuosidad para luego realizar un agrupamiento (por segmentos homogéneos) utilizando un test estadístico (*Hubert test*) que permita obtener los objetos geográficos agregados. Este análisis se realiza sobre un SIG (ArcGIS y QGIS).

- **Objetos Geográficos Unitarios (UGO)**

Los UGO de una cuenca son: el canal activo, envolvente del canal activo, unidades geomórficas y la llanura de inundación. El canal activo, la envolvente y las unidades geomorfológicas son delimitadas de forma semi-automática extrayéndole el Índice Normalizado de Agua (NDWI) (McFeeters, 1996) a las imágenes satelitales. La llanura de inundación es delimitada con el complemento de ArcGIS V-BET desarrollado por Gilbert *et al.* (2016), el cual utiliza como datos de entrada un DEM de la zona de estudio y la línea central de la envolvente del canal activo-segmentada. Para validar la llanura de inundación, se cuenta con una delimitada con el software HEC-RAS (ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L., 2011) en la parte baja del río e imágenes aéreas del evento de precipitaciones extremas del 2006 y se utiliza como referencia el estudio realizado por Rojas *et al.* (2016).

- **Objetos Geográficos Desagregados (DGO)**

Los DGO son el resultado de la segmentación de un objeto geográfico unitario, que se realiza cada cierta longitud, siendo dependiente del largo y ancho del río. La desagregación es realizada al elemento UGO correspondiente a la llanura de inundación y a partir de esa segmentación se intersectan los demás UGO. A cada DGO se les extraen las métricas mediante las herramientas mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Métricas extraídas a lo largo de los DGO

Tipo de métrica	Herramienta utilizada	Descripción
Ancho de la llanura de inundación	<i>Width Valley Bottom</i> del SRT en QGIS	Ancho promedio de la llanura de inundación cada 100 metros (a nivel de DGO)
Ancho del canal activo y envolvente	<i>Width del Fluvial Corridor Toolbox</i> (Roux <i>et al.</i> , 2015) en ArcGIS	Ancho promedio del canal activo y la envolvente a nivel de DGO
Pendiente y elevación	Herramientas de hidrología del <i>Spatial Analyst Tool</i> de ArcGIS	La elevación permite calcular la pendiente a lo largo del río, esto permite analizar el transporte de sedimentos
Área de captación	Herramientas de hidrología del <i>Spatial Analyst Tool</i> de ArcGIS	Parámetro que permite calcular el área total de la cuenca y el área captante a lo largo del río, permite calcular la potencia de corriente
Potencia de corriente	Hoja de Excel	Potencia de disipación de energía en un lecho y es utilizado para cuantificar la tasa de suministros de energía en una longitud unitaria de corriente y para estudiar el transporte de sedimentos en un río o canal (Gartner, 2016)

Potencia de corriente específica	Hoja de Excel	Producto entre la potencia de corriente y el ancho del canal, en el caso de este trabajo el ancho utilizado es el ancho del canal activo correspondiente al periodo de aguas altas
Sinuosidad	<i>Planform Metrics</i> del SRT en QGIS	Cociente entre la longitud de la curvatura (σ) y la longitud del segmento (δ) correspondiente a la línea de inflexión
Confinamiento local	SRT en QGIS	Calculado para la determinación de los DGO que poseen sinuosidad confinada
Forma en planta	Hoja de Excel diseñada por Nardini y Brierley (2021)	Clasificación de los tramos de ríos según número de canales, islas, barras laterales, barras puntuales, barras medias, humedales, ancho del canal activo y sinuosidad

- **Objetos Geográficos Agregados (AGO)**

El último paso de la metodología es la agregación de los DGO para obtener los AGO, que son los tramos homogéneos que se utilizan para la clasificación *River Style*. Para la agregación de los DGO se aplica en primer lugar la prueba estadística test de *Hubert* (Hubert, 2000) para determinar tramos homogéneos, según el ancho de la llanura de inundación y luego se intersectan los tipos de forma en planta obtenidos, para así generar los tramos homogéneos. Obtenidos los tramos, se determina el grado y causa de confinamiento, sinuosidad macro y material del lecho a nivel de AGO. A continuación, se explica cómo se determinan.

