

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**Profesor Guía:** Luis Santana Oyarzo  
**Profesor Patrocinante:** Álvaro Suazo Schwencke  
**Profesora Comisión:** Verónica Lazcano Castro

**“EVOLUCIÓN RECIENTE DEL LECHO DEL RÍO  
BIOBÍO, EN EL TRAMO HUALQUI-  
DESEMBOCADURA”**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el  
Título de Ingeniero Civil**

**JOSÉ EDUARDO URIBE COLILLANCA**

**Concepción, Enero de 2015.**

## **AGRADECIMIENTOS.**

En primer lugar, a mis padres: José y Bertila, como también a mis hermanos: Carolina, Ariel, Ronald y Francisco. Ya que sin su ayuda, preocupación y apoyo incondicional en los momentos más difíciles, esto no se habría concretado de forma satisfactoria.

A la comisión evaluadora y en especial a mi profesor guía Sr. Luis Santana Oyarzo, por confiar siempre en mis aptitudes y además de brindar estoicamente su apoyo cuando más lo necesité.

A las personas que de manera desinteresada y directa realizaron una importante contribución en el desarrollo de este proyecto de título: José Leniz, por facilitar su material fotográfico aéreo del río Biobío; Alex Henríquez del centro EULA, por facilitar la búsqueda de las imágenes aéreas en el centro de estudios (EULA); Juan Espinoza Cid del Laboratorio de estudios urbanos de la Universidad del Bío-Bío, por haber proporcionado sus enseñanzas en el manejo correcto del software computacional ArcGIS 10.0; y Ana María Neira, en la impecable labor de depuración de las imágenes aéreas del río Biobío.

A todos ellos, muchas gracias.

## ÍNDICE GENERAL.

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	Objetivos.....	4
1.1.1	General:.....	4
1.1.2	Específicos:.....	4
2	METODOLOGÍA.....	5
2.1	Área de estudio.....	5
2.2	Antecedentes disponibles.....	6
2.3	Caracterización de la zona de estudio.....	8
2.4	Sistemas de georreferenciación adoptada sobre las imágenes aéreas.....	9
2.5	Método de identificación para los cambios morfológicos del río.....	9
2.5.1	Clasificación morfológica del cauce según Leopold & Wolman.....	10
2.5.2	Índices morfológicos según Mueller.....	11
a.	Índice de Sinuosidad.....	11
b.	Sinuosidad Total.....	12
c.	Sinuosidad del Valle.....	12
d.	Sinuosidad Hidráulica (SH).....	12
e.	Sinuosidad Topográfica (ST <sub>p</sub> ).....	12
2.5.3	Parámetro de entrelazamiento de Rust (1978), (PE).....	13
2.6	Métodos de análisis para caracterizar la evolución de islas.....	14
2.6.1	Islas.....	14
2.6.2	Vegetación.....	15
2.7	Método de Análisis de Varianza (ANOVA).....	17
3	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
3.1	Parámetros morfológicos y de clasificación del cauce.....	18

3.1.1	Clasificación de cauces según Leopold & Wolman (1957). .....	18
3.1.2	Parámetros morfológicos, aplicado al tramo de estudio del río Bío-bío.....	19
3.2	Evolución temporal de los parámetros morfológicos. ....	23
3.2.1	Islas fluviales. ....	23
3.2.2	Cobertura de vegetación total. ....	24
3.3	Sedimentación y vegetación por zonas en el tramo de estudio del río Bío-bío. ....	27
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
4.1	Conclusiones.....	30
4.2	Recomendaciones. ....	30
5	BIBLIOGRAFÍA.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Área de estudio sobre el lecho del río Biobío. ....	5
Figura 2: Zonas de estudio con fines morfológicos para el tramo del río Bío-bío. ....	8
Figura 3: Clasificación de un cauce fluvial, según Leopold & Wolman.....	10
Figura 4: Variables morfológicas según Mueller (1968).....	11
Figura 5: Índice de entrelazamiento según Rust.....	13
Figura 6: Variación temporal del parámetro entrelazado en el río Biobío, según Rust (1978).....	22
Figura 7: Variación temporal de la cantidad de islas fluviales en el río Biobío.....	24
Figura 8: Evolución temporal de la cobertura vegetal para el río Biobío. (a) Zonas 1, 2 y 3, (b) Zona 4, (c) Zona 5, (d) Zona 6.....	27
Figura 9: Clasificación morfológica según Leopold & Wolman, para el río Biobío. ....	35
Figura 10: Parámetros morfológicos geométricos de Mueller (1968), aplicados al río Biobío en el año 1955. ....	36
Figura 11: Parámetros morfológicos geométricos de Mueller (1968), aplicados al río Biobío en el año 1996. ....	37
Figura 12: Parámetros morfológicos geométricos de Mueller (1968), aplicados al río Biobío en el año 2003. ....	38
Figura 13: Parámetros morfológicos geométricos de Mueller (1968), aplicados al río Biobío en el año 2009. ....	39
Figura 14: Parámetros morfológicos geométricos de Mueller (1968), aplicados al río Biobío en el año 2014. ....	40
Figura 15: Variaciones temporales de los parámetros de Mueller (1968), en el tramo del río Biobío. (a) Sinuosidad hidráulica y topográfica, (b) Índice de sinuosidad, sinuosidad total y del valle. ..	42
Figura 16: Parámetro de entrelazado según Rust (1978), en el tramo del río Biobío para el año 1955. ....	43
Figura 17: Parámetro de entrelazado según Rust (1978), en el tramo del río Biobío para el año 1996. ....	44
Figura 18: Parámetro de entrelazado según Rust (1978), en el tramo del río Biobío para el año 2003. ....	45

Figura 19: Parámetro de entrelazado según Rust (1978), en el tramo del río Biobío para el año 2009. ....	46
Figura 20: Parámetro de entrelazado según Rust (1978), en el tramo del río Biobío para el año 2014. ....	47
Figura 21: Procesos de sedimentación para las distintas zonas del río Biobío. (a) Zonas 1, 2 y 3, (b) Zona 4, (c) Zona 5, (d) Zona 6. ....	50
Figura 22: Islas fluviales para las distintas zonas del río Biobío. (a) Zona 1, 2 y 3, (b) Zona 4, (c) Zona 5 y (d) Zona 6. ....	52
Figura 23: Sedimentación y vegetación total en el tramo del cauce del río Biobío. ....	52

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Fuentes de información utilizada. ....	7
Tabla 2: Parámetros morfológicos del río Biobío, según Mueller (1968) y Rust (1978).....	22
Tabla 3: Áreas de sedimentación y vegetación para las diferentes zonas delimitadas del río Biobío. .....	29
Tabla 4: Pendiente y caudal bankfull del río Biobío, según Santana (2007 y 2015).....	35
Tabla 5: Método ANOVA para los criterios morfológicos de Mueller (1968), Rust (1978) y formación de islas.....	41
Tabla 6: Resumen del parámetro entrelazado según Rust (1978), aplicado al tramo del río Biobío. .....	48
Tabla 7: Precipitación media anual para el tramo estudiado del río Biobío.....	53

## **NOMENCLATURA.**

**MOP** : Ministerio de Obras Públicas.

**SII** : Servicio de Impuestos Internos.

**IREN** : Instituto de investigación de Recursos Naturales.

**CIREN** : Centro de Investigación de Recursos Naturales.

**DGA** : Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas).

**EULA-Chile** : Centro Universitario Internacional Europa-América Latina de investigación y formación en Ciencias Naturales.

**SIG** : Acrónimo referido a los Sistema de Información Geográfica (SIG), o en inglés (GIS).

**ArcGIS** : Archive Geographic Information System.

**ArcMap** : Archive Maps.

**WGS84** : World Geodetic System 1984.

**ESRI** : Enviromental Systems Research Institute.

**ANOVA** : Analysis of variance, o en español, Análisis de Varianza.

**IGM** : Instituto Geográfico Militar.



# **EVOLUCIÓN RECIENTE DEL LECHO DEL RÍO BIOBÍO, EN EL TRAMO HUALQUI-DESEMBOCADURA**

**José Eduardo Uribe Colillanca**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: josuribe@alumnos.ubiobio.cl

**Luis Santana Oyarzo**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo electrónico: lsantana@ubiobio.cl

## **RESUMEN**

Durante las últimas últimas décadas, en la ribera sur del río Biobío ha sido sometido a un proceso de embancamiento. Con el fin de caracterizar la morfología en planta del tramo Hualqui-Desembocadura, se aplicaron una serie de parámetros: Clasificación de cauces según Leopold & Wolman (1957), parámetros morfológicos de Mueller (1968), parámetro de entrelazado de Rust (1978), cuantificación de islas fluviales y áreas de sedimentación y vegetación para los bancos de depositación.

Los análisis de resultado determinaron que el río ha sido clasificado como Braided, donde las condiciones predominantes en el tramo del cauce han sido las relacionadas con la topografía. El entrelazamiento de ríos ha disminuído con el avance del tiempo. Sin embargo, la cantidad de islas aumentado a una tasa del 12%, mientras que el área de sedimentación y cobertura de vegetación para los bancos de depositación aumentaron en los 59 años de estudio a una razón de un 6,3 % y 2,3%, respectivamente. El proceso de depositación y disminución de la pendiente longitudinal, están llevando a que el tramo del río se transforme de un cauce tipo Braided a uno meándrico.

