

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIRÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL



“ESTUDIO DE LOS FACTORES RELEVANTES PARA INCORPORAR UNA EMBARCACIÓN DE USO RECREATIVO EN LA RIBERA NORTE DEL RÍO BÍO BÍO”

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

JORGE SEBASTIAN GARRIDO SOTO

Profesor Guía: Pedro Cisterna Osorio

Concepción, Septiembre 2015.

Dedicatoria:

*Este Proyecto de título está
dedicado a mi Madre Patricia
que está en el cielo, a mi Hija,
a mi Padre, a mí segunda
Madre Angélica y a mi hermano.
Que son las personas que han
hecho posible que logre cumplir
mis metas.*

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a mis pilares fundamentales a lo largo de mi vida, a mi Madre, a mi Padre, a mi Tía Angélica y a mi Hermano por todo lo que me han entregado y por hacer más fácil el camino para cumplir mis sueños.

Agradezco también a mis amigos, familiares y compañeros, que de una u otra forma han logrado hacer que esta etapa universitaria sea una de las mejores de mi vida.

Agradezco finalmente a mi profesor guía, Señor Pedro Cisterna, por su disponibilidad, paciencia y por sus conocimientos entregados, Ya que sin su ayuda este proyecto de título, habría sido difícil de realizar.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS:	3
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.	9
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.	10
1.2 OBJETIVOS.	11
1.2.1 Objetivo general	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 Zona de estudio.	12
1.4. Antecedentes Del Río Bío Bío en la parte baja de su cauce.	13
1.5. Condiciones de la Ribera Sur:	14
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	15
2.1 Profundidad:	15
2.2Velocidad:	15
2.3Caudal:	15
2.4Tipos de flujo:	15
2.5Estado de flujo:	16
2.6 Flotabilidad	17
2.7 Embarcaciones:	17
2.7.1 Parametrización de las dimensiones principales de una embarcación:	17
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	19
3.1 Profundidades.	19
3.2 Velocidades.	21
3.2.1Medicion a través de distancia vs tiempo:	21
3.2.2 Características del flotador artesanal:	22
3.3 Superficie Lecho del Río en el tramo de estudio.	22
3.4 Caudal	23
3.5 Estado de flujo	23
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.	24
4.1 Introducción.	24
4.2 Profundidades:	24
4.2.1 Perfiles transversales en Puente Llacolén y Puente Juan Pablo II:	24
4.2.2. Profundidades Máximas registradas en cada puente semana a semana	31

4.3 Velocidades y Reynolds.....	33
4.4 Caudales.....	34
4.5 Superficie lecho del río.....	35
4.5.1Análisis de la superficie lecho del río:	40
4.6 Estimación del lecho del río en la zona del proyecto.....	41
4.7. Análisis de las Series de Caudales Medios Mensuales	43
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	466
CAPÍTULO VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	477
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	48
ANEXO 1: Lectura de profundidades.....	48
ANEXO 2: Velocidades.....	51
ANEXO 3: PRECIPITACIONES EN CONCEPCIÓN DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO DEL PROYECTO.....	53
ANEXO 4: Caudales obtenidos en el periodo de la investigación.....	57
ANEXO 5. Viscosidades y densidad del agua.....	60
ANEXO 6. Imágenes de las Embarcaciones para este tipo de proyecto.....	62
ANEXO 7. Fotografías de la Vegetación del Cauce en la Ribera Sur del Río Bío Bío.....	65
ANEXO 8. Principio de Arquímedes.....	66
ANEXO 9. Análisis de frecuencia	68
9.1. Análisis de las Series de Caudales Medios Mensuales	68
9.2. Análisis de Datos Dudosos	69
9.3. Parámetros estadísticos.....	70
9.4. Análisis de Frecuencia	71
9.5. Método Analítico	72
9.6. Distribuciones de probabilidad para variables hidrológicas.....	72
9.7. Test de bondad de ajuste	74
9.8. Test de Chi-Cuadrado.....	74
9.9. Test de Kolmogorov – Smirnov.....	77
9.10Análisis Serie de Caudales Mínimos Medios Mensuales.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. zona de color azul es la zona del proyecto. Fuente: Bing Maps.	13
Figura 2. Esquema de una embarcación tipo, vista lateral y frontal.....	18
Figura 3. Plomada Artesanal y cordel.	20
Figura 4. Medición de los 200 metros sobre el puente.	20
Figura 5. Lanzamiento plomada en puente Juan P.II.	21
Figura 6. Punto inicial tramo para medición de velocidades.	21
Figura 7. Punto final tramo para medición de velocidades.	22
Figura 8. Perfiles transversales. Septiembre. Puente Llacolén.....	24
Figura 9. Perfiles transversales. Septiembre. Puente Juan Pablo II	25
Figura 10 Grafico de Precipitaciones, mes de Septiembre.....	26
Figura 11. Perfiles transversales. Octubre. Puente Llacolén.....	26
Figura 12. Perfiles transversales. Octubre. Puente Juan Pablo II.....	27
Figura 13 Gráfico de precipitaciones, mes de Octubre.	28
Figura 14. Perfiles Transversales. Noviembre. Puente Llacolén.....	28
Figura 15. Perfiles transversales. Noviembre Puente Juan Pablo II.....	29
Figura 16 Gráfico de precipitaciones, mes de Noviembre.	29
Figura 17. Perfiles transversales. Diciembre. Puente Llacolén.....	30
Figura 18. Perfiles transversales. Diciembre. Puente Juan Pablo II.....	30
Figura 19 Gráfico de precipitaciones, mes de Diciembre.	31
Figura 20. Gráfico de Profundidades Máximas semanales bajo cada puente.	31
Figura 21. Curva de velocidades medias semanales vs Número de Reynolds.....	33
Figura 22. Comparación curva de caudales del proyecto y los registrados por la DGA.....	34
Figura 23. Gráfico de precipitaciones entre Septiembre y Diciembre.	34
Figura 24. Vista desde puente Llacolén. Septiembre.	35
Figura 25 Vista desde puente Juan P. II. Septiembre.....	36
Figura 26 Duna de arena emergiendo sobre el nivel del río, cercano al nivel del puente Llacolén. .	36
Figura 27 Vista desde puente Juan P.II. Octubre.	37
Figura 28 Duna de arena emergiendo sobre el nivel del río, cercano al puente Llacolén. Noviembre.	37
Figura 29. Dunas de arena emergiendo entre Puente Ferroviario y puente Juan Pablo II.....	38
Figura 30 Duna de arena cercana al puente Llacolén. Diciembre.....	38
Figura 31 Separación entre Duna de arena y la orilla: 20 metros aproximadamente.....	39
Figura 32 Dunas de arena entre puente Ferroviario y puente Juan Pablo II. Diciembre.....	39
Figura 33 Vista desde puente Juan P.II.....	40
Figura 34 Zona de posible navegación: Zona amarilla. Septiembre.....	41
Figura 35. Zona de posible navegación: Zona amarilla. Octubre.....	42
Figura 36.. Zona de posible navegación: Zona amarilla. Noviembre.....	42
Figura 37. Zona de posible navegación: Zona amarilla. Diciembre.....	43
Figura 38. Gráfico de Periodo de retorno vs caudal obtenidos en la tabla 5.....	44

Índice de tablas.

Tabla 1. Embarcaciones y sus características.....	18
Tabla 2. Ancho del tramo de altura de agua mínima requerida.....	32
Tabla 3. Análisis de frecuencia. Distribución log normal.....	44
Tabla 1.1. Profundidades en el puente Llacolén.....	48
Tabla 1.2 Profundidades en el puente Juan Pablo II.....	49
Tabla 1.3 Profundidades medias en el Puente Llacolén.....	50
Tabla 1.4 Profundidades medias en el Puente Juan Pablo II.....	50
Tabla 2.1. Velocidades en el punto 1.....	51
Tabla 2.2. Velocidades en el punto 2.....	51
Tabla 2.3. Velocidades en el punto 3.....	52
Tabla 2.4. Velocidades medias de los 3 puntos anteriores.....	52
Tabla 3.1 Precipitaciones y Temperaturas mes de Septiembre.....	53
Tabla 3.2 Precipitaciones y Temperaturas mes de Octubre.....	54
Tabla 3.3 Precipitaciones y Temperaturas mes de Noviembre.....	55
Tabla 3.4 Precipitaciones y Temperaturas mes de Diciembre.....	56
Tabla 4.1 Caudales obtenidos en el periodo de estudio.....	57
Tabla 4.2 Caudales DGA.....	57
Tabla 4.3. Caudales medios mensuales. Periodo 1970-2014 (DGA).....	58
Tabla 5.1 Temperatura del agua en periodo de estudio.....	60
Tabla 5.2 Número de Reynolds y Estado de flujo.....	60
Tabla 5.3 Viscosidad dinámica del agua a varias Temperaturas.....	61
Tabla 9.1 Valores de Kn para prueba de datos dudosos.....	70
Tabla 9.2 χ^2 v/s grados de libertad para distintos niveles de confianza.....	76
Tabla 9.3 Ks v/s número de datos para distintos niveles de confianza.....	78
Tabla 9.4 Prueba de datos dudosos.....	79
Tabla 9.5 Resumen test de bondad Chi- Cuadrado.....	80
Tabla 9.6 Resumen test de bondad Kolmogorov-Smirnov.....	81

ESTUDIO DE LOS FACTORES RELEVANTES PARA INCORPORAR UNA EMBARCACIÓN DE USO RECREATIVO EN LA RIBERA NORTE DEL RÍO BÍO BÍO.

Autor: Jorge Garrido Soto.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Del Bío Bío.

jogarrid@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Pedro Cisterna Osorio.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Del Bío Bío.

pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN.

El Río Bío Bío es un valioso recurso natural, el cual en la actualidad ha sido aprovechado por grandes industrias. Es por ello que el presente estudio persigue esbozar la posibilidad de incorporar una embarcación de uso recreacional y de bajo calado, en la Ribera Norte del Río Bío Bío, entre el Puente Juan Pablo II y el Puente Llacolén. De manera de en un futuro próximo acercar a la ciudadanía a este recurso natural.

Para ello se llevarán a cabo mediciones en terreno de profundidades y velocidades entre los meses de Septiembre y Diciembre. Estas mediciones serán analizadas para ver si se dispone de un calado acorde a lo requerido por las embarcaciones revisadas y seleccionadas.

Como conclusión se obtiene que la zona de mayor profundidad se registra entre los meses de Septiembre y Noviembre, que es donde se supera la altura de agua mínima requerida para el calado de embarcaciones.

Palabras claves: Embarcación de uso recreacional, calado, profundidad, velocidad.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

El Río Bío Bío es uno de los más importantes de Chile, entre otras cosas por su longitud, la cual tiene un recorrido de 380 kilómetros, siendo el segundo más largo de Chile, después del Río Loa. Además la cuenca del Bío Bío representa, a nivel nacional, un importante centro de desarrollo económico.