-Confinamiento: es el principal atributo de la clasificación *River Styles*, ya que caracteriza el comportamiento del río y corresponde al grado en que el río colinda con la llanura de inundación (VB). El confinamiento se clasifica como confinado, no confinado y parcialmente confinado (Nardini, Yépez y Bejarano, 2020). El cálculo del confinamiento se calcula utilizando el módulo de confinamiento del SRT.

-Causa del confinamiento: se determina mediante interpretación visual con imágenes satelitales, imágenes aéreas temporales y un DEM. Se clasifica si el tramo es confinado por infraestructura, *planform* (presencia de geofomas en la llanura de inundación) o valle.

-Sinuosidad macro: es calculada a nivel de tramos, se generan los puntos de inflexión donde se producen los cambios de tramos. Esto se realiza, segmentando la línea central del canal activo para obtener así los segmentos separados y para generar la línea de unión. Seguidamente, se crea una polilínea recta segmentada que une los puntos de frontera. Se determina el tipo de sinuosidad según la tabla 2.

Tabla 2 Tipos de sinuosidades

Tipo de sinuosidad	Rango de valores
Rectilíneo	$S \leq 1.05$
Baja sinuosidad	$1.05 < S < 1.3$
Sinuoso	$1.3 \leq S \leq 1.5$
Con Meandros	$1.5 < S \leq 2$
Tortuoso	$S > 2$
Sinuosidad confinada	Si el canal está confinado a la llanura de inundación

Fuente: Nardini y Brierley (2021)

- Material del lecho: clasificación visual del material del lecho o mediante la adquisición de tomas de muestra en terreno para determinar su granulometría y tipo de suelo.

Marco River Styles

El marco *River Styles* descrito por Brierley y Fryirs (2005) permite realizar una interpretación de las características, comportamiento, condición y potencial de recuperación de un río. Este marco permite realizar un análisis integrado del río a nivel de cuenca y describe que cada cuenca tiene un comportamiento diferente y debe ser analizada de tal forma.

La metodología consiste en otorgarle un estilo de río a cada tramo segmentado. Para ello se deben tener en cuenta todas las características, como: confinamiento, causa del confinamiento, forma en planta (*planform*), carácter de la llanura de inundación, material del lecho y la presencia o ausencia de barras medias, barras laterales, islas y humedales, que son las características principales que permitirán diferenciar los estilos fluviales. Para la determinación de los estilos de río se utiliza un árbol procedimental que jerarquiza los atributos.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Desagregación y agregación de objetos geográficos

- **Objetos Geográficos Unitarios (UGO)**

La Figura 3 muestra el mapa con los DGO a lo largo del río desde aguas arriba hacia aguas abajo, se visualiza la llanura de inundación (verde claro), el canal activo (celeste) y las unidades geomórficas. Las unidades geomórficas que se delimitaron a lo largo del río fueron barras medias (café), barras laterales con vegetación (amarillo), barras laterales sin vegetación (naranja), el humedal Rocuant en la zona de la desembocadura (verde agua) y la Laguna Pineda (azul) en la Figura 4(c). En la figura se puede observar que hay mayor frecuencia de barras en la parte baja del río y que a lo largo del río se encuentran pocas islas, a excepción de la gran isla de la desembocadura, por lo que puede visualizar que el río es en esencia mono-canal.