Palabras clave: Morfología, parámetro, braided, islas.

Número total de palabras:

6404 Palabras Texto + 9 Figuras/Tablas\*250 + 2 Figuras/Tablas\*300 = 9254 Palabras Totales.

## **RECENT BED EVOLUTION OF THE RIVER BIO BIO IN THE REACH HUALQUI-MOUTH.**

**José Eduardo Uribe Colillanca**

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío.

Email: josuribe@alumnos.ubiobio.cl

**Luis Santana Oyarzo**

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bío Bío.

Email: lsantana@ubiobio.cl

### **ABSTRACT**

During the last decades, on the south bank of the Bio Bio river it has been subjected to a process of embedment. In order to characterize the plant morphology in the reach Hualqui-mouth, a number of parameters were applied: Channel classification of Leopold & Wolman (1957), morphological parameters of Mueller (1968), Rust parameter index (1978), quantification of river islands and areas of sedimentation and vegetation for banks deposition.

The result analysis determined that the river has been classified as Braided, where the prevailing conditions in the section of the channel have been related with the topography. The braiding of rivers has decreased with the progress of time. In addition, the amount of increased at a rate of 12% islands, while the area of sedimentation and vegetation cover to banks increased deposition in the 59 years of study at a rate of 6.3% and 2.3 %, respectively. The process of deposition and decreased longitudinal slope, produces that the stretch of the river becomes a type braided one meandering channel.

Keywords: Morphology, parameter, braided, islands.

## **1 INTRODUCCIÓN.**

Los ríos son ecosistemas extremadamente complejos. Tienen numerosos componentes únicos, especialmente relacionados con la organización física en el eje horizontal (Vannote et al., 1980). En este sentido, el río Bío-bío ha sufrido un proceso de depositación de material en su lecho durante las últimas décadas, siendo de principal relevancia aquellos depósitos de material ubicados en las proximidades de la desembocadura a la altura de la comuna de San Pedro de la Paz (DGA, 2004). Para ello es necesario abordar y conocer si existen evidencias que permiten conocer o intuir los cambios en el tiempo del curso principal del río Bío-bío.

En la presente investigación se realizará un análisis de la evolución del curso principal del río Bío-bío en el tramo comprendido entre Hualqui hasta su desembocadura. Se entiende como evolución reciente a los cambios morfológicos del río Bío-bío dentro de los últimos 60 años. El enfoque requerido se basó en el análisis comparativo de imágenes aéreas en planta de distinta índole para el curso principal. Por ende, para analizar y detectar cambios en la morfología se definieron previamente criterios de clasificación de cauces (Leopold & Wolman, 1957), ocho parámetros definidos según Mueller (1968), un parámetro de entrelazamiento de ríos según Rust (1978) y finalmente dos parámetros de evolución, tales como: cantidad de islas fluviales y la formación de vegetación. Mediante una posterior comparación visual de superposición para cada imagen obtenida, se obtendrán las herramientas necesarias para deducir relaciones entre índices y parámetros para los procesos morfológicos evolutivos referentes al río.

## **1.1 Objetivos.**

### **1.1.1 General:**

Analizar la evolución reciente del lecho del río Bío-bío en el tramo Hualqui-Desembocadura, mediante el uso comparativo de imágenes aéreas georreferenciadas.

### **1.1.2 Específicos:**

- a) Caracterizar los cambios morfológicos en el río Biobío a través de la evolución de los bancos de depositación en el lecho del río Biobío.
- b) Determinar la evolución de los bancos de depositación, considerando parámetros de sedimentación y vegetación.

## 2 METODOLOGÍA.

En este capítulo se expondrán conceptos como el área de estudio, metodología asociada a los parámetros morfológicos y criterios para definir los parámetros referidos a la caracterización de la evolución del tramo del río Biobío.

### 2.1 Área de estudio

En la figura 1 se muestra que los puntos comprendidos entre A y B pertenecen a la zona relativa al estudio del río Biobío. Dicho sector deberá comprender una longitud cercana a los 30 kilómetros de extensión, abarcando desde las cercanías a la comuna de Hualqui hasta el lugar por el cual el río Biobío desemboca su caudal en dirección NE hacia el Océano Pacífico. Para una noción más aclaratoria, se ha demarcado el flujo que sigue el cauce del Biobío.



**Figura 1:** Área de estudio sobre el lecho del río Biobío.

(Fuente: Google Earth, 2014)

## **2.2 Antecedentes disponibles.**

En la tabla 1 se muestran los recursos o fuentes de información encontrados en el presente estudio y se han clasificado por medio del año de captura, escala cartográfica, porcentaje de disponibilidad, con sus respectivos detalles del recurso. El único caso donde el mosaico generado del tramo del río Biobío no pudo estar completo, fue el del año 1996. Debido a que de los 43 elementos que en total representan este tramo, sólo se dispuso de 40 imágenes. Referente a las fotografías faltantes, no existe respaldo en negativos ni en papel.

Previo a la investigación se consideró que la información posea un rango de tiempo entre cada dato no mayor a unos 10 años. Esto porque las modificaciones morfológicas serían fácilmente detectables y coherentes a un análisis exhaustivo con una buena cantidad de datos y parámetros.

Algunos medios gráficos no han logrado completar el tramo del río Biobío en un solo fragmento (como si ha resultado en el caso de los mapas satelitales en línea), por lo que fue necesario construir mosaicos que cumplan con la finalidad de detectar cambios en el cauce del río. Para los casos donde se construyó el tramo en base a mosaicos, se procedió trabajar con una base cartografía digitalizada como sistema de referencia para una posterior georreferenciación.

**Tabla 1: Fuentes de información utilizada.**

Tipo de imagen	Detalle	Año	Escala	% Disponible
Fotomosaicos: 3650-7300 D, 3630- 7300 F, 3650-7230 A	Documentos concernientes a los registros efectuados por el Instituto de investigación de Recursos Naturales (IREN), para el Servicio de Impuestos Internos (SII). Posteriormente digitalizadas por el Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIREN).	1955	1:50000	100
Fotografías aéreas	Capturas aéreas efectuadas por el Centro EULA-Chile.	1996	1:10000	93
Fotografías aéreas	Vuelos aéreos con estereoscopio obtenido por particular (José Leniz).	2003	1:20000 (Aproximadamente)	100
Google Earth	Capturas provistas por satélite	2009	1:15000 (Aproximadamente)	100
Bing Maps	Página de mapeo en línea	2014	1:150000	100

(Fuente: Elaboración propia)

### 2.3 Caracterización de la zona de estudio.

En la figura 2 se muestran 6 zonas delimitadas por donde se procedió a evaluar los cambios en la evolución de las depositaciones de material sedimentario en el río BíoBio. Se sectorizó en zonas debido a que en estos lugares se concentraron los elementos que constituyen parámetros evolutivos: barras punta en proceso de sedimentación, islas fluviales, cobertura de vegetación arbórea y/o arbustiva. Por lo tanto, las zonas se designaron de la siguiente manera:

Zona 1: Camino a Santa Juana, a un costado de Hualqui.

Zona 2: Camino a la comuna de Chiguayante, desde Hualqui.

Zona 3: Camino hacia San Pedro de la Paz, desde Santa Juana.

Zona 4: San Pedro de la Paz.

Zona 5: Desembocadura.

Zona 6: Camino a la comuna de Concepción, desde Chiguayante.



**Figura 2: Zonas de estudio con fines morfológicos para el tramo del río BíoBio.**

(Fuente: Google Earth, 2014)



## **2.4 Sistemas de georreferenciación adoptada sobre las imágenes aéreas.**

Todas las imágenes aéreas han sido sometidas al proceso de georreferenciación, no obstante, aquellas imágenes que no posean esta propiedad, se procedió bajo las indicaciones que recalca el MOP (2011), mencionando que el proceso de georreferenciación debe ser efectuado considerando como principales parámetros los siguientes datos geográficos del tramo designado en la Región del Biobío:

- Proyección: U.T.M
- Elipsoide: GRS80
- Datum: SIRGAS (WGS84)
- Huso: 18

Aunque el elipsoide de referencia utilizado por SIRGAS es el GRS-80 y no el WGS-84, utilizado por los GNSS (Global Navigation Satellite System), para efectos de representación cartográfica no presenta ningún conflicto de ubicación dado que en el sentido práctico, ambos poseen los mismos valores en sus elementos geométricos. A modo de ejemplo, las longitudes geodésicas calculadas sobre ellos son iguales, mientras que las latitudes poseen diferencias de 0,00003 segundos de arcos (0,1 mm) (IGM, 2008).

## **2.5 Método de identificación para los cambios morfológicos del río.**

La inestabilidad de un río se puede detectar mediante el denominado “patrón de canales”, que es el término utilizado para describir la vista en planta de un tramo de un río o la totalidad del cauce vista desde una perspectiva aérea (Ezizshi, 1999).