En muchos países, incluido Chile, como es el caso del Río Calle Calle, a los Ríos se les da un uso turístico o recreativo, de manera de brindarle a la ciudadanía, la posibilidad de acercarse a un recurso natural como este.

Hoy en día el crecimiento que han experimentado las ciudades, en cuanto a infraestructuras y sumado esto al creciente cambio en los modos de vida de las personas, ha traído como consecuencia que los espacios al aire libre pierdan protagonismo a favor de los espacios colectivos interiores, como grandes centros comerciales.

Es por ello, que estudiar los factores relevantes para incorporar una embarcación de uso recreacional y de bajo calado en la ribera norte del Río Bío Bío, sería de gran impacto social y turístico. Además permitiría mejorar el entorno y aprovechar de mejor manera este recurso natural.

En el presente estudio se exponen los resultados obtenidos empíricamente en el Río Bío Bío, en el tramo comprendido entre el Puente Llacolén y el Puente Juan Pablo II, que tiene una longitud aproximada de 2 kilómetros.

El estudio está basado en la obtención de información hidráulica básica de la zona antes mencionada, por lo que se realizarán mediciones en terreno de profundidades, velocidades y fotografías semanales del lecho del río en la Ribera Norte.

Para cumplir con los objetivos de esta investigación, se estableció realizar mediciones en terreno una vez por semana entre los meses de Septiembre y Diciembre del año 2014.

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.

Si bien es cierto el Río Bío Bío presenta bastante información hidráulica de su cauce, esta es más bien general o tomada en puntos específicos como en las estaciones fluviométricas.

En el tramo de este proyecto, entre el Puente Llacolén y el Puente Juan Pablo II, por la ribera norte del Río Bío Bío, se carece de información hidráulica, por lo que se obtendrá empíricamente la información hidráulica básica en el cauce del Río, llevándose a cabo la toma de datos como mediciones de profundidades y de velocidades del cauce del río bajo el puente Llacolén y profundidades del cauce del río bajo el Puente Juan Pablo II. También se visualizará el comportamiento del lecho del Río Bío Bío en este tramo, a través de fotografías semanales del lecho del Río, para ver cómo va variando su ancho.

Hoy en día, el uso que se le da al Río Bío Bío es netamente industrial, lo que provoca que las personas pierdan el incentivo de acercarse a este recurso natural, ya sea para realizar actividades deportivas o recreativas.

Lo que motiva la realización de este proyecto, es que ojalá en un recurso natural como el río Bío Bío, se pueda incorporar una Embarcación de uso recreacional y de bajo calado, de manera de desarrollar en un futuro próximo, un proyecto amigable con el entorno.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 Objetivo general

- Estudiar los factores relevantes para incorporar una Embarcación de uso recreacional y de bajo calado en la ribera norte del Río Bío Bío, específicamente en el tramo comprendido entre el puente Llacolén y el puente Juan Pablo II.

1.2.2 Objetivos específicos

- Obtener empíricamente ancho, profundidad, velocidad y zonas de embancamiento de la zona del proyecto.
- Realizar perfiles transversales de la profundidad del cauce del río bajo cada puente.
- Analizar los datos obtenidos de las mediciones en terreno, en el periodo considerado.
- Realizar una selección de embarcaciones de bajo calado para uso recreacional.

1.3 Zona de estudio.

La cuenca del Río Bío Bío forma parte de la VIII Región y está comprendida entre los paralelos 36°42` - 38°49` Latitud sur y los meridianos 71° -73°20` Longitud Oeste. Es una de las cuencas de mayor superficie del país cubriendo un área de 24.264 km² (Dirección General de Aguas, 2004). Comprende parte de las provincias de Ñuble, Concepción, Bío Bío y Arauco. Además abarca parte de las provincias de Malleco y Cautín que están ubicadas en la IX Región de la Araucanía (Dirección General de Aguas, 2004).

La cuenca representa, a nivel nacional, un importante centro de desarrollo económico. Los sectores productivos más dinámicos están ligados al sector forestal, sector agropecuario (localizado principalmente en las provincias de Ñuble y Bío Bío), sector industrial (representado fundamentalmente por las industrias metalúrgicas, químicas, refinerías de petróleo, industrias textiles, industrias de la celulosa, entre otras) y sector hidroeléctrico que constituye la principal fuente de suministro de energía eléctrica a nivel nacional (Dirección General de Aguas, 2004)

El río Bío Bío nace en la ribera oriental de la laguna Gualletué ubicada en la cordillera de los Andes. Su curso superior se desarrolla en un valle intermontañoso de origen glacial, generando numerosos meandros, a través de un paisaje estepario en el que abundan los coironales y matorrales bajos (Dirección General de Aguas, 2004).

En el curso inferior del Bío Bío, frente a la comuna de San Pedro de la Paz, el río posee un cauce con un ancho promedio de 2 km, que escurre a sección llena durante el periodo invernal. Durante el periodo de menores caudales (periodo estival) el río divaga en forma trezada alcanzando el Océano Pacífico entre las comunas de San Pedro de la Paz y Hualpén. (Dirección General de Aguas, 2004).

El área en estudio está comprendida entre los puentes Llacolén y Juan Pablo II, en una longitud aproximada de 2 km y un ancho aproximado de 200 metros, como se exhibe en la figura 1 y figura 2.

Coordenadas Geográficas de la zona del proyecto:

Entre los paralelos 36°5` - 36° 49` Latitud Sur y los meridianos 73°4` - 73°5` Longitud Oeste. (Bing Maps.)

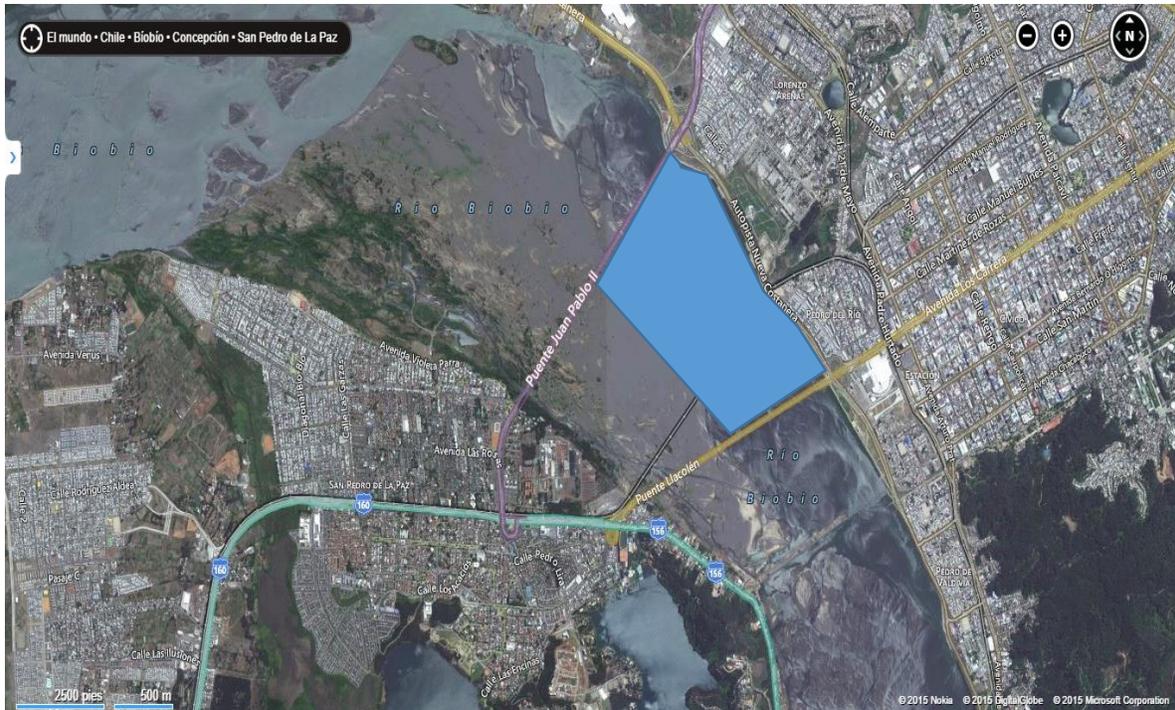


Figura 1. zona de color azul es la zona del proyecto.

Fuente: Bing Maps.

1.4. Antecedentes Del Río Bío Bío en la parte baja de su cauce.

El Río Bío Bío en su zona baja posee un régimen Pluvio-nival, donde registra una precipitación media anual de alrededor de 1300 milímetros, con escurrimientos de grandes avenidas en época invernal que provocan, cada cierto número de años, inundaciones en varios sectores riberaños de la cuenca y avenidas de menor magnitud durante el periodo de deshielos.

Entre San Rosendo y la Desembocadura, el Río Bío Bío recorre 80 kilómetros con una pendiente suave de apenas 0.5% la cual favorece la sedimentación y la formación de zonas trenzadas. En su desembocadura suele presentar crecidas de hasta 8000 m³/s. Sin embargo, se han registrado crecidas con máximos instantáneos cercanos a los 16000 m³/s asociados a probabilidades de ocurrencia del 1%, evento ocurrido en Julio del 2006 (Parra y Valdovinos, EULA 2006).

Los caudales medios mensuales registrados en la estación fluviométrica Río Bío Bío en Desembocadura, perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA), presentan un caudal máximo medio mensual de aproximadamente 2200 m³/s en los meses de Junio y Julio, que corresponden a los meses de máximas precipitaciones en la cuenca. Los caudales mínimos medio mensuales se ubican en los meses de Marzo y Abril, con valores cercanos a los 180 a 220 m³/s, correspondientes al periodo final del verano y antes de las primeras precipitaciones. Este caudal mínimo se mantiene gracias a algunos aportes nivales remanente y la napa subterránea (Parra y Valdovinos, EULA 2006).

La parte baja del Río Bío Bío y donde se ubica la zona de este proyecto, es de áreas planas o de llanura, que se caracterizan por presentar corrientes de baja velocidad, lechos anchos y escasa pendiente, aguas de mayores temperaturas y en general más turbios, por el sedimento que arrastran. En general sus sedimentos de fondo son móviles.

El caudal medio anual en la desembocadura varía entre 300 y 900 m³/s.

1.5. Condiciones de la Ribera Sur (contraria a la de este proyecto):

La Ribera Sur del Río Bío Bío presenta una zona de depositación de sedimentos que ha aumentado en tamaño durante la última década. Se forma entonces una barra lateral que lentamente se ha colonizado por diferentes especies vegetacionales, principalmente sauces, álamos y arbustos, la densidad de estos ha aumentado y con ello el efecto combinado barra vegetación en el flujo. Lo que ha reducido de una manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo. Debido a esto este estudio se realiza en la ribera norte del Río Bío Bío, ya que es la que presenta agua en prácticamente todo el año. **En el Anexo 7 se muestran imágenes de la Ribera Sur del Río Bío Bío.**

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

Los factores relevantes para incorporar una embarcación de uso recreacional en la Ribera Norte del Río Bío Bío, son la profundidad, velocidad y caudales del lecho del cauce.