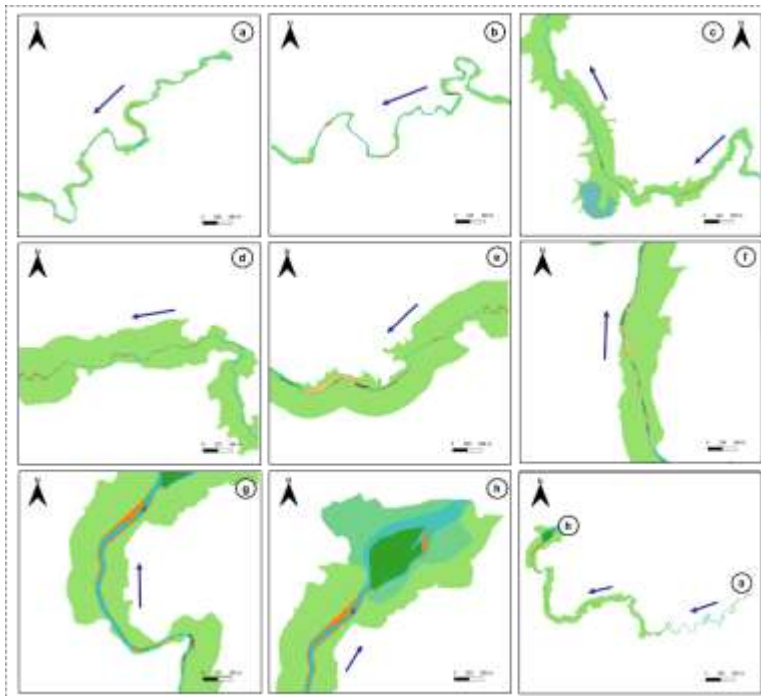


Figura 3. Mapa a lo largo del río Andalién, desde aguas arriba (a) hacia aguas abajo (h), con las unidades geomórficas delimitadas

- **Objetos Geográficos Desagregados (DGO)**

La Figura 4 muestra la segmentación cada 100 metros en la llanura de inundación y el canal activo, de la cual se obtienen 353 DGO a lo largo del río, desde aguas arriba hacia aguas abajo. La Figura 5 muestra los resultados obtenidos del cálculo del área captante y elevaciones y la Figura 6 muestra los resultados del cálculo del valor de la potencia de corriente total y específica.

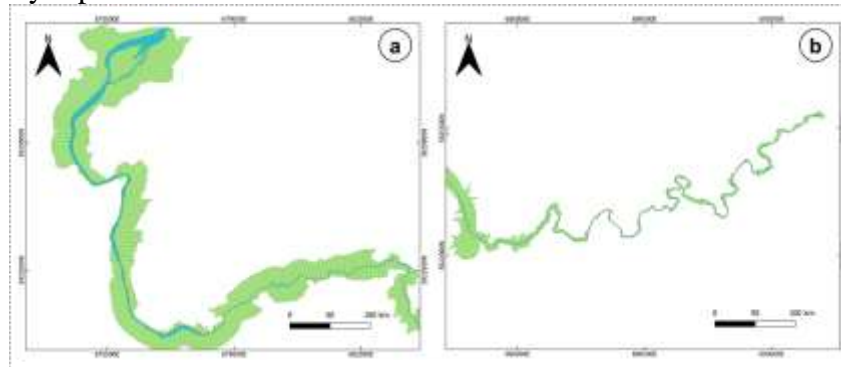


Figura 4. Llanura de inundación y canal activo segmentados (a) zona baja del río, (b) zona alta del río

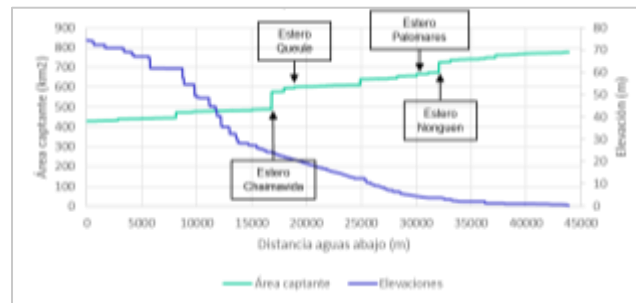


Figura 5. Área captante a lo largo del río desde aguas arriba hacia aguas abajo, perfil de elevaciones y puntos donde confluyen los esteros al río Andalién