La geometría de un segmento curvo, para un cauce entrelazado, no presenta diferencias significativas si se realiza una comparación a la morfología en planta de un río sinuoso de cauce único. El sistema entrelazado puede ser analizado por efectos prácticos bajo las mismas relaciones de cálculo en los cuales se analizan la gran mayoría de ríos, citándose algunos ejemplos, sería la anchura del canal, la longitud de onda y el radio promedio de curvatura. Esta importante mención permite conceder dimensiones geométricas en general aceptables para la curvatura del canal en uno de los laterales de una barra llegue habitualmente a ser de dimensiones cercanas desde 3 a 4 veces

la relación longitud/anchura máxima de la barra. A pesar de que este tipo de ríos puede mantener sus dimensiones geométricas más relevantes sin alteraciones significativas durante períodos de aguas bajas, pueden darse casos donde esto, si acontece, provocará que las barras y las curvas reduzcan sus dimensiones con respecto al original. Allí puede presentarse el caso de un modelo anastomosado secundario que ha sido provocado por un descenso continuado en su régimen hídrico (Sánchez y Sopena, 2010).

La comparación gráfica que fue objeto para caracterizar la evolución del cauce del río Biobío ha sido establecida mediante los respaldos otorgados por los datos pluviométricos medios anuales según la DGA y Chávez (2008). Dichas referencias proveerán las condiciones suficientes para dilucidar sobre los avances morfológicos que haya sufrido el río considerando si el período analizado se ubica en un año seco o húmedo, poseen una misma clasificación.

### 2.5.1 Clasificación morfológica del cauce según Leopold & Wolman.

Se clasificó el río Biobío siguiendo el criterio de Leopold and Wolman (1957), donde a través de un gráfico logarítmico (figura 3) establecieron una relación entre pendiente y caudal, para lechos de arena y de grava, para distinguir los ríos trenzados de los meándricos. Ellos lograron determinar en base a estos ensayos una delimitación designada como una zona de transición entre un cauce meándrico (parte baja de la recta) y uno trenzado (parte superior de la recta):

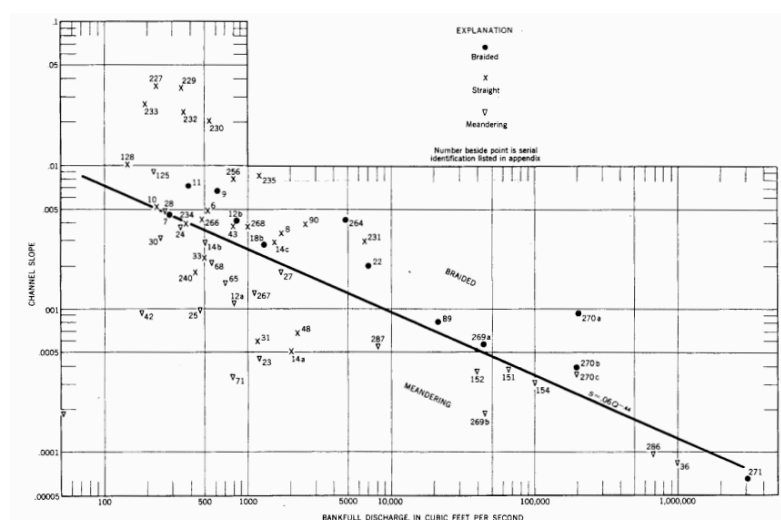


Figura 3: Clasificación de un cauce fluvial, según Leopold & Wolman.

(Fuente: Leopold & Wolman, 1957)

### 2.5.2 Índices morfológicos según Mueller.

Mueller (1968) determinó que con respecto a los procesos de evolución de un cauce natural se podían considerar una serie de ocho parámetros con tal de conocer las características de la estabilidad lateral de un río (tres parámetros de medición y cinco de cuantificación). Estos cinco índices cuantificables se determinan considerando tres parámetros que pueden ser medidos desde una perspectiva aérea. Los parámetros de medición son la longitud del talweg, aquella trayectoria donde se sitúa el punto de mayor profundidad del cauce, la longitud del valle que es un promedio entre las longitudes de los extremos del río y finalmente la distancia aérea que es aquella distancia medida en una trayectoria recta entre los dos puntos de control (fig. 4). Luego de cuantificar estos 3 parámetros, se procede a evaluar los restantes 5 índices, que serán presentados a continuación.

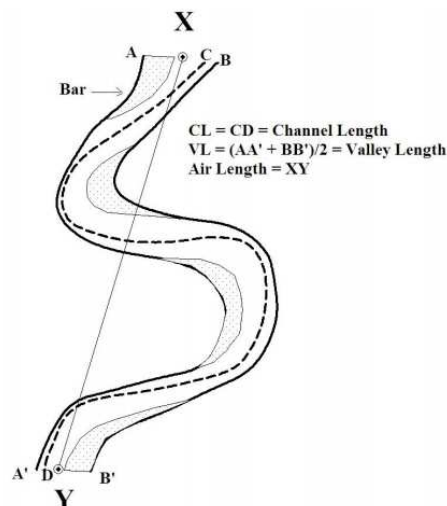


Figura 4: Variables morfológicas según Mueller (1968).

(Fuente: Ghosh and Mistri, 2012)

#### a. Índice de Sinuosidad.

El índice de sinuosidad (IS) es definido como una relación entre la longitud del talweg con respecto a la longitud del valle. La línea del talweg es aquella por donde se sitúa la zona más profunda del cauce. Por otro lado, la longitud del valle es la distancia que sigue el contorno en ambos extremos del cauce y se expresa a través de la siguiente fórmula.

$$IS = \frac{\text{Longitud del Talweg}}{\text{Longitud del Valle}}$$

**b. Sinuosidad Total.**

La sinuosidad total (ST) se define como el índice que se obtiene entre la longitud del talweg y la distancia entre los puntos de control medido desde una vista aérea.

$$ST = \frac{\textit{Longitud del Talweg}}{\textit{Distancia Aérea}}$$

**c. Sinuosidad del Valle.**

La sinuosidad del valler es una expresión matemática entre la trayectoria cuantificada en un promedio de ambas longitudes de márgenes y la distancia más corta del tramo de estudio.

$$SV = \frac{\textit{Longitud del Valle}}{\textit{Distancia Aérea}}$$

**d. Sinuosidad Hidráulica (SH).**

Es una expresión que designa en base a factores hidráulicos la preponderancia del comportamiento del cauce del río. Las sinuosidades total (ST) y del valle (SV) son relevantes para cuantificar este aspecto.

$$SH = \frac{\textit{Sinuosidad Total} - \textit{Sinuosidad del Valle}}{\textit{Sinuosidad Total} - 1} \times 100$$

**e. Sinuosidad Topográfica (ST<sub>p</sub>).**

Es una expresión que designa en base a factores topográficos la preponderancia del comportamiento del cauce del río. Las sinuosidades total (ST) y del valle (SV) también manifiestan preponderancia en este análisis, aunque la expresión matemática sugiere modificaciones, que son presentadas a continuación.

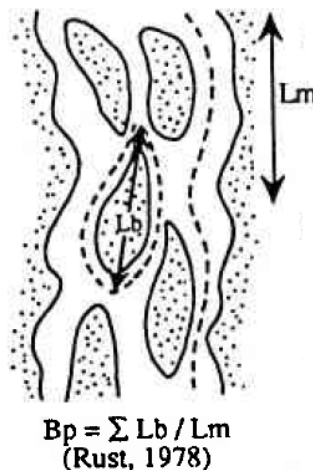
$$ST_p = \frac{\textit{Sinuosidad del Valle} - 1}{\textit{Sinuosidad Total} - 1} \times 100$$

### 2.5.3 *Parámetro de entrelazamiento de Rust (1978), (PE).*

Rust (1978) introdujo dos modificaciones para la medición del índice de trenzado de un cauce que había efectuado previamente Brice (1964). Rust estaba preocupado por las variaciones de longitud que se conseguían cuando una isla sobresalía de la cota de agua y que podrían ser causados por las fluctuaciones del nivel de agua, y propuso que el talweg del canal pueda ser utilizado para medir el índice de trenzado para el punto aguas arriba del elemento (divergencia) hasta la condición aguas abajo (convergencia). El parámetro de entrelazamiento (PE) entregado por Rust (1978) fue medido de la siguiente manera (figura 5).

$$PE = \frac{\sum L_b}{L_m}$$

Donde  $\sum L_b$  es la distancia entre los puntos de convergencia y divergencia de un elemento sedimentado como puede ser una barra o isla, siempre y cuando se encuentre ubicada en el interior del río. En cambio  $L_m$  es la longitud del valle para el canal delimitado por ambos márgenes extremos.



**Figura 5: Índice de entrelazamiento según Rust.**

(Fuente: Friend y Sinha, 1993)

## **2.6 Métodos de análisis para caracterizar la evolución de islas.**

El objetivo principal es detectar las islas fluviales en el lecho del río Biobío en base a una cuantificación de estos elementos como también el afloramiento de cualquier tipo de vegetación que se presente en este tipo de elemento sedimentado, ya sea mediante vegetación arbórea y/o arbustiva. Para llegar a eso debemos caracterizar cada uno de los atributos principales que deben presentar para luego ser detectados en las imágenes disponibles.