2.1 Profundidad: La profundidad va a depender del calado característico que se requiera para las embarcaciones y de la revancha que será aproximadamente de 25 centímetros (0.8 pies). La revancha se estima para dar mayor seguridad al calado de la embarcación. La profundidad del tramo en estudio no debiera ser menor a la suma del calado de la embarcación más la revancha. (Estudio de navegabilidad río Napo, Octubre 2010).

En esta experiencia, la profundidad se obtendrá sólo de las mediciones realizadas bajo los puentes Llacolén y Juan Pablo II.

2.2 Velocidad: Velocidades del cauce del río menores a 4 metros/segundos, no afectan el desplazamiento de embarcaciones a motor de turismo fluvial. (Estudio de navegabilidad río Napo, Octubre 2010). La velocidad se obtendrá en m/s, solo de mediciones realizadas desde el puente Llacolén hacia aguas abajo del cauce

2.3 Caudal: El caudal es el volumen de agua que cruza una sección en un determinado periodo de tiempo. El caudal no se registra directamente, a pesar de que esta variable es tal vez la más importante en los estudios hidrológicos. El caudal de un río se calcula utilizando las mediciones de velocidad y profundidad (Aforo) (Hidrología, Luis Santana y Sergio Quijada, Agosto 2007).

Para cualquier flujo, el caudal Q en una sección de canal se expresa por:

$$Q=V \times A$$

Donde V es la velocidad media y A es el área de la sección transversal del flujo, perpendicular a la dirección de este, debido a que la velocidad media está definida como el caudal dividido por el área de la sección transversal. (Hidráulica de Canales abiertos, Ven Te Chow).

El área de la sección transversal será obtenida de la multiplicación del promedio de las profundidades medidas en terreno por el ancho del tramo en estudio.

2.4 Tipos de flujo: el flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras, la siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad de flujo con respecto al tiempo y al espacio. (Hidráulica de Canales abiertos, Ven Te Chow).

Flujo permanente y no permanente: tiempo como criterio. Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. El flujo es no permanente si la profundidad cambia con el tiempo. (Hidráulica de Canales abiertos, Ven Te Chow).

2.5 Estado de flujo: El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo. La tensión superficial del agua puede afectar el comportamiento del flujo bajo ciertas circunstancias, pero no juega un papel significativo en la mayor parte de los problemas de canales abiertos que se presentan en ingeniería.

Efecto de la viscosidad: el flujo puede ser laminar, turbulento o transicional según el efecto de la viscosidad en relación con la inercia.

El flujo es laminar si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales, de tal manera que la viscosidad juega un papel importante en determinar el comportamiento del flujo. En el flujo laminar, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o líneas de corriente, y las capas de fluido con espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre capas adyacentes.

El flujo es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales. En flujo turbulento, las partículas del agua se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero que en conjunto todavía representan el movimiento hacia delante de la corriente entera.

Entre los estados de flujo laminar y turbulento existe un estado mixto o transicional.

El efecto de la viscosidad en relación con la inercia puede expresarse mediante el número de Reynolds, definido por:

$$R = VL / \nu$$

Donde V es la velocidad del flujo en metros/ segundos; L es una longitud característica en metros, y ν la viscosidad cinemática del agua en metros cuadrado/ segundos. La viscosidad cinemática es igual a la viscosidad dinámica μ en kilogramos/metros-segundos dividida por la densidad ρ en kilogramos/metros cúbicos.

$$\nu = \mu / \rho$$

El flujo en canales abiertos es laminar si el número de Reynolds R es pequeño, y turbulento si R es grande.

Laminar: $R < 500$.

Transición: $500 < R < 2000$.

Turbulento: $R > 2000$.

2.6 Flotabilidad: La flotabilidad es la tendencia que tiene un fluido a ejercer una fuerza que da apoyo a un cuerpo que está sobre él.

Siempre que un objeto flota o está sumergido por completo en un fluido, está sujeto a una fuerza de flotación.

Cualquier objeto que se coloque en un fluido experimenta una fuerza de flotación que tiende a elevarlo, lo que ayuda a darle apoyo.

Para mantenerse a flote y sin sumergirse, la embarcación tiene que tener un promedio de densidad menor que la del agua, es por esta razón que el casco de la embarcación es hueco.

Independientemente del material del que este confeccionada la embarcación, el promedio de densidad debe ser menor que la del agua.

El área de la embarcación también ayuda a mantenerla a flote, ya que una mayor superficie de contacto, permitirá distribuir de mejor manera el peso de la embarcación, por lo que su densidad será menor. (**Revisar Anexo 8, Principio de Arquímedes**)

2.7 Embarcaciones: Para el turismo fluvial se requieren embarcaciones de menor tamaño que las que se utilizan en alta mar, con menor capacidad de pasajeros y de menor calado.

2.7.1 Parametrización de las dimensiones principales de una embarcación:

Puntal: altura medida desde la quilla hasta la cubierta principal.

Eslora: Longitud total de la embarcación, medida entre sus extremos de proa (parte delantera de una embarcación) a popa (parte posterior de una embarcación).

Calado: Distancia vertical medida desde la línea de flotación a la quilla (parte inferior de una embarcación) o punto mas bajo de la embarcación.

Manga: es la anchura de la embarcación. Como la manga no es constante a lo largo de toda la embarcación, llamaremos manga máxima a la parte mas ancha de la embarcación.

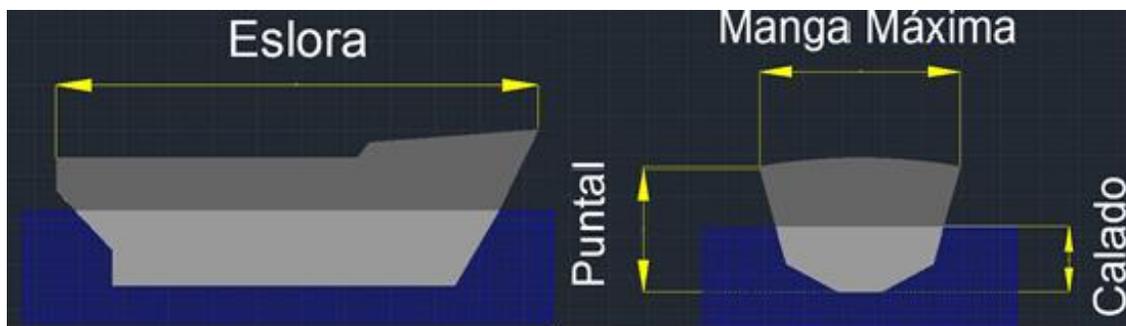


Figura 2. Esquema de una embarcación tipo, vista lateral y frontal.

Existe un variado conjunto de embarcaciones para la navegación turística o de recreo en un río. A continuación se muestra una tabla resumen de una selección de estas embarcaciones, que son las que más se ajustan a un proyecto de este tipo, ya que lo que se busca es una embarcación orientada a un objetivo turístico urbano, incluso social para poder acercar el Río a la Ciudad. (Ver Anexo 6, imágenes de las embarcaciones).

Embarcación	Puntal	Manga	Eslora	Calado	Capacidad
Lancha fabricada en	0.86	2.5	10	0.35	12
Catamarán Enduro	1.2	2.5	7	0.45	10
Bote Taxi 260	1.1	2.64	7.95	0.46	20
Bahía Princesa	1.5	3	12	0.65	50
Bote Taxi 255C	0.86	2.18	7.74	0.35	10
Expreso 320	1.35	2.46	9.86	0.64	23
Taxi Solar I	0.95	3.02	9.5	0.38	12
Bote a Motor	0.85	1.5	5	0.34	9
Bote	1.1	2	7	0.5	20
Bote Taxi 170	0.69	1.64	5.14	0.26	6
Bote Carguera 230	0.61	1.42	7.01	0.23	8

Tabla 1. Embarcaciones y sus características.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

Este proyecto contempla estudiar de forma empírica velocidades y profundidades, además de fotografías semanales del río Bío Bío, para ver la posibilidad de incorporar una embarcación de uso recreacional y de bajo calado en la ribera norte, entre puentes intercomunales del río Bío Bío (tramo entre el Puente Llacolén y el Puente Juan Pablo II).

Esto se hará efectuando las mediciones en terreno de profundidades y velocidades una vez por semana, para llevar un catastro del comportamiento del río y como varía su información hidráulica básica durante un periodo determinado de tiempo.

Además se realizará la toma de fotografías del lecho del Río una vez por semana en el tramo de estudio, para ver como varía la superficie del lecho del Río Bío Bío.

El tipo y forma de desarrollar las mediciones en terreno se ejecutará a través del mismo método semana a semana.

Esta experiencia se desarrollará en la Ribera norte del Río Bío Bío, localizado en la Ciudad de Concepción, en los puentes Llacolén y Juan Pablo II, durante los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre, con el propósito de observar si en el tramo en estudio es posible incorporar una embarcación de uso recreacional y de bajo calado.

Luego de haber efectuado las mediciones durante los meses antes mencionados, se llevará a cabo el análisis de resultados.

Además se recopilarán los caudales históricos obtenidos por la Dirección General de Aguas (DGA), para obtener la probabilidad de ocurrencia del caudal mínimo medio mensual del año 2014, a través de un análisis de frecuencia, el cual está detallado en el **Anexo 9**.

3.1 Profundidades.

Para desarrollar este estudio, se realizaron las mediciones en terreno de profundidades del cauce, a través de una plomada artesanal, que tiene un peso de 3 kilogramos, una longitud de 30 centímetros y un diámetro de 6 centímetros. Esta plomada era lanzada a través de un cordel de 20 metros de largo y un diámetro de 20 milímetros (**Ver Figura 3**)



Figura 3. Plomada Artesanal y cordel.

Las mediciones de profundidades ha desarrollar en este proyecto de título, se realizaron desde el puente Llacolén y desde el puente Juan Pablo II, para obtener los perfiles transversales en esta zona del río Bío Bío.

El procedimiento fue medir en ambos puentes los 200 primeros metros de la ribera norte del río Bío Bío (**Ver Figura 4**), luego estos 200 metros fueron divididos en tramos de 20 metros, obteniendo 10 puntos, que fueron marcados en la baranda del puente con una cinta de polietileno, de manera de no volver a realizar la medición de los 10 puntos en el puente cada vez que se realizará la visita a terreno. De esta forma en cada visita a terreno se visualizaba cada punto y se lanzaba la plomada para obtener las mediciones de profundidades en cada puente. Este procedimiento se realizó una vez por semana, comenzando el día 7 de septiembre y culminando el día 20 de diciembre.