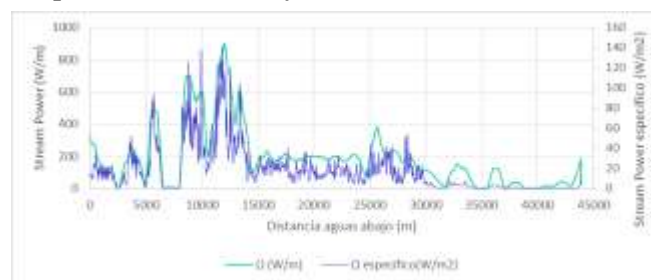


Figura 6. Comparación de potencia de corriente total y específica cada 20 metros a lo largo del río

- **Objetos Geográficos Agregados (AGO)**

La Figura 7 muestra en el primer mapa los tramos homogéneos obtenidos por la aplicación del *Hubert Test*, el segundo mapa muestra la clasificación por forma en planta y el tercero muestra la intersección. De esta intersección se generan 46 tramos que corresponden a los AGO.

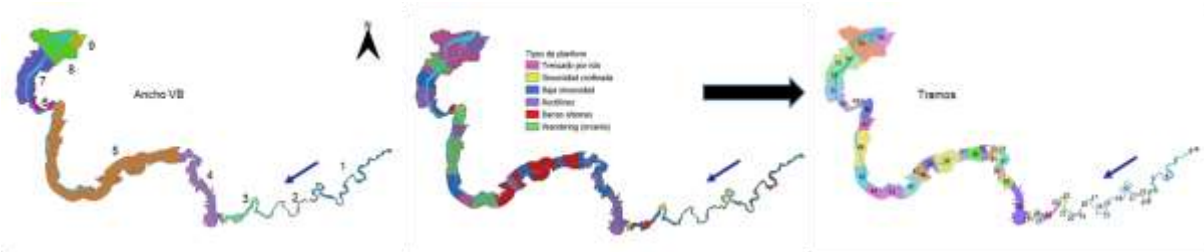


Figura 7. Tramos generados por *Hubert test*, por tipo de forma en planta y la intersección entre ellos (tramos)

En la figura 8 se muestra el grado de confinamiento de los tramos a lo largo del río, donde se observa que la parte alta el río se encuentra mayormente confinado y desde el km 11 aguas abajo el río se desconfinan. La Figura 8(a) muestra un tramo confinado y parcialmente confinado y la Figura 8(b) muestra un tramo no confinado. La Figura 9 muestra el grado de sinuosidad, donde en la parte alta el río es sinuoso y tiene tramos con meandros. Desde el km 11 hacia aguas abajo, la sinuosidad disminuye y los tramos son de baja sinuosidad y rectilíneos.

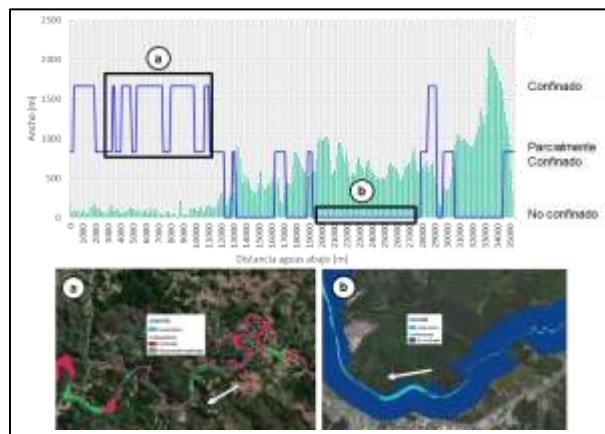


Figura 8. Gráfico del grado de confinamiento de los tramos a lo largo del río, desde aguas arriba hacia aguas abajo