### **2.6.1 Islas**

Para las islas fluviales se analizó la cantidad de elementos que fueron detectados a lo largo del tramo del río Biobío asignado. El conteo fue posible en base a un criterio muy simple, el cual consta en detectar en cualquier tipo de banco de depositación que esté situado en el tramo del cauce, y que además comprenda cualquier tipo de vegetación (arbustiva y/o arbórea). En el Anexo D se muestra que la forma de caracterizar dicha detección es en base a un punto coloreado (dependiendo del año analizado) y sólo obedece a una forma de caracterizar su presencia en el cauce.

Osterkamp (1998) indica que las islas fluviales donde prolifera vegetación se definen como "formas de relieve de alta energía". Las variables que intervienen en el origen son las siguientes:

- Regímenes naturales de inundaciones.
- Un corredor fluvial sin restricciones.
- Una fuente de sedimentos.

La estabilidad es el concepto fundamental en este tipo de elementos. El inconveniente principal corresponde a que no es una medida cuantificable. La estabilidad de una barra o una isla depende principalmente de sus dimensiones (superficie y altura) y las propiedades de los sedimentos (cohesivos o no cohesivos), sino también en la presencia de vegetación. Un solo indicador universal y cuantificable parece no existir. Se pueden formar a través del crecimiento de una gran barra trenzada estable, o por el corte que produzca un nuevo cauce a través de la llanura de inundación.

En general, se considera que las islas están vegetadas y no se cubren por el agua durante las etapas normales de crecida del río. Se diferencian, por tanto, de las barras, en que éstas se cubren durante las avenidas estacionales y apenas tienen vegetación sobre la superficie o es oportunista. Sin embargo, el desarrollo de la vegetación está controlado por el tiempo de emersión de la superficie

de la barra, por el tipo de sedimento y por la flora disponible para la colonización. Estos factores a su vez dependen del clima y, por tanto, de la duración de los períodos de erosión y sedimentación del sistema (Sánchez y Sopena, 2010).

Es muy difícil valorar cuándo una barra se convertirá en una isla, o incluso cuando puede dejar de serlo. Además, esta distinción entre barras e islas puede separar de forma artificial formas sedimentarias que tienen una geometría y génesis común. Todos los términos asociados a la estabilidad de una isla implican una relación entre erosión y sedimentación en el canal y por ende, de la tasa de migración del mismo. Sin embargo, ninguno de ellos ha sido definido de forma objetiva. Es decir, la distinción entre barras e islas puede resultar complicada y aunque el criterio de la vegetación es de utilidad en muchos casos, en otros la estabilidad de la barra es discutible. Por tanto, aunque el empleo de esta terminología es todavía común, de acuerdo con Bridge (2003), estos criterios tan subjetivos deberían reemplazarse por medidas cuantitativas de la tasa de creación, migración y destrucción de las barras en relación con el tiempo de actividad del canal, para fijar los límites en los que una barra es estable y puede ser considerada una isla (Sánchez y Sopena, 2010).

### **2.6.2 Vegetación**

Coulthard (2005) indica que en los cauces fluviales la vegetación provoca dos tipos de efectos, los cuales son:

- La vegetación acuática obstruye el flujo, lo cual favorece el desarrollo de depósitos de sedimento al pie de las plantas, que podrían originar barras y aumentar el índice de entrelazamiento,  $I_B$ .
- La vegetación sobre las barras trenzadas permite estabilizarlas a tal punto de evolucionar hacia la formación de islas relativamente estables, lo cual disminuye la erosión y la disponibilidad de sedimentos en el canal, inhibiendo así la formación de nuevas barras ya que se reduce significativamente la migración longitudinal de las islas.

Los estudios de Coulthard (2005) han demostrado que en las corrientes perennes el aumento de la densidad de vegetación que crecen en las barras no sumergidas o en las llanuras de inundación pueden desencadenar la estabilización del banco de arena, reducir la erosión lateral, aumentar la

profundidad media de canal y reducir significativamente la relación de canales por sección transversal (el *parámetro de entrelazamiento*, PE).

El papel morfológico de la vegetación se explica por su acción directa sobre el suelo. Las raíces de las plantas fijan el material suelto, por ejemplo las arenas sueltas (como en las dunas litorales). Esta acción de fijación ocurre en lugares como las orillas de un cauce principal, las barras en su interior o en una llanura de inundación. Las secciones fluviales resultan de la interacción del agua, los sólidos y la resistencia ofrecida por la vegetación, tanto en el sentido de resistencia ofrecida al flujo (rugosidad) como en el de resistencia frente al arrastre del material aluvial. El papel morfológico de la vegetación es lógicamente más importante en los ríos pequeños que en los grandes, porque la vegetación no guarda proporción con el tamaño del río (Martin, 2003).

La presencia de la vegetación contribuye a la estabilidad de las orillas a través de su sistema radical, disminuyendo el riesgo de erosión por la acción de la corriente. La presencia de raíces aumenta la cohesión del suelo y su resistencia, a la vez que disipa la energía y velocidad de las aguas. De esta forma, las riberas cumplen una función muy positiva y clave en el funcionamiento hidrológico de las cuencas fluviales, que desaparece cuando se utilizan para usos no compatibles con la inundación, interrumpiendo los flujos de agua, sedimentos y nutrientes que tienen lugar de forma natural en las mismas (Risser, 1990).

La vegetación cumple con el papel de favorecer la sedimentación de partículas transportadas por el agua y así acelerar los procesos de acreción fluvial. Un ejemplo que sustenta esta explicación es el que sucede en las llanuras de inundación. Para los tramos medios o bajos de los ríos, el efecto de las avenidas no es siempre tan drástico y regular y, sobre todo, la velocidad del agua es menor: los árboles pueden llegar hasta las orillas y los arbustos se ven limitados a zonas donde el bosque está degradado o, localmente, poco desarrollado. De esta manera, no se distinguen las bandas arbusteda-bosque, excepto cuando la ribera ha sido degradada y los arbustos inician la recuperación del ecosistema ripario o en zonas muy concretas, que se hallan especialmente expuestas (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, 2013).



## **2.7 Método de Análisis de Varianza (ANOVA).**

Con el fin de determinar si los parámetros que permitieron estudiar la evolución del río Biobío son significativos en el tiempo, se procedió a implementar dicho método estadístico.

Para aplicar el método ANOVA de regresión para un modelo lineal aleatorio se deben considerar una serie de tres supuestos básicos: Supuesto de normalidad de datos; igualdad de las varianzas (homocedasticidad) e independencia de las variables. Posteriormente se aplicó un test de contrastación F de Fisher con respecto a un 95% nivel de confianza (p-valor < 0,05), para responder si los grupos analizados cumplen con la hipótesis nula ( $\alpha=0$ ,  $\alpha$  es la pendiente de regresión).

### **3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos en base a la metodología propuesta en el capítulo 2 de este informe. Los resultados para los parámetros morfológicos estudiados se muestran de la siguiente manera:

- Clasificación del cauce según Leopold & Wolman (1957).
- Parámetros morfológicos según Mueller (1968).
- Parámetro de entrelazado según Rust (1978).
- Cantidad de islas fluviales.
- Cobertura de sedimentación y vegetación.

#### **3.1 Parámetros morfológicos y de clasificación del cauce.**

##### ***3.1.1 Clasificación de cauces según Leopold & Wolman (1957).***

Tomando en cuenta que según datos de Santana (2007 y 2015), se obtuvo para el tramo designado una clasificación de cauce tipo “Braided”. En la figura 9 (Anexo A) se muestra la clasificación del río Biobío según Leopold y Wolman (1957).

Los ríos Braided de baja pendiente son aquellos cauces que se caracterizan por presentar canales amplios y poco profundos, en los que durante los períodos aguas bajas se observan múltiples cursos que se bifurcan y reagrupan entorno a barras o islas. En general, se definen como cursos de agua de múltiples canales y baja sinuosidad (Sánchez y Sopeña, 2010).

Se asegura que con el avance de los años, el río Biobío formará un patrón meándrico debido a diversas causas: El encajonamiento que aportan las defensas fluviales, la urbanización de las ciudades aledañas en ambas riberas, los procesos de sedimentación predominante en el tramo del río, la disminución de la pendiente longitudinal, y los continuos años sin eventos de crecidas.

### **3.1.2 Parámetros morfológicos, aplicado al tramo de estudio del río Biobío.**

En la tabla 2 se muestra el resultado de los parámetros morfológico de Mueller (1968) y de Rust (1978), obtenidos para caracterizar el cauce en el tramo estudiado del río Biobío. En ella se muestran tres parámetros de geometría aérea: Longitud del talweg (LT), longitud del valle (LV) y distancia aérea (DA). Tres índices adimensionales del cauce referidos al patrón de canales: Índice de sinuosidad ( $IS^\circ$ ), sinuosidad total (ST) y sinuosidad del valle (SV). Los dos últimos parámetros del criterio de Mueller diagnostican la preponderancia de uno de los dos elementos en el comportamiento del cauce: Sinuosidad hidráulica (SH) y Sinuosidad Topográfica ( $ST_p$ ). También se muestran los parámetros de entrelazamiento de Rust (PE) que establece una relación entre la convergencia o divergencia de barras y la longitud del valle, y el parámetro de formación de islas fluviales (Islas), el de área total de sedimentación de los bancos de depositación (AST) y el de área total de cobertura de vegetación (AVT). Los parámetros mostrados en la tabla 2 fueron estudiados entre los años 1955 y 2014, años que se justifican en la tabla 1 del presente informe. Al final de la tabla 2 se han agregado dos filas, las cuales corresponden al valor promedio del parámetro en el período estudiado y el valor de la probabilidad de Fisher (Prob. F) obtenida del proceso de “Análisis de Varianza” (ANOVA).