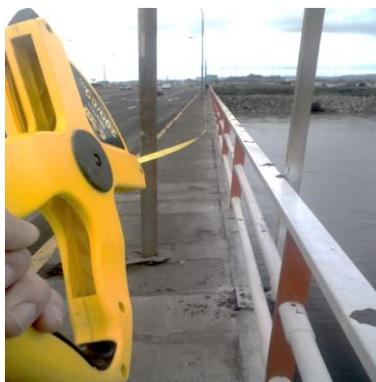


Figura 4. Medición de los 200 metros sobre el puente.

Las mediciones de profundidades fueron medidas específicamente de la siguiente manera:

Cada 20 metros se lanzaba el cordel con la plomada hasta que la plomada tocara el pelo de agua, está se mantenía en ese punto por unos segundos hasta que se lograba marcar el cordel, luego se soltaba el cordel hasta que la plomada impactará el fondo del río, se mantenía en el fondo por unos segundos, para nuevamente marcar el cordel, finalmente se subía el cordel y la plomada a la superficie, para ver la diferencia en distancias que había en el cordel, entre el punto inicial (**cuando la plomada estaba a nivel del pelo de agua**) y el punto final (**cuando la plomada tocaba el fondo del río**) (**Ver Figura 5**), esta distancia nos daba la profundidad de agua en ese punto del cauce.



Figura 5. Lanzamiento plomada en puente Juan P.II.

3.2 Velocidades.

Las mediciones de velocidades fueron desarrolladas solamente desde el puente Llacolén hacia aguas abajo.

El método que se utilizó para estas mediciones fue el de distancia recorrida por un objeto flotante en un determinado tiempo.

3.2.1 Medicion a través de distancia vs tiempo: Para este tipo de medicion se requiere tener, un tipo de flotador que circule por una determinada distancia longitudinal del tramo que se va a investigar, esta distancia longitudinal se obtendrá a través de una huincha de medir, luego se necesita un cronómetro para medir el tiempo que demora en circular el flotador desde el punto inicial hasta el punto final de esta distancia longitudinal.

Las mediciones de velocidades se llevarón a cabo de la siguiente manera:

Primero se midió una distancia longitudinal de 100 metros por la orilla del río, desde abajo del puente Llacolén como muestra la Figura 6 (Punto inicial), hasta el punto final como muestra la Figura 7.



Figura 6. Punto inicial tramo para medición de velocidades.



Figura 7. Punto final tramo para medición de velocidades.

Luego una persona se quedaba en el punto final y otra persona lanzaba un trozo de madera (que cumplía el rol de un flotador) desde el puente hacia aguas abajo, y se cronometraba el tiempo que demoraba en recorrer el flotador esa distancia dada, el cronómetro se detenía una vez que la persona que se ubicaba en el punto final levantaba la mano en señal de que el flotador había finalizado el recorrido.

3.2.2 Características del flotador artesanal:

- Longitud: 23 centímetros.
- Ancho: 10 centímetros.
- Espesor: 2,5 centímetros.
- Peso: 300 Gramos.
- Material: Madera.

Este procedimiento se realizaba en tres puntos distintos en cada visita a terreno. Se lanzaba el flotador artesanal de madera en los 20, 40 y 80 metros medidos desde norte a sur en el puente Llacolén. La distancia que recorría el flotador no cambió, fue siempre la misma (100 metros) en cada visita a terreno a lo largo de la investigación.

Por lo que una vez obtenido el tiempo que demoraba el flotador en recorrer dicha distancia dada, se llevó a cabo el cálculo de las velocidades en el cauce del río de la siguiente forma:

$$v=d/t$$

v: velocidad en m/s.

d: distancia recorrida en metros (100 metros)

t: tiempo transcurrido por el flotador en segundos.

3.3 Superficie Lecho del Río en el tramo de estudio.

Para ver como iba variando la superficie del lecho del río en el tramo de estudio, se realizaron fotografías en terreno del cauce semana a semana, en la ribera norte del Río Bío Bío entre los puentes Llacolén y Juan Pablo II, durante los 4 meses que duró la investigación.

3.4 Caudal (Ver Anexo 4, tabla 4.1)

Los caudales se obtuvieron a través de las profundidades medias medidas bajo el puente Llacolén en metros, de las velocidades medias medidas en el puente Llacolén en metros/segundos y con un ancho de 200 metros, que fue el ancho de estudio.

El cálculo de caudal a través de mediciones de velocidades con flotador es la siguiente:

$$Q = 0.8 * V * A$$

$$A = h * a$$

V: Velocidad del flotador en metros/segundos.

h: profundidad media en metros.

a: ancho de estudio

3.5 Estado de flujo (Ver Anexo 5, tabla 5.1, 5.2 y 5.3)

El estado de flujo se obtuvo a través del número de Reynolds semana por semana.

$$R = \frac{V * L}{\nu}$$

Donde V es la velocidad media obtenida en el proyecto; para el valor de L se utilizó la profundidad media del proyecto bajo el puente Llacolén; y ν se obtuvo a través de viscosidad dinámica μ dividida por la densidad del agua ρ . (Ver Anexo 5, tabla 5.1)

$$\nu = \mu / \rho$$

El número de Reynolds fue calculado con la Densidad y viscosidad del agua. La viscosidad dinámica que se usó para el cálculo de la viscosidad cinemática, se obtuvo a partir de la temperatura media del agua registrada por la estación fluviométrica Bío Bío en Desembocadura del día de la medición en terreno (Ver Anexo 5)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

4.1 Introducción.

En este capítulo se analizarán y discutirán los resultados obtenidos, sobre las profundidades, velocidades y caudales obtenidos durante el periodo que duró el estudio de este proyecto.

A continuación se graficarán los resultados obtenidos semana a semana, tanto de las profundidades obtenidas bajo cada puente (Llacolén y Juan Pablo II), las velocidades y caudales obtenidos desde el puente Llacolén hacia aguas abajo.

4.2 Profundidades: De las embarcaciones dispuestas en este estudio, la que presenta mayor calado es la Embarcación Bahía Princesa con 0.65 metros y una capacidad de 50 pasajeros, por lo que si le sumamos a este calado la revancha, nos da una profundidad de 0.9 metros. En los siguientes perfiles que fueron obtenidos bajo cada puente, se observarán los puntos en donde se realizaron las mediciones de profundidades, se analizarán los puntos en que las mediciones superen estos 0.9 metros (calado mas revancha), para ver el tramo que cumple con la mínima altura de agua requerida para las embarcaciones de este proyecto.

4.2.1 Perfiles transversales en Puente Llacolén (Anexo 1, tabla 1.1) y Puente Juan Pablo II (Anexo 1, tabla 1.2):

Perfil transversal mes de Septiembre en Puente Llacolén.

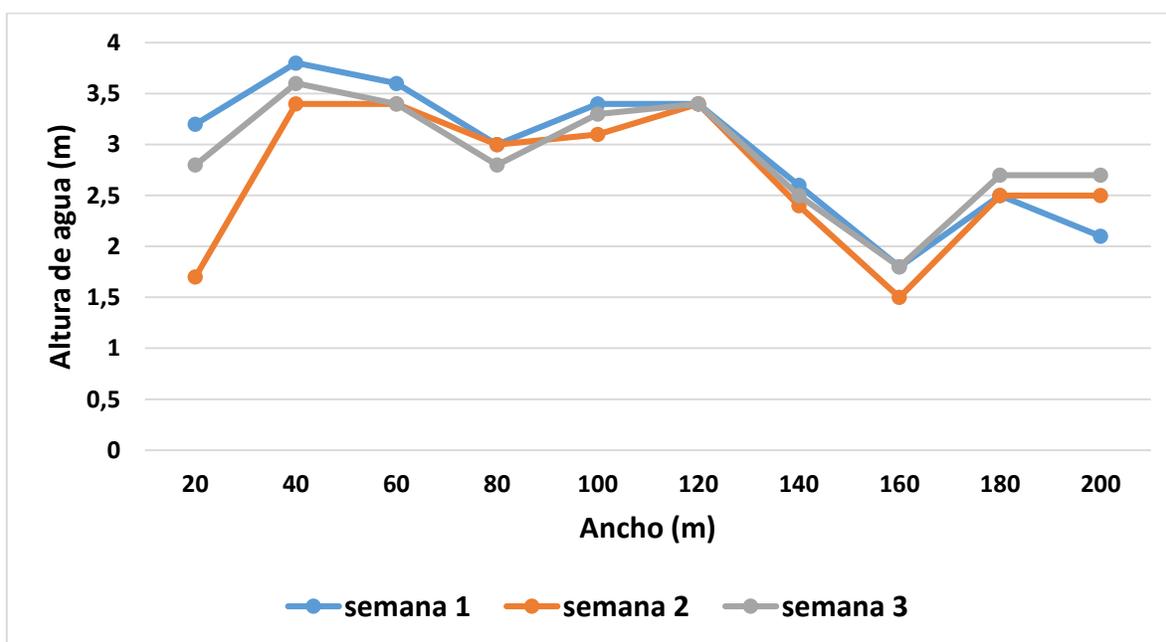


Figura 8. Perfiles transversales. Septiembre. Puente Llacolén.

En Septiembre se realizaron 3 mediciones, debido a que la semana del 18 no hubo visita a terreno. Las mediciones de la segunda semana tendieron a disminuir en relación a la primera semana, luego en la tercera semana, estas tendieron a ser mayores que las de la segunda semana. Esto se debe a las precipitaciones ocurridas en ese periodo, como muestra el gráfico de la Figura 14. La mayor profundidad de la medición del mes de Septiembre bajo el Puente Llacolén, se registra en la semana 1 y es de 3.8 metros, la menor profundidad se registra en la semana 2 y es de 1.5 metros. Todos los puntos medidos en este tramo, superan la altura de agua que se requiere para el calado característico de las embarcaciones.

Perfil transversal mes de Septiembre en Puente Juan Pablo II.