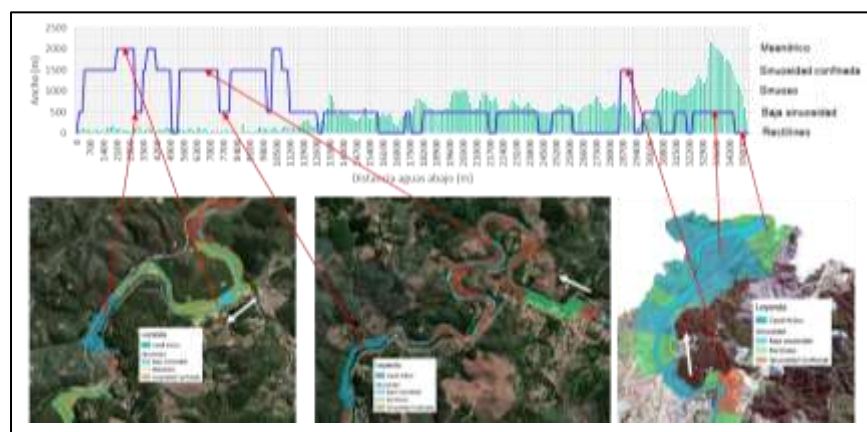


Figura 9. Tipo de sinuosidad en cada tramo a lo largo del río, desde aguas arriba hacia aguas abajo

Marco River Styles

- **Atributos y clasificación**

La clasificación *River Styles* (RS) se realiza a partir de atributos principales y secundarios. Para la clasificación del RS principal se consideran como atributos: el confinamiento, causa de confinamiento, forma en planta y material del lecho, este último se clasificó, a partir de imágenes de la zona, como fino. Se obtienen 12 estilos de ríos principales. Para la clasificación secundaria se utilizan los atributos de la presencia o ausencia de unidades geomorfológicas en la llanura de inundación y en el canal activo, de la cual se obtienen 29 estilos de ríos secundarios.

- **Comportamiento del río a escala de cuenca**

En la Figura 10 se muestra el mapa de la cuenca del Río Andalién con los estilos de ríos clasificados según sus características geomorfológicas, donde se realiza un análisis del comportamiento del río. El río se divide en 3 zonas basado en el ancho de la llanura de inundación.

La primera zona empieza en la unión entre los estero Poñen y Curapalihue, hasta 17.8 km aguas abajo. Esta zona se encuentra confinada y parcialmente confinada por *planform*, su grado de sinuosidad es alto, por lo que se encuentran tramos de río sinuosos y con meandros. La potencia de corriente específica en este tramo alcanza el valor máximo de 141.5 W/m^2 , lo que significa que en esta zona, el río tiene la mayor capacidad de arrastre de sedimentos, dada la alta pendiente y al grado de confinamiento del río; dando lugar a una baja presencia de barras laterales. Si bien, el valor de la potencia específica es baja en comparación a otros ríos (Bizzi *et al.*, 2015), se produce mayor transporte de sedimentos en esta zona y se valida con la ausencia de barras laterales y medias. Los estilos de ríos que predominan en esta zona se caracterizan por su alto grado de sinuosidad, confinamiento y forma en planta monocanal de sinuosidad confinada, según la Figura 10(a).