La tabla 2 muestra que en todos los años estudiados, el parámetro predominante en el tramo del río Biobío corresponde a la sinuosidad topográfica (con un promedio de un 62%, sobre un 38% de sinuosidad hidráulica), lo que implica que la sinuosidad del río es controlada por factores externos que no permiten que el cauce tenga desplazamientos laterales y se encajone. Dentro de los diversos factores relacionados con la topografía que pueden influir en el río, se hallan aspectos como la llanura de inundación, el relieve de la zona, los materiales cohesivos que se forman en los bancos de arena, una menor cantidad de barras fluviales, la configuración del lecho móvil, la vegetación, las manifestaciones de la actividad humana en el río y no por la descarga proveniente de las inundaciones en el período de lluvias y/o por otros factores hidráulicos (Ghosh and Mistri, 2012).

En la actualidad el tramo analizado del río Biobío presenta intervención en sus riberas, quedando de manifiesto sólo una posibilidad: Que el cauce divague dentro del lecho fluvial.

De la tabla 2 se observa que el único parámetro que disminuye su valor promedio es el índice de entrelazado, que se ilustra en la figura 6. La tendencia del parámetro de entrelazado a través del tiempo es muy errático. No obstante, se afirma que el entrelazamiento del tramo del río Biobío no aumentará de una forma progresiva en los próximos períodos, en contraposición a lo detectado en los dos primeros años analizados en este estudio (1955 y 1996). Esto se atribuye a que el parámetro de entrelazado según Rust se enfoca en los bancos de depositación (convergencia y divergencia de estos elementos), por ende, para que el valor aumente, debe incrementarse la cantidad de bancos depositados. En el anexo C se muestra con imágenes que la cantidad de elementos ha ido disminuyendo desde el año 2003. La tasa de disminución del parámetro de entrelazado es de un 3% al año.

La cantidad de islas ha sido el único parámetro que desde el valor determinado en el año 2003 (75 islas), logra superar a su valor promedio (62 islas). Esto significa que existe una positiva tendencia en aumento, debido a que la cantidad de islas depende de los procesos de sedimentación y vegetación para cada banco depositado. Como se verá en los siguientes párrafos, la sedimentación total y la cobertura vegetal para el tramo del río Biobío no ha disminuido en el tiempo (ver tabla 2).

El área de sedimentación total (AST) presenta una tendencia en aumento con el paso de los años. Muestra de aquello es que el valor promedio del parámetro ( $9,32 \text{ km}^2$ ) logró ser superado en el año 2003 ( $10,28 \text{ km}^2$ ). Sin embargo, a diferencia del caso concerniente a la cantidad de islas fluviales, para el año 2009 el valor determinado ( $9,02 \text{ km}^2$ ) fue menor que el promedio del parámetro. La explicación a este fenómeno es a causa de una disminución en entre los años 2003 y 2009 para las zonas de sedimentación 1, 2, 3 y 6 (ver tabla 3).

Según la tabla 2, el área de cobertura vegetal total (AVT) para el tramo del río Biobío presenta una tendencia en aumento, traduciéndose en que el valor de la cobertura vegetal desde el año 2009 ( $1,70 \text{ km}^2$ ) supera al valor promedio del parámetro ( $1,10 \text{ km}^2$ ). También se distingue un considerable aumento entre los períodos del 2003 ( $0,90 \text{ km}^2$ ) al 2009 ( $1,70 \text{ km}^2$ ), de un 89%.

Existe una relación entre las islas y el parámetro de entrelazamiento de ríos. En base a que la formación de islas depende de los procesos de depositación. Mientras mayor sea cantidad de sedimentación que se deposite en un determinado tramo, mayor será la probabilidad de proliferación vegetal. Producto de aquello, los bancos de depositación se transformarán en islas y por consiguiente, el parámetro de entrelazado se verá disminuido (la relación de canales por sección transversal disminuye). En la tabla 2 se distingue este fenómeno, para los años 1955 y 1996 cuando el parámetro de entrelazado era alto (3,03 y 3,54 respectivamente), la vegetación y la sedimentación en el tramo del cauce era menor en comparación a los períodos posteriores (del 2003 en adelante). Además, entre el año 2003 y 2009 se tiene una relación inversa entre el aumento de vegetación y el parámetro de entrelazado: Entre estos años, el parámetro de entrelazado disminuyó desde los 1,77 hasta 1,05, respectivamente. En cambio, el área de cobertura vegetal total aumentó desde los 0,90 km<sup>2</sup> hasta los 1,70 km<sup>2</sup>, respectivamente.

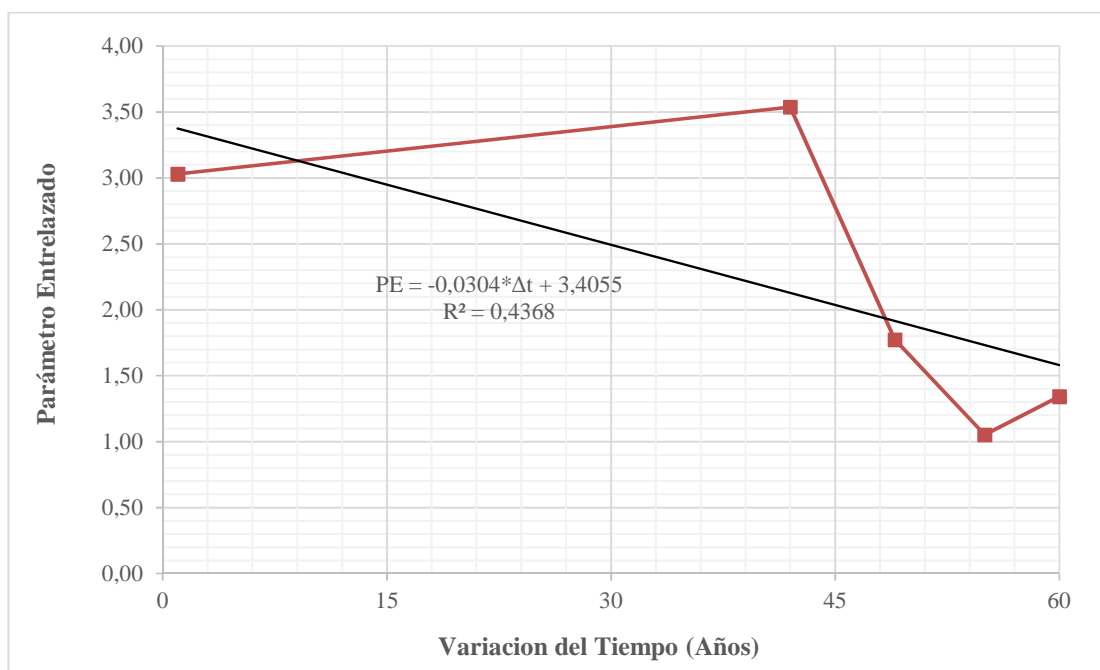
Desde el primer período de estudio hasta la actualidad, las imágenes aéreas usadas en el tramo “Pedro de Valdivia-Puente Bicentenario” se ha visto reducido su ancho en unos 150 metros. Debido a que dicho sector ha sido sometido a la aplicación de defensas fluviales para el control de la erosión de sus márgenes y crecidas. Lo anterior ha favorecido que en el río se redistribuyan sus sedimentos en dirección aguas abajo.

En el casillero “Prob. F” se muestra que todos los parámetros de Mueller (1968) no resultaron ser significativos en el tiempo (Prob. F > 0,05), no comprobándose la hipótesis nula. También no pudo comprobarse la hipótesis nula para los casos del parámetro de entrelazado (P.E.), el área de sedimentación total (AST) y el área de cobertura vegetal total (AVT). No obstante, el único parámetro que logró ser significativo en el tiempo fue la cantidad de islas fluviales (Islas) (Prob. F = 0,007). Como el intercepto al origen de la recta de la propuesta de regresión lineal simple, para aquellos casos donde no se logró comprobar la hipótesis nula, está ubicado entre los intervalos de confianza (ver tabla 5, anexo B). Se adoptó el valor promedio propuesto en la tabla 2.