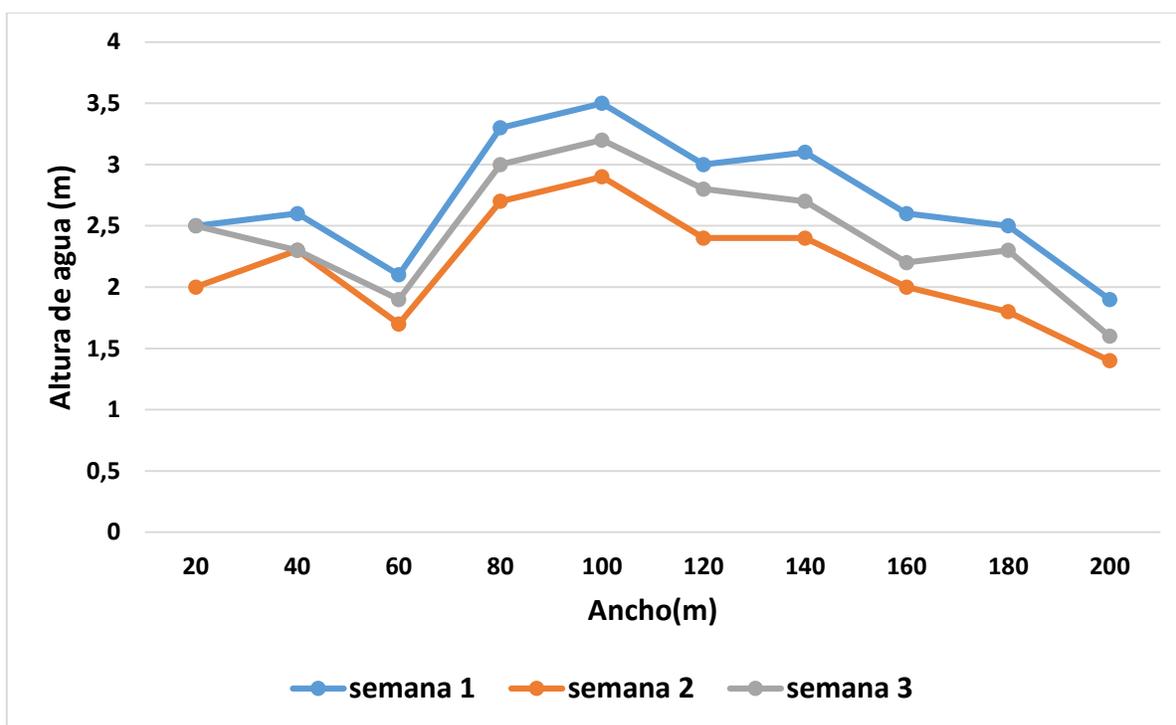


Figura 9. Perfiles transversales. Septiembre. Puente Juan Pablo II

La segunda semana de este mes presenta profundidades mas bajas que la semana 1 y semana 3, siendo la semana 1 la que presenta mayor profundidades, esto se debe a las precipitaciones ocurridas en este periodo como se observa en el gráfico de la Figura 14. La mayor profundidad registrada en el mes de Septiembre bajo el Puente Juan Pablo II, es de 3.5 metros en la semana 1 y la menor profundidad registrada es de 1.4 metros en la semana 2. En todos los puntos medidos la altura de agua supera lo que se requiere para el calado característico de las embarcaciones.

Precipitaciones mes de Septiembre (Ver Anexo 3, Tabla 3.1)

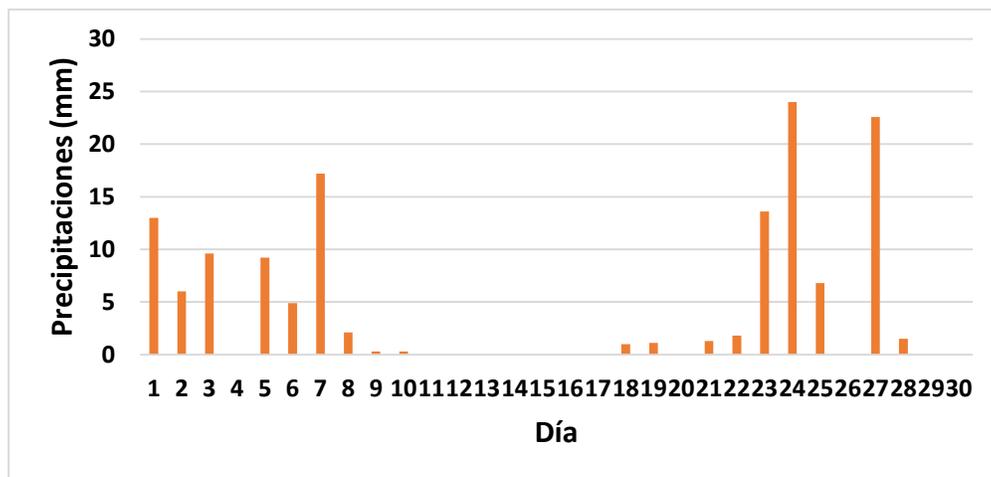


Figura 10 Grafico de Precipitaciones, mes de Septiembre.

La precipitación media mensual de Septiembre fue de 4.54 milímetros, la mayor precipitación registrada ocurrió el día 24 y fue de 24 milímetros.

Perfil transversal mes de Octubre en Puente Llacolén.

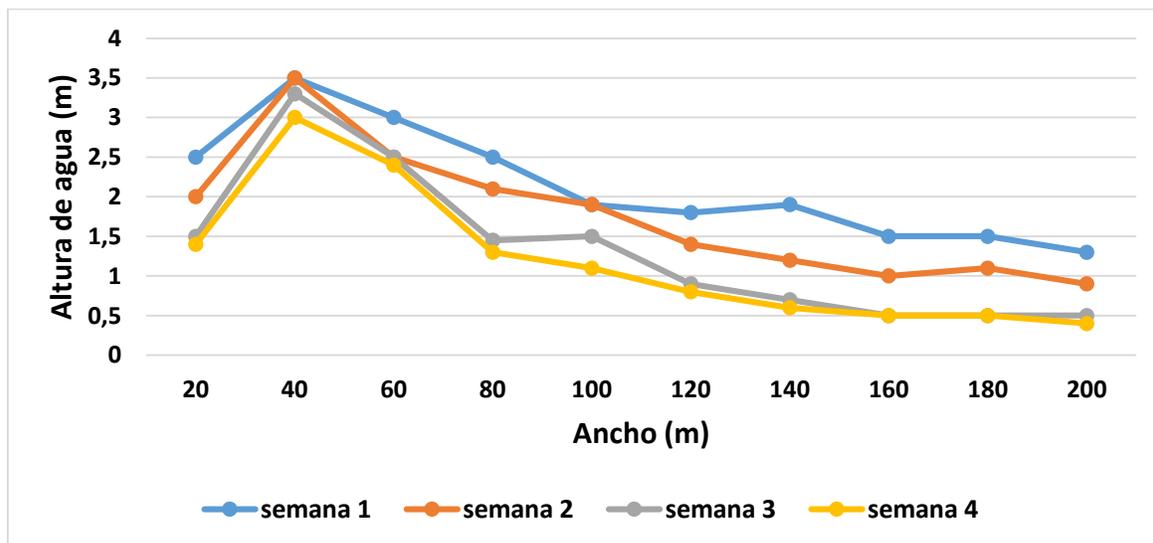


Figura 11. Perfiles transversales. Octubre. Puente Llacolén.

En el mes de Octubre, las profundidades tendieron a ir disminuyendo semana a semana, debido a las pocas precipitaciones y a lo poco continuas que fueron durante este mes, como se observa en el gráfico de la Figura 17. La altura de agua en este mes hasta la semana 3 supera lo que se requiere para el calado característico de las embarcaciones en un tramo aproximado de 100 metros de ancho, en la semana 4 a partir de los 100 metros de ancho, son inferiores a 1 metro. Por lo que en esta última semana el tramo en que se supera lo que se requiere para el calado característico de las embarcaciones es de aproximadamente 80 metros de ancho. La mayor profundidad se registra en la semana 1 y 2, y es de 3.5 metros, la menor profundidad se registra en la semana 4 siendo de 0.4 metros.

Perfil transversal mes de Octubre en Puente Juan Pablo II.

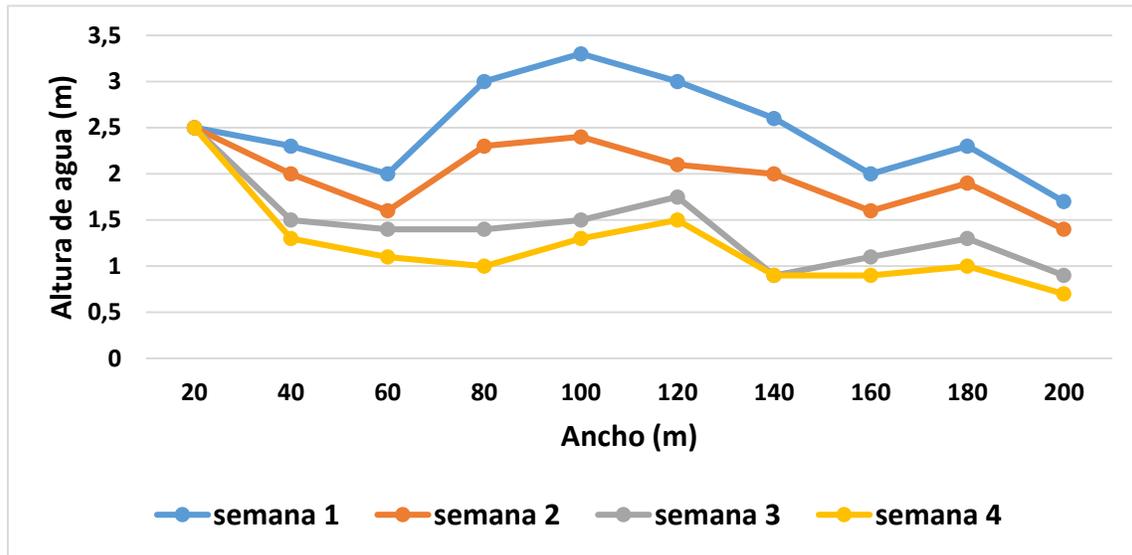


Figura 12. Perfiles transversales. Octubre. Puente Juan Pablo II.

En el mes de Octubre las profundidades medidas, fueron disminuyendo semana a semana, debido a que las precipitaciones ocurridas en este periodo fueron bajas y poco continuas. Así se observa en el gráfico que se muestra en la Figura 17. La mayor profundidad registrada fue de 3.3 metros en la semana 1 y la menor profundidad registrada fue de 0.7 metros en la semana 4. Solo en la semana 4 existe una altura de agua menor a 0.9 metros, por lo que en las semanas 1, 2 y 3 todo el ancho del tramo en estudio supera lo que se requiere para el calado característico de las embarcaciones, y en la semana 4 el tramo se acota a 160 metros de ancho.