La segunda se compone desde el tramo T28 al T50, esto es desde el kilómetro 17.8 hasta el 34.5. La llanura de inundación es mayor que la primera zona y esta varía entre 245 y 895 metros. Esta zona se caracteriza por ser no confinada y algunos tramos parcialmente confinados por *planform* e infraestructura, este último se debe a carreteras, diques y a la canalización realizada durante 2015. El grado de sinuosidad en esta zona es menor, y predominan los tramos de baja sinuosidad y rectilíneos. El valor de la potencia de corriente específica empieza a disminuir, llegando a valores medios de 40 W/m^2 , lo que significa que en esta zona empiezan a depositarse los sedimentos transportados desde aguas arriba, esto implica una mayor frecuencia de barras laterales, medias e islas. Los tipos de forma en planta del río que predominan son monocanal, rectilíneo, de baja sinuosidad, de transición con barras alternas y *wandering*. Los estilos de ríos que se encuentran en esta zona se caracterizan por su bajo grado de sinuosidad, no confinamiento y mayor frecuencia de barras alternas, según la Figura 10(b)

La última zona corresponde a la parte baja del río, zona de la desembocadura, donde la pendiente es casi cero y se encuentra el humedal Rocuant. Esta zona se compone por los tramos T51 al T56, desde el kilómetro 34.5 hasta el, 42.6. Los estilos de ríos de esta zona se

caracterizan por no estar confinados, no ser sinuosos y los tipos de forma en planta que se encuentran son mono-canal rectilíneo, de baja sinuosidad y multicanal trenzado por islas, según la Figura 10(c). La principal característica de esta última zona es la presencia de la gran isla, que produce que el río se divida en dos canales. El ancho de la llanura de inundación varía entre 960 y 1914 metros, lo que indica que es la zona que tiene la llanura de inundación más grande. Con respecto a la potencia de corriente específica, es casi cero debido a la baja pendiente, lo que produce una mayor deposición de sedimentos, dando origen a unidades geomórficas por la gran isla sin vegetación que domina la zona cercana a la desembocadura.