**Tabla 2: Parámetros morfológicos del río Biobío, según Mueller (1968) y Rust (1978).**

Años	Parámetros de Mueller (1968)						Rust (1978)		Islas	AST (km <sup>2</sup> )	AVT (km <sup>2</sup> )	
	LT (km)	LV (km)	DA (km)	IS	ST	SV	SH (%)	ST <sub>p</sub> (%)				P.E.
1955	36,22	32,62	24,99	1,110	1,449	1,305	32,1	67,9	3,03	16	7,08	0,37
1996	38,99	32,96	24,99	1,183	1,560	1,319	43,1	56,9	3,54	61	8,34	0,57
2003	37,15	32,13	24,99	1,156	1,487	1,286	41,3	58,7	1,77	75	10,28	0,90
2009	36,98	32,90	24,99	1,124	1,480	1,317	34,0	66,0	1,05	86	9,02	1,70
2014	37,90	33,29	24,99	1,138	1,517	1,332	35,7	64,3	1,37	73	11,89	1,97
<b>Promedio</b>	37,5	32,8	-	1,1	1,5	1,3	37,2	62,8	2,15	62	9,32	1,10
<b>Prob. F</b>	0,381	0,610	-	0,491	0,381	0,610	0,524	0,524	0,225	0,007	0,012	0,805

(Fuente: Elaboración propia)



**Figura 6: Variación temporal del parámetro entrelazado en el río Biobío, según Rust (1978).**

(Fuente: Rust, 1978)

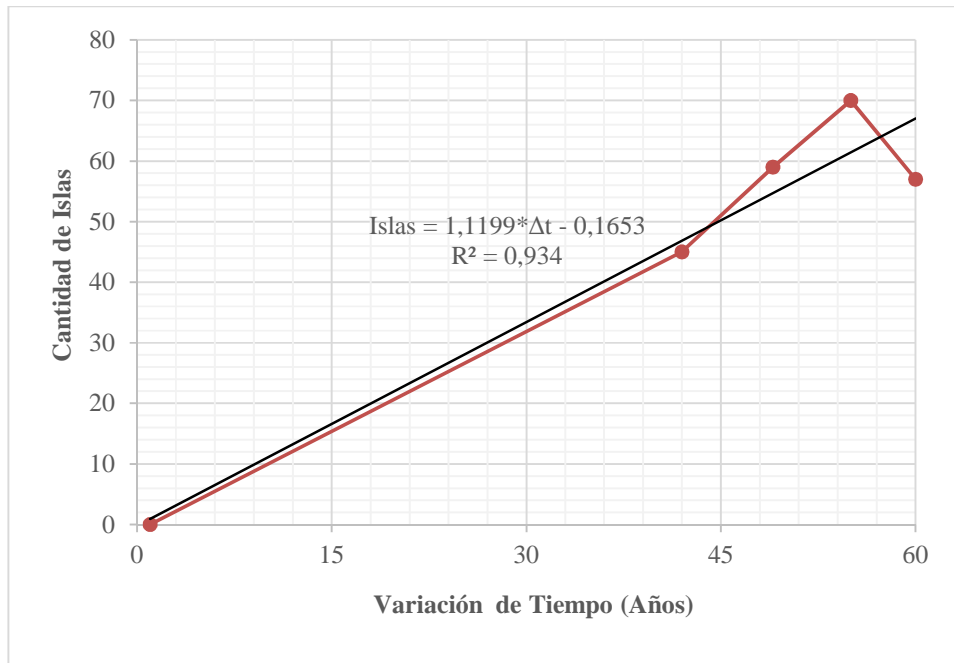
## **3.2 Evolución temporal de los parámetros morfológicos.**

### **3.2.1 Islas fluviales.**

La cantidad de islas muestra una clara tendencia lineal positiva, esto indica que se tendrá un aumento progresivo del parámetro hacia períodos futuros. El valor de la pendiente de dicha línea de tendencia, presenta un incremento de un 12% por año (ver figura 7).

También logra distinguirse un suceso muy importante, y es que en el último período analizado (año 2014), la cantidad de islas fluviales se vio disminuido de ochenta y seis (año 2009) a setenta y tres (año 2014). Sin embargo, a pesar de que pueda pensarse que esto es un indicio de que la cantidad de islas declinará a futuro, se debe a que en el sector cercano a la desembocadura del río Biobío, las islas se han unido y han dado paso a la generación a nuevos elementos de mayores extensiones (su explicación se basa en que tienden a unificarse siempre y cuando se sitúen tan cerca un elemento de otro, como para que se produzca depositación de material -causado por la vegetación-, derivándose en una adhesión paulatina), pero que en definitiva disminuyen en cantidad (sólo referida a un determinado sector). Sumado a esto que, muchas islas que se contabilizaban en los primeros períodos estudiados (1955 y 1996), ahora forman parte del sector considerado como la llanura de inundación.

La situación donde la cantidad de islas disminuye, logra contrarrestarse con lo que acontece en el sector de Chiguayante, dado que aquí surgen nuevos elementos como barras sedimentarias, para que posteriormente prolifere vegetación y así se consoliden como nuevos elementos. Como en este lugar las islas son de unos pocos metros de longitud, nada hace preveer que un aumento continuo impida que suceda. Un elemento de preponderancia en que las islas logren incrementar su número de elementos, es en base al aumento de la cobertura vegetal, la cual se dio en cada período analizado (ver tabla 3).



**Figura 7: Variación temporal de la cantidad de islas fluviales en el río Biobío.**

(Fuente: Elaboración propia)

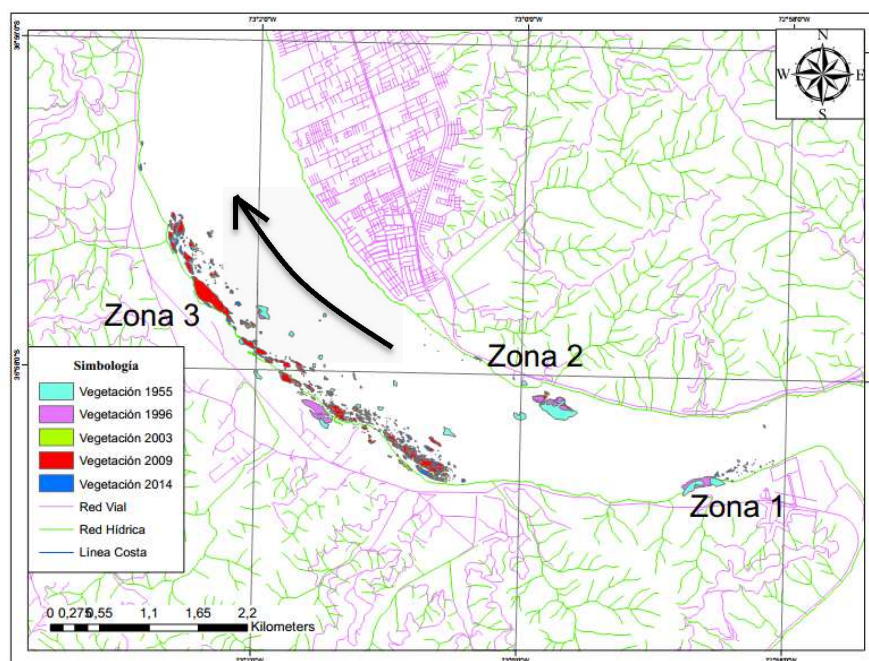
### 3.2.2 Cobertura de vegetación total.

Se distinguió que para todos los períodos analizados, el parámetro de vegetación total presenta un comportamiento ostensible y similar al de una función potencial. En la tabla 2 se muestra que en ningún sector del tramo del río Biobío disminuyó en extensión, siempre tendiendo a un valor límite (que depende de la extensión de la barra sedimentada). No obstante, para determinar si el parámetro es significativo se consideró un comportamiento lineal.

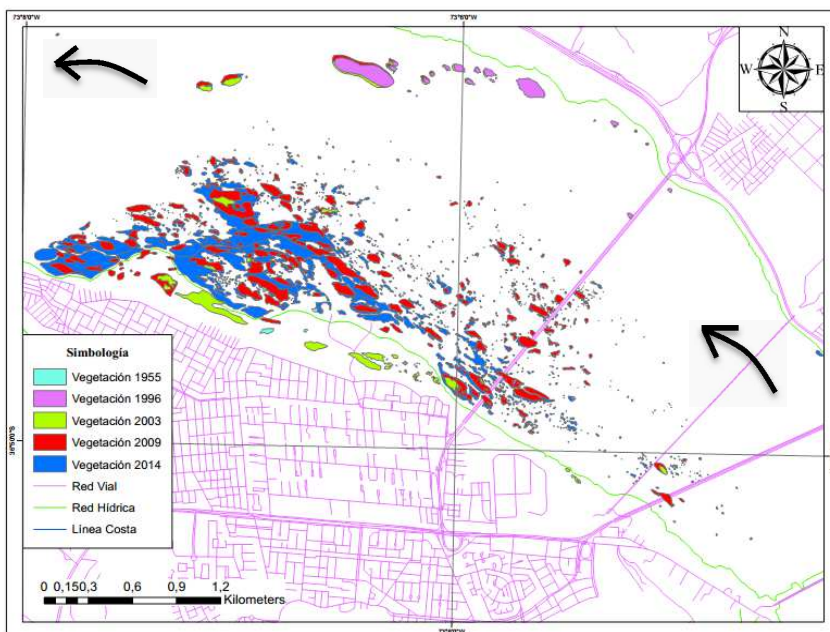
Existen zonas que han contribuido en mayor medida al aporte vegetativo del tramo del cauce. Tal es el caso de la zona 4, aquella que comprende la comuna de San Pedro de la Paz, condición favorecida a causa del extenso banco de depositación de material (ver figura 22b). Otro caso es el de la zona 5, comprendida en la comuna de Hualpén ya favorecido por la gran cantidad de islas fluviales existentes de diversos tamaños, y por último la zona 3, aquella que comprende el sector camino hacia San Pedro de la Paz. Por lo tanto, se concluye que existe una relación directa entre la zona sedimentada expuesta sobre la altura de escurrimiento y la proliferación de cualquier tipo de vegetación, como factor de estabilidad.