Precipitaciones mes de Octubre. (Ver Anexo 3, tabla 3.2)

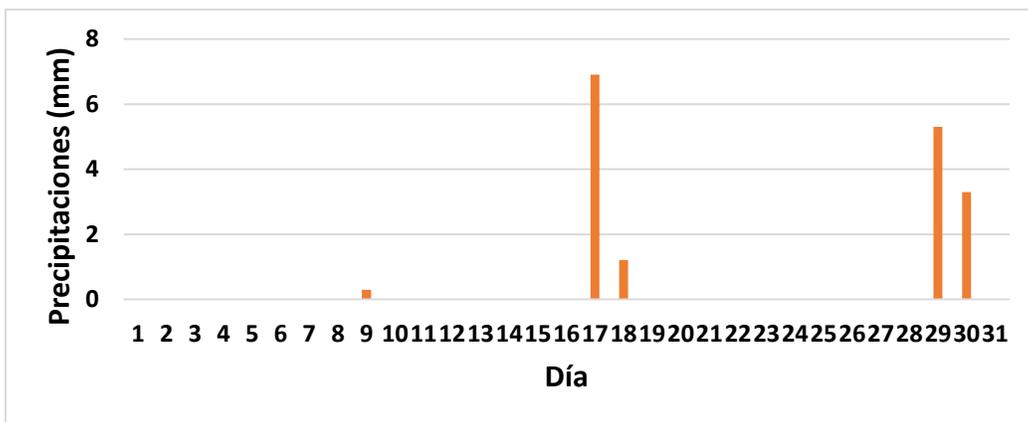


Figura 13 Gráfico de precipitaciones, mes de Octubre.

Se registraron precipitaciones en solo 5 días de este mes, por lo que la precipitación media mensual de Octubre fue de 0.54 milímetros, la mayor precipitación registrada ocurrió el día 17 y fue de 6.9 milímetros.

Perfil transversal mes de Noviembre en Puente Llacolén.

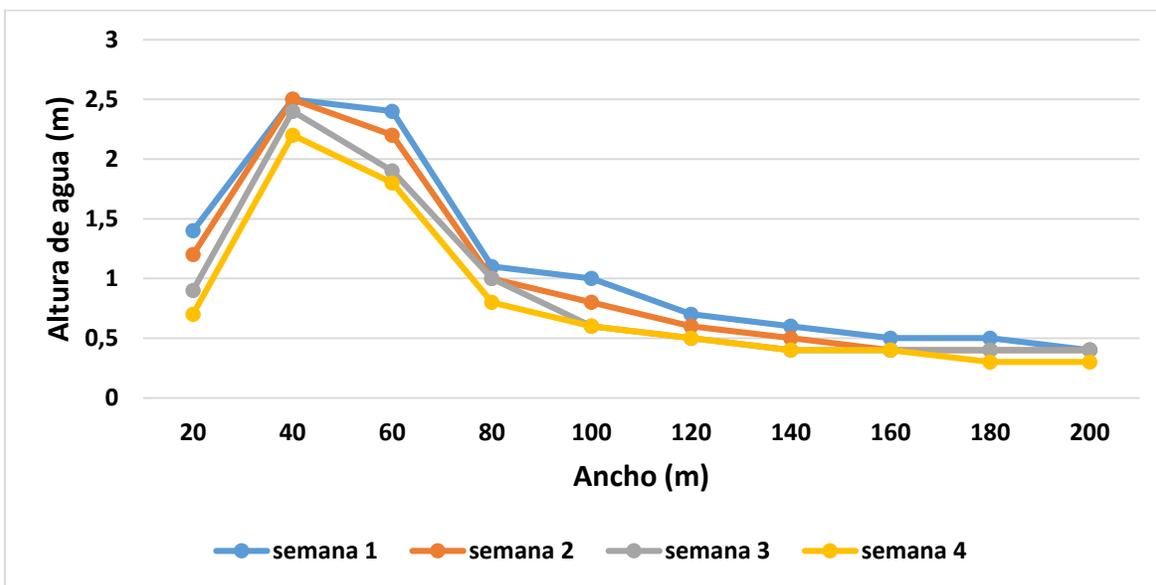


Figura 14. Perfiles Transversales. Noviembre. Puente Llacolén.

En el mes de Noviembre la tendencia de las profundidades fue un tanto parecida a la del mes de Octubre, la cual fue disminuyendo semana a semana, debido a las casi nulas precipitaciones que se presentaron en este periodo (Ver Figura 20). La mayor profundidad registrada en este periodo se obtiene en la semana 1 y 2, siendo de 2.5 metros, y la menor profundidad se registra en la semana 4, siendo de 0.3 metros. El tramo en que la altura de agua supera lo que se requiere para el calado característico de las embarcaciones, es de 50 metros de ancho aproximadamente.

Perfil transversal mes de Noviembre en Puente Juan Pablo II.

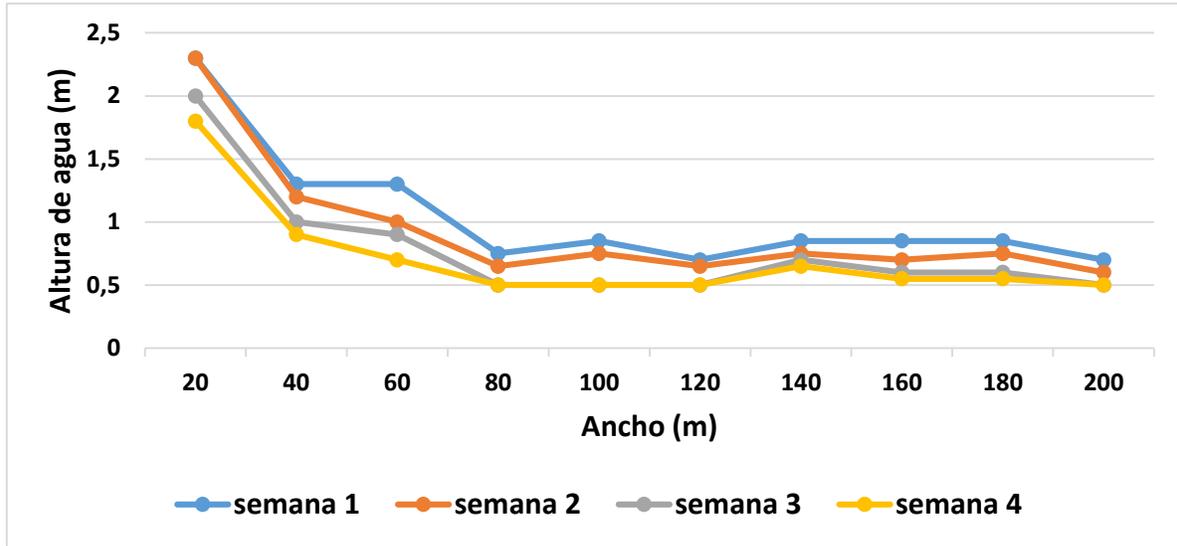


Figura 15. Perfiles transversales. Noviembre Puente Juan Pablo II.

En el mes de Noviembre la tendencia de las profundidades fue un tanto parecida a la del mes de Octubre, la cual fue disminuyendo, debido a las casi nulas precipitaciones que se presentaron en este mes. Así se puede observar en el gráfico que se muestra en la Figura 20. En la semana 1 en los primeros 50 metros de ancho aproximadamente, la altura de agua supera lo que se requiere para el calado de las embarcaciones de este proyecto, este tramo va disminuyendo semana a semana, en la semana 2 y 3 se acota a 40 metros de ancho aproximadamente y en la 4 el tramo es de aproximadamente 20 metro de ancho.

Precipitaciones mes de Noviembre. (Ver Anexo 3, tabla 3.3)

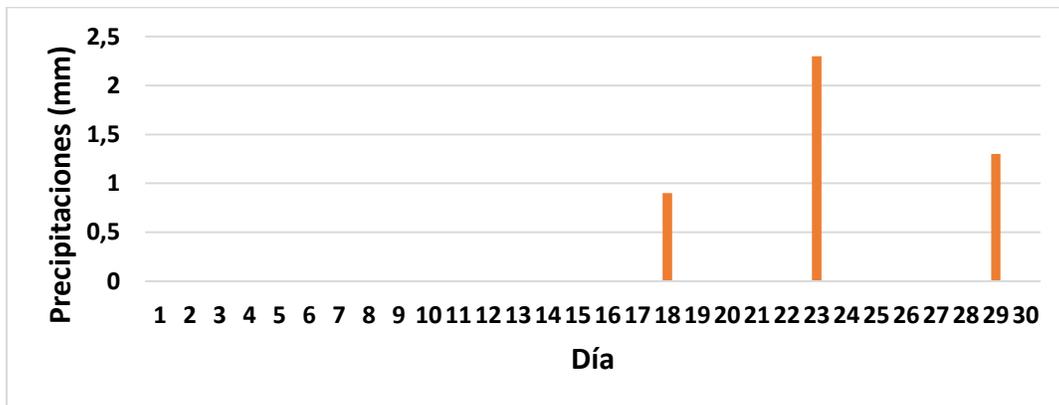


Figura 16 Gráfico de precipitaciones, mes de Noviembre.

Se registraron precipitaciones en solo 3 días de este mes, por lo que la precipitación media mensual de Noviembre fue de 0.15 milímetros, la mayor precipitación registrada ocurrió el día 23 y fue de 2.3 milímetros.

Perfil transversal mes de Diciembre en Puente Llacolén

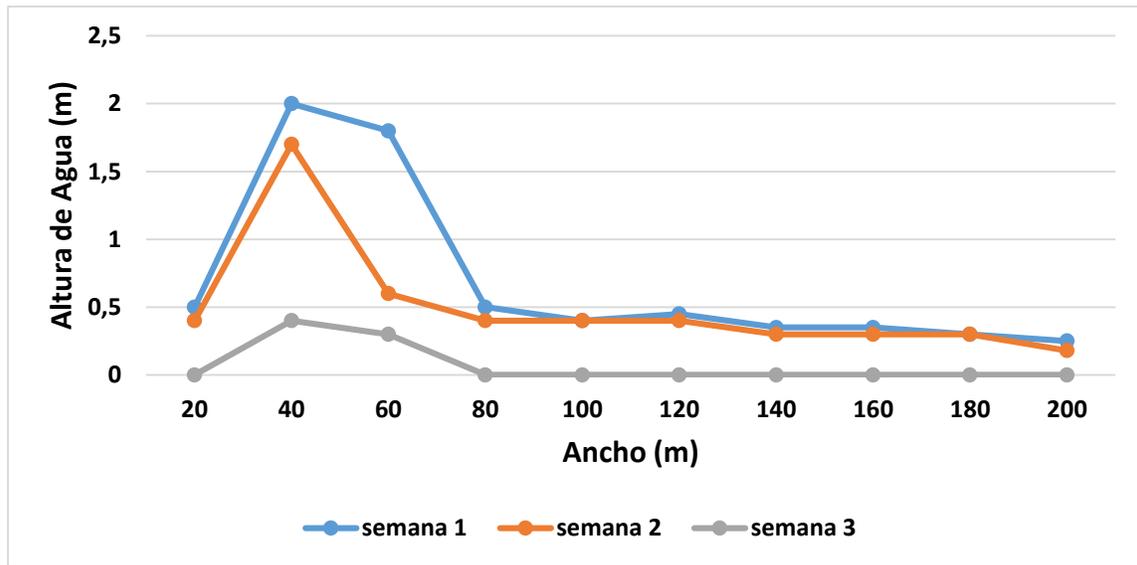


Figura 17. Perfiles transversales. Diciembre. Puente Llacolén.