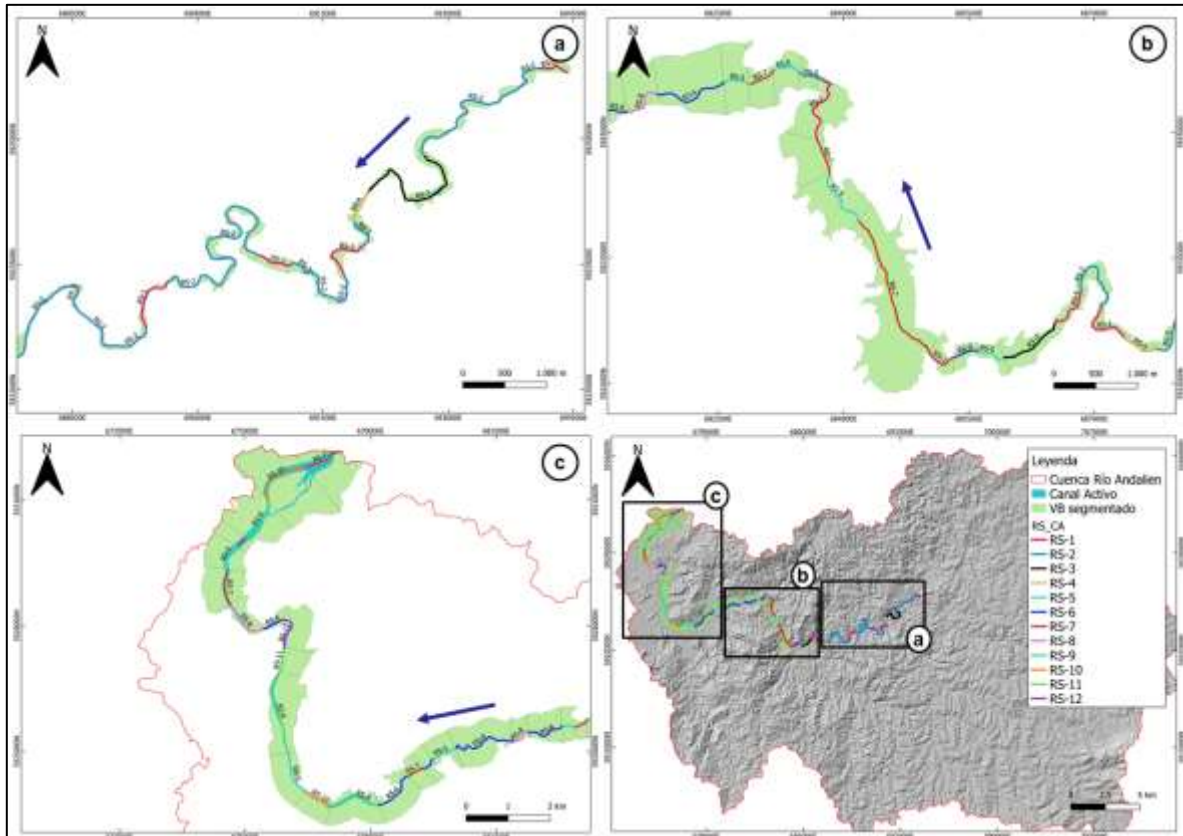


Figura 10. Mapa de los River Styles identificados en el río Andalién

CONCLUSIONES

Con la herramienta *South Rivers Toolbox* en QGIS y la aplicación de la metodología de desagregación y agregación de objetos geográficos se pudo realizar una extracción semi-automática de todas las características geomorfológicas a lo largo del río. Para esto se utilizaron series de tiempo de imágenes satelitales y datos altimétricos. Las características extraídas fueron el canal activo, unidades geomorfológicas (barras medias, barras laterales, islas, humedal y lagunas), llanura de inundación, sinuosidad a lo largo del río, el grado y causa de confinamiento, los tipos de forma en planta que se encuentran en el canal activo, la pendiente, área de captación y potencia de corriente específica.

Se realizó la calibración y validación de los parámetros con imágenes satelitales de diferentes resoluciones espaciales, fotografías aéreas del evento de precipitaciones extremas del 2006,

fotografías del material del lecho, tres modelos de elevación digital y delimitaciones de la llanura de inundación en la parte baja, realizadas por otros autores.

Con respecto a los resultados obtenidos de los estilos fluviales, se obtuvieron 12 a lo largo del río. Estos, se agrupan en tres zonas marcadas por diferentes características geomorfológicas. La zona alta se caracteriza por ser confinada por *planform*, río sinuoso, baja frecuencia de barras, alta pendiente y un alto valor de potencia de corriente específica, que significa una gran capacidad de arrastre de sedimentos. La zona media se encuentra parcialmente confinada y no confinada, donde la causa de confinamiento es por infraestructura, el valor de la potencia de corriente específica disminuye por lo que se produce una deposición de sedimento que se ve reflejado en la presencia de barras. La zona baja no se encuentra confinada, el ancho de su llanura de inundación alcanza un kilómetro, la pendiente es casi nula promoviendo una mayor deposición de sedimentos, lo cual se ve reflejado en la gran isla cercana a la desembocadura.

Finalmente, se cumplen los objetivos pudiendo realizar una caracterización de los estilos fluviales del río Andalién, obteniendo 12 estilos de ríos que permiten realizar un análisis geomorfológico de la cuenca. Este es el primer estudio dónde se realiza un análisis integral a nivel de cuenca en el río Andalién. Este trabajo aporta a las metas 6.6 y 9.5 de los Objetivos de Desarrollo Sustentable 6 y 9.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento otorgado para realizar esta investigación al proyecto Innova Chile-CORFO para Bienes Públicos de Adaptación al Cambio Climático: SOUTH RIVERS TOOLBOX (19BP-117424): Modelo predictor de la morfodinámica fluvial para apoyar la gestión de cauces (2020-2023), patrocinado por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas de Chile.

REFERENCIAS

Alber, A., y Piégay, H. (2011). Spatial disaggregation and aggregation procedures for characterizing fluvial features at the network-scale: Application to the Rhône basin (France). *Geomorphology*, 343-360.