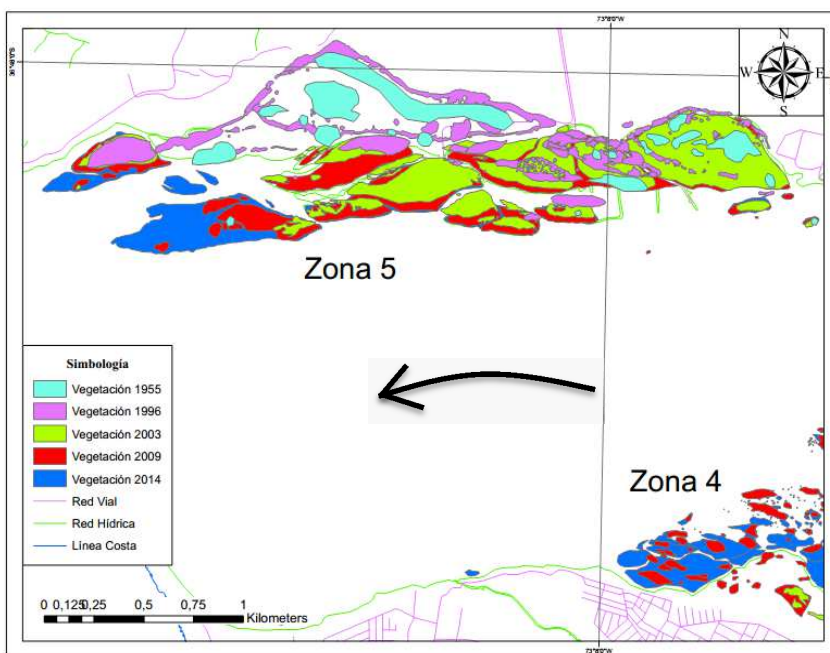
El motivo por el cual la cobertura vegetal total no logró ser significativa en el tiempo se debe por dos motivos. El primero es a causa de haber ignorado en este estudio la vegetación riparia, donde sólo se consideró para estudiar este parámetro aquella cobertura situada entre ambos extremos del cauce. El segundo motivo es que la cobertura vegetal de la zona 1 sí logró ser significativa en el tiempo (ver tabla 5), lo que permite una posibilidad de que en una nueva contrastación de la hipótesis a futuro, sí logre ser significativa la cobertura total de la vegetación.



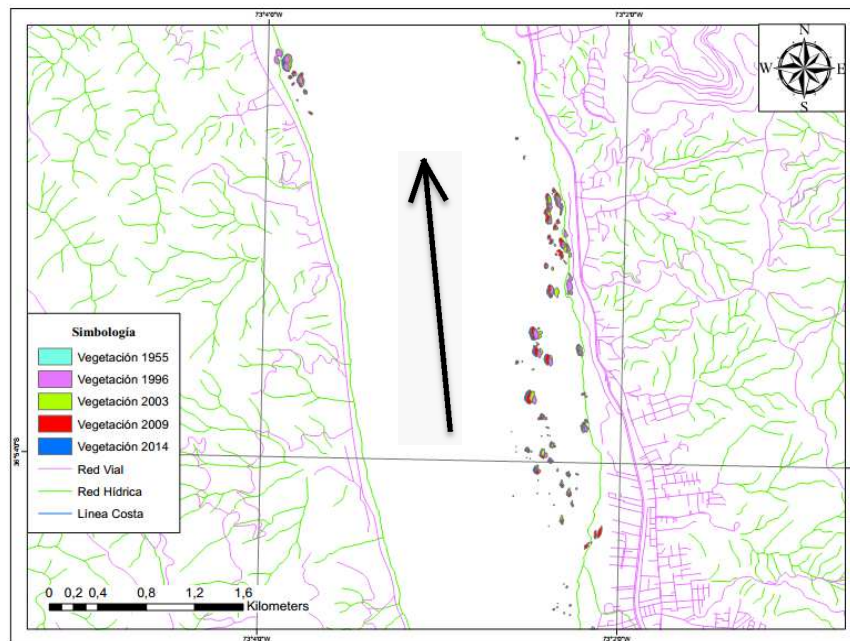
a)



b)



c)



d)

**Figura 8: Evolución temporal de la cobertura vegetal para el río Biobío. (a) Zonas 1, 2 y 3, (b) Zona 4, (c) Zona 5, (d) Zona 6.**

(Fuente: Elaboración propia)

### 3.3 Sedimentación y vegetación por zonas en el tramo de estudio del río Biobío.

La tabla 3 muestra las propiedades sedimentación y vegetación que caracterizan a las 6 zonas delimitadas en el tramo del río Biobío. Designadas de la siguiente manera: Área de cobertura vegetal zona 1 (AV1), área de sedimentación Zona 1 (AS1), área de cobertura vegetal zona 2 (AV2), área de sedimentación Zona 2 (AS2), área de cobertura vegetal zona 3 (AV3), área de sedimentación Zona 3 (AS3), área de cobertura vegetal zona 4 (AV4), área de sedimentación Zona 4 (AS4), área de cobertura vegetal zona 5 (AV5), área de sedimentación Zona 5 (AS5), área de cobertura vegetal zona 6 (AV6) y área de sedimentación Zona 6 (AS6). Se presenta además los años estudiados que abarcan entre 1955 y 2014 (justificados en la tabla 1). Al final de la tabla 2 se han agregado dos filas correspondientes al valor promedio del parámetro en el período y el valor de la probabilidad de Fisher (Prob. F) obtenida del proceso del “Análisis de Varianza” (ANOVA).

Con respecto a las zonas 1 y 2, los procesos sedimentarios y de vegetación fueron muy semejantes, donde las fluctuaciones de cada parámetro hace preveer que poseen características similares. Sin embargo, debe mencionarse que material total sedimentado en el sector 2 reúne tanto a barras punta como islas fluviales, pero en las dos últimos períodos analizados (2009 y 2014) se ha visto que los sedimentos pertenecientes a las barras punta han sido totalmente erosionados y transportados en dirección hacia aguas abajo, no así en el sector 1 donde sólo se ha visto la presencia de barras punta desde 1955 hacia delante (ver Anexo F).

Para la zona 3 se ha distinguido un proceso de fuerte sedimentación para los primeros períodos analizados (donde se llegaron a cifras superiores a los 4 km<sup>2</sup> de material depositado). Sin embargo este panorama cambió para convertirse gradualmente en un sector por el cual sus sedimentos han sido trasladados por proceso de erosión de sus orillas hacia otros márgenes del cauce con dirección aguas abajo. No obstante, si se percibe un mayor aumento de la vegetación, tanto en los márgenes del cauce, como la propia barra punta. Por lo tanto, se estima que en este sector se presentará una estabilidad con respecto al transporte del material.

Una de las zonas más llamativas del estudio fue aquélla designada como la zona 4 (situada cerca de San Pedro de la Paz), la cual ha sido condicionada a un fuerte embancamiento. Aquí se logró notar que existe una fuerte relación entre el material depositado y la proliferación de flora en el banco de arena, la que ha provocado que este sector se haya estabilizado incluso de los procesos de crecidas. Ambos parámetros tuvieron un comportamiento potencial de crecimiento. También se estima que en este lugar se presentará la mayor resistencia con respecto a la trayectoria del talweg, por lo que se verá obligado a cursar por el diminuto ancho situado en la ribera norte del río Biobío (en la comuna de Concepción).

Para la zona 5 del estudio se notó que es un lugar preferentemente de islas fluviales (desde el primer período de estudio), y lo llamativo del proceso es que prácticamente no se distinguieron barras punta en proceso de formación vegetal (las cuales retienen material y nutrientes esenciales para la generación de vegetación). Sin embargo, en este lugar se logra distinguir que las islas fluviales han comenzado a unificarse, siempre y cuando sus canales primarios o secundarios sean de pocos metro de separación entre islas, las que provocarán que las islas en el lugar donde diverge el cauce deposite material a una baja velocidad y así con el paso del tiempo el sedimento depositado provoque un nuevo elemento de mayores dimensiones.

El escenario más errático de todos es aquél acontecido con la zona 6 (ver Anexo F), la cual presentó irregulares fluctuaciones para el proceso de sedimentación. Sin embargo esto no ha sido un impedimento para que en este lugar haya sido un sector de proliferación vegetal, ya que aquí hubo un crecimiento de flora la cual se atribuye a la numerosa cantidad de islas fluviales que se detectaron en casi todos los períodos de estudio (excepto en el año 1955) (ver tabla 3).