En el mes de Diciembre las profundidades fueron disminuyendo semana a semana, pero en la tercera semana, las profundidades que arrojaron datos cero, es debido a la presencia de una gran Duna de arena que emergió sobre el nivel del río en la zona de medición (Ver Figura 40).

Perfil transversal mes de Diciembre en Puente Juan Pablo II.

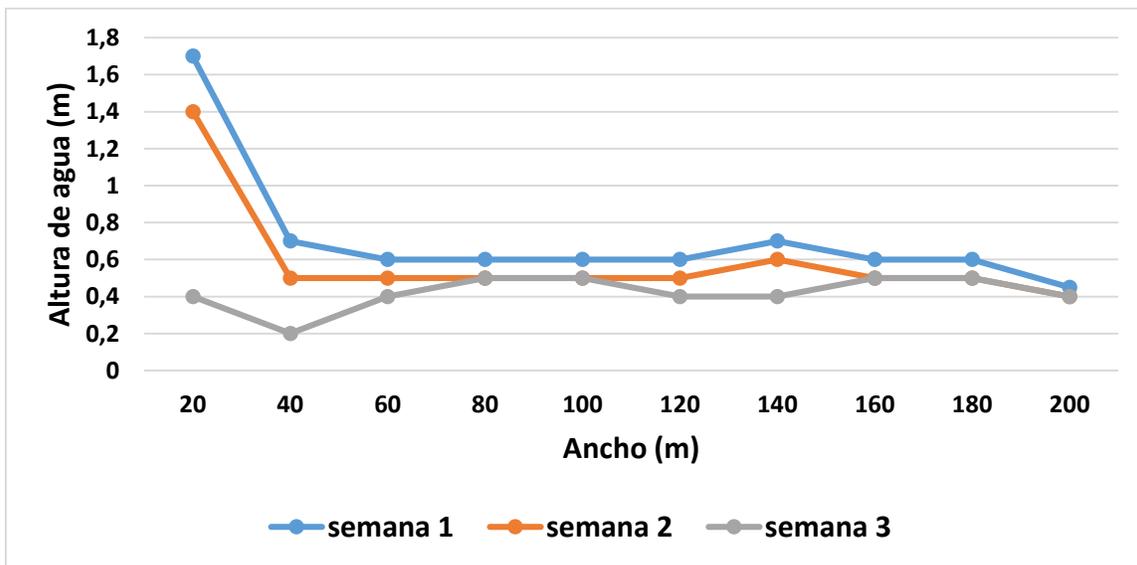


Figura 18. Perfiles transversales. Diciembre. Puente Juan Pablo II.

En el mes de Diciembre las profundidades más cercanas a la orilla, disminuyeron bastante, en cambio las profundidades medidas más hacia el sur disminuyeron o variaron muy poco. Esto se produce debido a que el cauce se acerca a la época de verano, donde los caudales y

profundidades disminuyen. En la primera semana el tramo en que la altura de agua supera lo requerido para el calado de embarcaciones es de aproximadamente 15 metros de ancho, luego en la semana 2 este se acota a aproximadamente 10 metros de ancho y en la semana 3 todas las profundidades están bajo lo que se requiere para el calado de las embarcaciones de este proyecto.

Precipitaciones mes de Diciembre. (Ver Anexo 3, tabla 3.3)

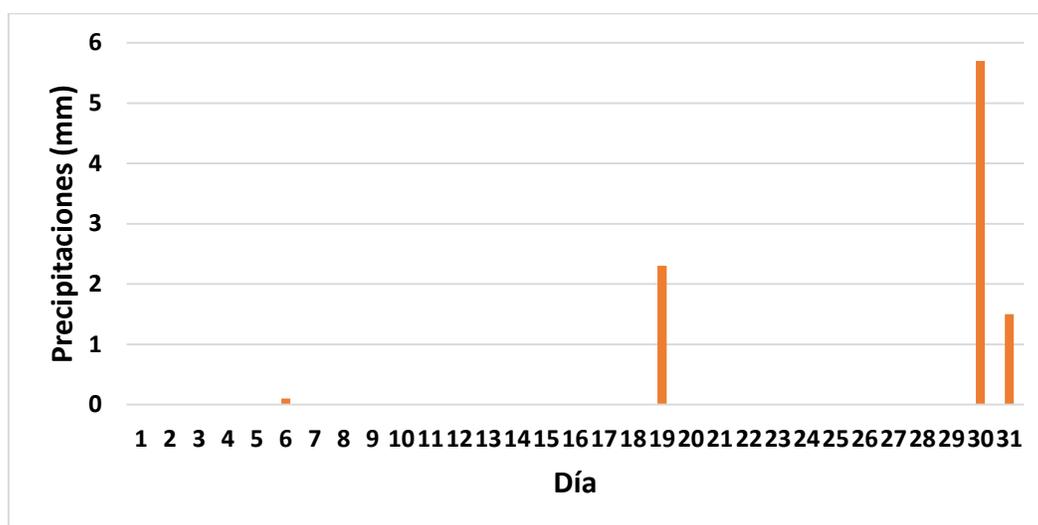


Figura 19 Gráfico de precipitaciones, mes de Diciembre.

Se registraron precipitaciones en solo 3 días de este mes, por lo que la precipitación media mensual de Diciembre fue de 0.31 milímetros, la mayor precipitación registrada ocurrió el día 29 y fue de 5.7 milímetros.

4.2.2. Profundidades Máximas registradas en cada puente semana a semana. (Ver Anexo 1)

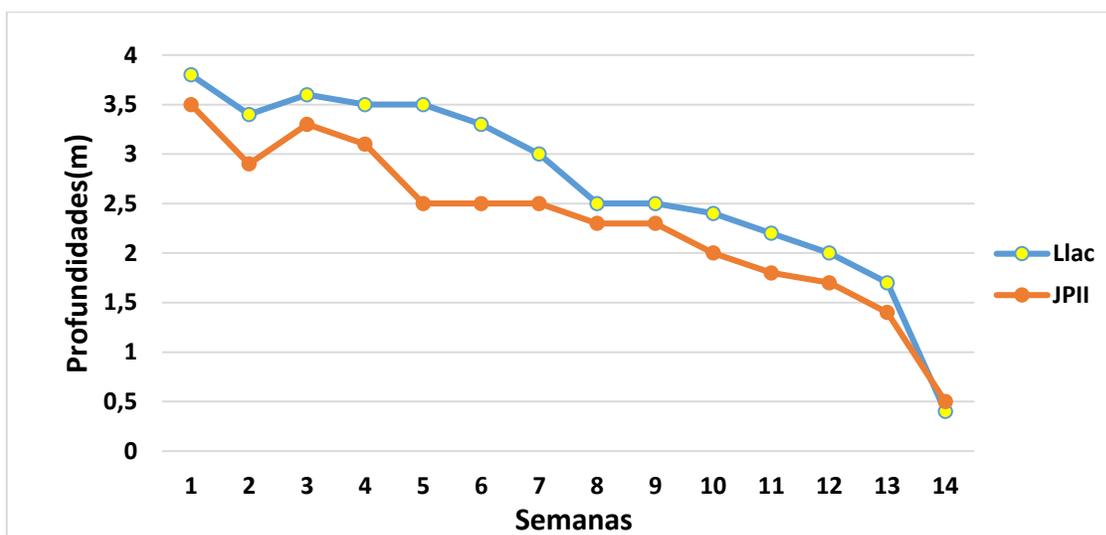


Figura 20. Gráfico de Profundidades Máximas semanales bajo cada puente.

Las profundidades máximas fueron disminuyendo semana a semana, salvo en la semana 3, esto se debe a las precipitaciones ocurridas en ese periodo. La curva de color azul, muestra las profundidades máximas bajo el Puente Llacolén, estas fueron registradas a los 40 metros desde la orilla de la Ribera norte.

La curva de color naranja, muestra las profundidades máximas bajo el Puente Juan Pablo II, estas fueron registradas a los 100 metros desde la orilla de la Ribera Norte.

Las profundidades máximas bajo el Puente Llacolén son un tanto mayores a las profundidades máximas bajo el Puente Juan Pablo II. Debido a esto se puede decir que en el tramo en estudio el Río Bío Bío presenta un lecho móvil, ya que sus características no tuvieron estabilidad ni permanencia y fueron cambiando en el tiempo.

La Siguiete tabla resume el ancho del tramo, en que se supera la altura de agua mínima requerida por las embarcaciones seleccionadas, semana a semana bajo cada puente.

Mes	Semana	Ancho Tramo Puente Llacolén (m)	Ancho Tramo Puente Juan Pablo II (m)
Septiembre	1	200	200
Septiembre	2	200	200
Septiembre	3	200	200
Octubre	4	200	200
Octubre	5	200	200
Octubre	6	100	200
Octubre	7	80	160
Noviembre	8	80	50
Noviembre	9	60	40
Noviembre	10	60	40
Noviembre	11	50	20
Diciembre	12	20	15
Diciembre	13	10	10
Diciembre	14	0	0

Tabla 2. Ancho del tramo de altura de agua mínima requerida.

En los meses de Septiembre y Octubre se puede implementar el sistema de embarcaciones en todo el ancho del tramo en estudio, en el mes de Noviembre se acota el ancho del tramo en estudio en que puede operar el sistema de embarcaciones y en el mes de Diciembre ya no es posible implementar el sistema de embarcaciones, debido a que no se logra tener una altura de agua mínima requerida para las embarcaciones.

4.3 Velocidades (Anexo 2, tabla 2.4) y Reynolds (Anexo 5, Tabla 5.3)

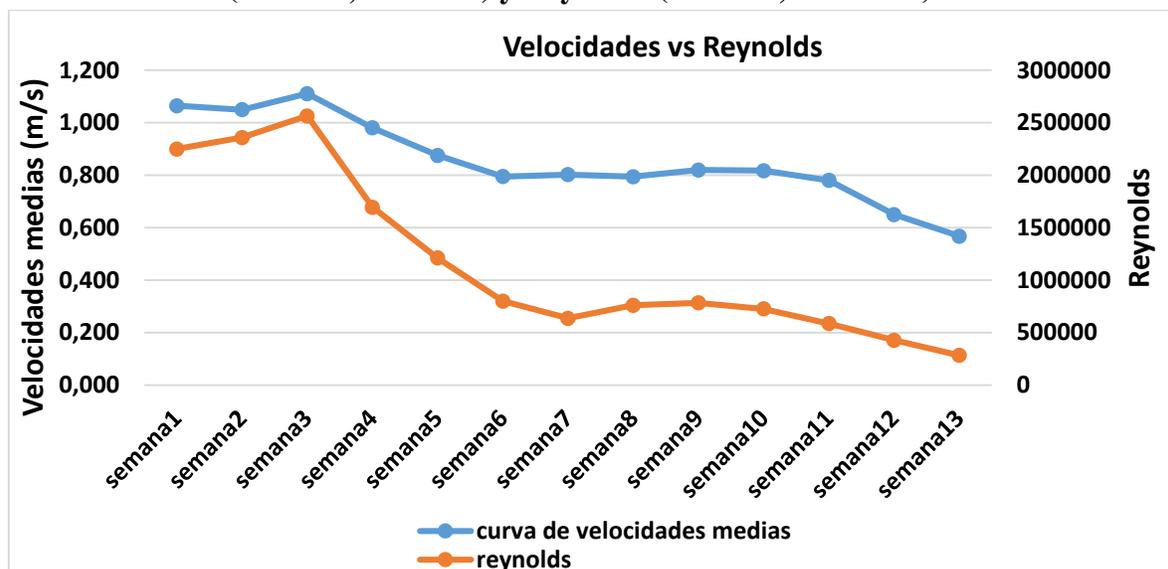


Figura 21. Curva de velocidades medias semanales vs Número de Reynolds.