ARRAU INGENIERIA E.I.R.L. (2011). *Estudio de factibilidad y diseño definitivo de las obras de regulación y retención de sedimentos en río Andalién, región del Biobío*. Consultores de Ingeniería Hidráulica y de riego.

Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., Bussettini, M., Camenen, B., Comiti, F. y Gurnell, A. M. (2014). *Thematic annexes of the multi-scale hierarchical framework deliverable 2.1 part 2* (Doctoral dissertation, irstea).

Brierley, G., y Fryirs, K. (2005). *Geomorphology and river management: applications of the river style framework*. Blackwell publishing.

Dirección General de Aguas (DGA) (2021). *Observatorio Georreferenciado*. Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile Recuperado de: <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/>

Gartner, J. (2016). Stream power: Origins, geomorphic applications, and GIS procedures.

Gilbert, J. T., Macfarlane, W. W., y Wheaton, J. M. (2016). The Valley Bottom Extraction Tool (V-BET): A GIS tool for delineating valley bottoms across entire drainage networks. *Computers & Geosciences*, 97, 1-14.

- Hubert, P. (2000). The segmentation procedure as a tool for discrete modeling of hydrometeorological regimes. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 14(4), 297-304.
- Jaque, E. (2008). Geomorfología de la cuenca del río Andalién, Chile. *Revista Geográfica*, 97-116.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Miller, J., Kim, H., Kjeldsen, T., Packman, J., Grebby, S., y Deraden, R. (2014). Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Journal of hidrology*, 59-70.
- Nardini, A., y Brierley, G. (2021). Automatic river planform identification by a logical-heuristic algorithm. *Geomorphology*, 375, 107558.
- Nardini, A., Yépez, S., y Bejarano, M. D. (2020). A Computer Aided Approach for River Styles—Inspired Characterization of Large Basins: A Structured Procedure and Support Tools. *Geosciences*, 10(6), 231.
- Nardini, A., Yépez, S., Mazzorana, B., Ulloa, H., Bejarano, M. D., y Laraque, A. (2020). A Systematic, Automated Approach for River Segmentation Tested on the Magdalena River (Colombia) and the Baker River (Chile). *Water*, 12(10), 2827.
- Nardini, A., Yépez, S., y Rogeliz, C. (2019). Caracterización geomorfológica river styles en la Cuenca del río Magdalena: Caso estudio Magdalena y caja de herramientas para la aplicación automatizada a la cuenca. *GeoMagda ToolBox*.
- Nardini, A., Yépez, S., Zuniga, L., Gualtieri, C., y Bejarano, M. (2020). A computer aided approach for River Style-Inspired characterization of large basins: The Magdalena river (Colombia). *Water*, 1147.
- Rojas, O. (2015). *Cambios ambientales y dinámica de inundaciones fluviales en una cuenca costera del centro sur de Chile* (Tesis de doctorado en ciencias ambientales). Universidad de Concepción. Concepción, Chile
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J., y Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geograficos. *Revista de geografía Norte Grande*, 177-192.
- Rojas, O., Mardones, M., Rojas, C., y Martinez, C. (2016). Desastres por inundaciones fluviales en un área de expansión urbana: curso inferior de la cuenca del río Andalién Chile-Central (1943-2011). *III Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana SRA-LA, 10 e 13 de maio de 2016, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.*, 1-7.
- Roux, C., Alber, A., Bertrand, M., Vaudor, L., y Piégay, H. (2015). “FluvialCorridor”: a new ArcGIS toolbox package for multiscale riverscape exploration. *Geomorphology*, 29-37.
- Secretaria Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo (SEREMI MINVU) (2012). Imágenes digitales y cartografía base para el área Metropolitana de Concepción. Región del Biobío, Chile. Recuperado de: http://geo.minvu.cl/arcgis/rest/services/Vialidad/08_PRC_Vialidad_Biobio/MapServer/10