Al final de la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos bajo la aplicación del método ANOVA de regresión para un modelo lineal aleatorio, hacia los parámetros de las zonas 6 específicas de los bancos de depositación. Con un 95% de nivel de confianza (hipótesis nula  $\alpha=0$ ,  $\alpha$  es la pendiente de regresión) se obtuvo que sólo en la cobertura vegetal de la zona 1 logró ser significativo. Sin embargo, puede verse que la sedimentación en la zona 4, la cobertura vegetal de la zona 5 y la cobertura vegetal de la zona 6 están próximos a ser significativos, pero por falta de datos esto no puede ser contrastados. Como el intercepto al origen de la recta de regresión lineal simple, está ubicado entre los intervalos de confianza (a un 95% nivel de confianza), para todos los parámetros se adopta el valor promedio propuesto en la tabla 3.

**Tabla 3: Áreas de sedimentación y vegetación para las diferentes zonas delimitadas del río Biobío.**

Año	AS1 (km <sup>2</sup> )	AV1 (km <sup>2</sup> )	AS2 (km <sup>2</sup> )	AV2 (km <sup>2</sup> )	AS3 (km <sup>2</sup> )	AV3 (km <sup>2</sup> )	AS4 (km <sup>2</sup> )	AV4 (km <sup>2</sup> )	AS5 (km <sup>2</sup> )	AV5 (km <sup>2</sup> )	AS6 (km <sup>2</sup> )	AV6 (km <sup>2</sup> )
<b>1955</b>	0,57	0,026	0,27	0,054	4,13	0,04	0,33	0,004	0,98	0,23	0,79	0,01
<b>1996</b>	0,72	0,034	0,69	0,050	4,85	0,05	1,00	0,07	0,99	0,34	0,09	0,03
<b>2003</b>	0,39	0,034	0,45	0,049	2,54	0,03	5,65	0,12	0,75	0,63	0,50	0,03
<b>2009</b>	0,23	0,035	0,24	0,056	1,74	0,24	5,83	0,51	0,87	0,81	0,10	0,06
<b>2014</b>	0,22	0,039	0,23	0,054	2,25	0,25	8,95	0,98	0,62	0,50	0,66	0,05
<b>Promedio</b>	0,43	0,03	0,37	0,05	3,10	0,12	4,35	0,34	0,85	0,52	0,43	0,03
<b>Prob. F</b>	0,281	0,008	0,968	0,939	0,251	0,267	0,097	0,215	0,218	0,154	0,417	0,059

(Fuente: Elaboración propia)

## **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **4.1 Conclusiones.**

Se logró desarrollar una caracterización de la morfología en planta en el tramo designado del río Biobío. Por medio de las imágenes aéreas y parámetros morfológicos se comprobó que en el tramo estudiado está siendo sometido a un proceso de embancamiento.

El tramo designado del río Biobío se clasifica como un cauce “Braided”, según el criterio de Leopold & Wolman (1957). Sin embargo, el tramo estudiado tiende a formar como principal propiedad bancos de depositación alternos, característicos de los cursos meándricos.

Según el criterio de Mueller (1968), el tramo del río Biobío muestran que la sinuosidad topográfica (62%) es predominante, respecto a la sinuosidad hidráulica (38%).

El parámetro de entrelazado de Rust (1978) en el tiempo no resultó ser significativo. No obstante, ha sido el único parámetro que ha mostrado una disminución paulatina, a una tasa anual del 3%. También se observó un valor umbral superior al promedio de 2,2.

El parámetro de formación de islas, resultó ser significativo en el tiempo, con una tasa de crecimiento anual de un 12%.

El área de sedimentación total y de cobertura de vegetación total en el tramo del río Biobío, no resultaron ser significativos en el tiempo. Sin embargo, el parámetro relacionado con la zona 1 de la cobertura de vegetación, resultó ser significativo. No obstante, en los últimos años (2003) se observa un crecimiento sustancial del área de los bancos de depositación y cobertura vegetal, a una tasa anual de unos 6,3% y 2,3% al año, respectivamente.

### **4.2 Recomendaciones.**

- a) Considerar nuevas imágenes aéreas (5 años), para evaluar nuevamente los parámetros morfológicos y contrastar la hipótesis nula.
- b) Considerar la vegetación riparia en próximos estudios, con el fin de determinar si la vegetación en el tramo de estudio resulta ser significativa en el tiempo, y su incidencia en la estabilidad de los bancos de depositación.

## 5 BIBLIOGRAFÍA.

Arche Miralles, Alfredo. Sedimentología (Volumen I), 1ª Edición corregida y aumentada, Madrid, España, Consejo superior de investigaciones científicas. 1992. 543p.

CIREN. Biblioteca digital y centro de documentación [en línea] <<http://www.ciren.cl/cedoc/>> [Consulta: 17 de Junio 2014]

Coulthard, Tom J. Effects of vegetation on braided stream pattern and dynamics. [en línea] <<http://www.coulthard.org.uk/downloads/Coulthard2005WRR.pdf>> [Consulta: 1 de Agosto 2014]

Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Bío-Bío. DGA. Diciembre 2004.

Esri (Environmental Systems Research Institute). [SIG]. Redlands, California, Estados Unidos. <http://www.esri.com/>

Ezizshi, A. C. An Appraisals of the Existing Descriptive Measures of River Channel Patterns. Journal of Environmental Sciences 3 (2): 253 – 257, 1999.

Fotomosaico 3650-7300 D. Instituto de investigación de Recursos Naturales (IREN). Escala 1:20.000. Santiago de Chile. 1955. Blanco y negro.

Fotomosaico 3630-7300 F. Instituto de investigación de Recursos Naturales (IREN). Escala 1:50.000. Santiago de Chile. 1955. Blanco y negro.

Fotomosaico 3650-7230 A. Instituto de investigación de Recursos Naturales (IREN). Escala 1:50.000. Santiago de Chile. 1955. Blanco y negro.

Friend P.F, Sinha R. Braiding y meandering parameters. [en línea] <[http://home.iitk.ac.in/~rsinha/Publication/1993\\_GeolSoc.pdf](http://home.iitk.ac.in/~rsinha/Publication/1993_GeolSoc.pdf)> [Consulta: 10 de Agosto 2014]

González del Tánago, Marta. Las riberas, elementos clave del paisaje y en la gestión del agua. [en línea] <<http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/educacionambiental/importanciabosquesribera.pdf>> [Consulta: 5 de Diciembre 2014]

Google Earth. [Geomática]. Mountain View, California, Estados Unidos.  
<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

Instituto Geográfico Militar (IGM). Nuevo marco de referencia geodesico RGN-sirgas chile. 2008.

Martín Vide, Juan. Nociones de morfología fluvial. En su: Ingeniería de ríos. 1ª ed. México, Alfaomega grupo editor, 2003. pp. 25-54.

Matínez Bencardino, Ciro. Regresión y correlación. En su: Estadística básica aplicada. 4ª Ed. Bogotá, Colombia, Ecoe Ediciones, 2011. pp. 209-245.

Medina Chávez, Peter John. Análisis estadístico de precipitaciones en la región del Bío-Bío. Tesis (Ingeniero civil). Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío, Depto. de Ingeniería civil y ambiental, 2008. 239 h.

MOP (DGA). Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Biobío. [en línea] <<http://documentos.dga.cl/SUP4186.pdf>> [Consulta: 13 de Diciembre de 2014]

MOP. Guía Básica para la Confección de Cartografía Temática. 2a edición. Santiago, Región Metropolitana, Chile, 2011. 102p.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España. Introducción a la vegetación ribera. [en línea] <<http://vegetacionderibera.cedex.es/intro.php>> [Consulta: 21 de Junio de 2014]

Osterkamp, W.R. Processes of fluvial-island formation, with examples from Plum Creek, Colorado, and Snake River, Idaho. *Wetlands* (18): 530-545, 1998.

Rust, B. A classification of alluvial channel systems. *Memoir of the Canadian Society of Petroleum Geologists* 1 (5): 187-198, 1978.

Sánchez, Y. y Sopeña, A. Sistemas aluviales de baja sinuosidad. En: Arche, Alfredo (Ed.). Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid, España, Consejo superior de investigaciones científicas, 2010. pp. 225-259.



Sandipan Ghosh, Biswaranjan Mistri. Hydrogeomorphic Significance of Sinuosity Index in relation to River Instability: A Case Study of Damodar River, West Bengal, India. International Journal of Advances in Earth Sciences 1 (2): 49-57, 2012.

Santana, Luis. Estudio hidrológico, hidráulico y mecánico fluvial del río Biobío sector Desembocadura, comuna San Pedro de la Paz, VIII Región. [Informe técnico]. Concepción, Chile. 2007. Material electrónico.

Santana, Luis. Actualización de estudio hidrológico, hidráulico y mecánico fluvial del río Biobío sector Desembocadura, comuna San Pedro de la Paz, VIII Región. [Informe técnico]. Concepción, Chile. 2015. Material electrónico.

Vannote, Robin L. et al. The River Continuum Concept. [en línea] <<http://www.stroudcenter.org/about/pdfs/Vannote1980-CJFAS-RiverContinuumConcept-R0715.pdf>> [Consulta: 23 de Junio de 2014]