La curva de velocidades tiene una tendencia a ir descendiendo semana a semana, salvo en la semana 3, donde la velocidad aumenta y es a la vez la mayor velocidad registrada, siendo de 1.11 m/s. Esto se debe a que el caudal aumentó esa semana, producto de las precipitaciones que ocurrieron en esa semana de medición, las cuales se incrementaron como se aprecia en la Figura 23.

En la última visita a terreno del día 20 de Diciembre, no se pudo realizar la medición de velocidades, debido a una Duna de arena que emergió sobre del el nivel del río, que impedía la medición (Ver Figura 36).

En cuanto a la curva del número de Reynolds, es coherente con la curva de velocidades, debido a que depende de la Velocidad del flujo. El Número de Reynolds fue disminuyendo semana a semana, pero fue siempre superior a 2000, por lo que el estado de flujo del cauce en la zona del proyecto, es turbulento en todo el periodo de estudio. (Ver Anexo 5, Tabla 5.2).

4.4 Caudales (Anexo 4).

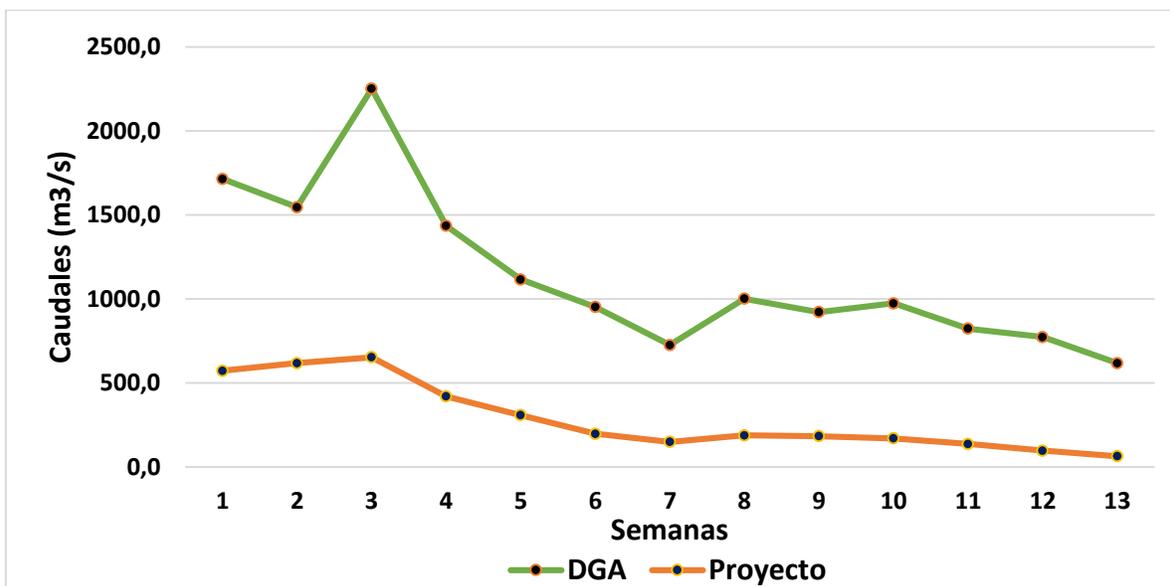


Figura 22. Comparación curva de caudales del proyecto y los registrados por la DGA.

La curva de los caudales semanales tiene una tendencia a ir disminuyendo semana a semana, salvo en la tercera semana donde se incrementa, esto es debido a las precipitaciones que se efectuaron esa semana, incrementándose en relación a las demás semanas. (Ver Figura 23). Los caudales obtenidos en este proyecto son menores a los registrados por la DGA en la estación Río Bío Bío en Desembocadura, esto es coherente, debido a que en el proyecto se trabajó solo con un tramo y no con todo el ancho del río.

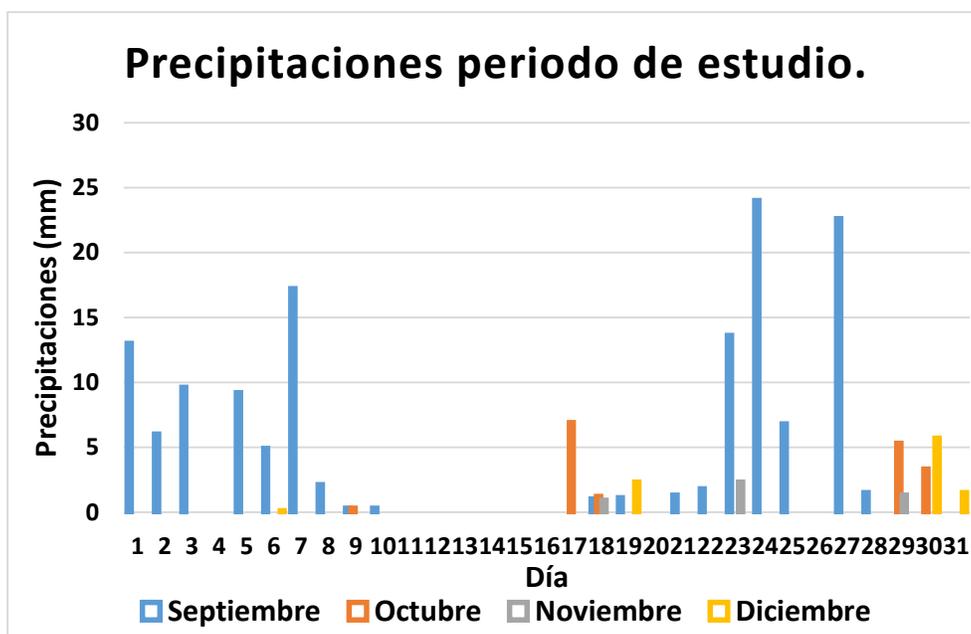


Figura 23. Gráfico de precipitaciones entre Septiembre y Diciembre.

En el mes de Septiembre las precipitaciones son altas en comparación a los otros meses del periodo en estudio. Se registran precipitaciones significativas en la primera y tercera semana de Septiembre, en tanto en Octubre las precipitaciones fueron bajas y poco continuas, al igual que en los meses de Noviembre y Diciembre.

4.5 Superficie lecho del río.

La superficie lecho del río fue variando mes a mes, por lo que a continuación se mostrarán fotografías tomadas en terreno semana a semana, durante el período de estudio.



Figura 24. Vista desde puente Llacolén. Septiembre.



Figura 25 Vista desde puente Juan P. II. Septiembre.



Figura 26 Duna de arena emergiendo sobre el nivel del río, cercano al nivel del puente Llacolén.
Distancia entre duna de arena y orilla: 40 metros aproximadamente. Octubre.



Figura 27 Vista desde puente Juan P.II. Octubre.



Figura 28 Duna de arena emergiendo sobre el nivel del río, cercano al puente Llacolén. Noviembre.



Figura 29. Dunas de arena emergiendo entre Puente Ferroviario y puente Juan Pablo II. Distancia entre Duna de arena y orilla del cauce: 15 metros aproximadamente.



Figura 30 Duna de arena cercana al puente Llacolén. Diciembre.



Figura 31 Separación entre Duna de arena y la orilla: 20 metros aproximadamente. (Cercano Puente Llacolén). Diciembre.



Figura 32 Dunas de arena entre puente Ferroviario y puente Juan Pablo II. Diciembre.



*Figura 33 Vista desde puente Juan P.II.
Distancia entre Duna de arena y orilla del cauce: 15 metros aproximadamente. Diciembre.*

4.5.1 Análisis de la superficie lecho del río:

Septiembre: Se puede observar en las imágenes anteriores que en este mes, el cauce del Río en el tramo de estudio escurre a sección llena.

Octubre: En las imágenes de este mes se puede observar que cercano al puente Llacolén comienza a aparecer una duna de arena y se comienza a ver vegetación a la orilla, por lo que la sección de agua disminuye en el tramo entre el Puente Llacolén y el Puente Ferroviario. En el tramo entre el Puente Ferroviario y el Puente Juan Pablo II el cauce del río escurre a sección llena.

Noviembre: en este mes la duna cercana al puente Llacolén aumentó un poco de tamaño pero su distancia con la orilla de la ribera norte se mantuvo igual que en el mes de Octubre. En el tramo entre el puente ferroviario y el puente Juan Pablo II, comienzan a aparecer Dunas de arena, lo que disminuye la sección de agua en este tramo y la distancia más crítica entre la Duna y la orilla de la ribera norte es de aproximadamente 15 metros.

Diciembre: en este mes se puede observar que la Duna de arena cercana al Puente Llacolén aumentó su tamaño considerablemente, por lo que su distancia con la orilla de la ribera norte

disminuyó a aproximadamente 20 metros. En el tramo entre el Puente Ferroviario y el Puente Juan Pablo II, las Dunas de arena aumentaron su tamaño, pero más hacia la ribera sur, por lo que la distancia de estas con respecto a la orilla de la ribera norte se mantuvo, y la más crítica se mantuvo en 15 metros.

Según la geometría observada del tramo en estudio, se puede notar que el río es del tipo Braide o Trenzado, ya que en la época de crecidas el agua cubre todo el cauce y se produce un arrastre de sedimentos que una vez que los caudales disminuyen, al acercarnos a una época de estiaje, se forman nuevos cauces entrelazados, debido a que estos sedimentos se depositan en el lecho y forman grandes dunas de arena.

4.6 Estimación del lecho del río en la zona del proyecto.



Figura 34 Zona de posible navegación: Zona amarilla. Septiembre.



Figura 35. Zona de posible navegación: Zona amarilla. Octubre.



Figura 36.. Zona de posible navegación: Zona amarilla. Noviembre.



Figura 37. Zona de posible navegación: Zona amarilla. Diciembre.

En el mes de Septiembre el cauce del Río escurre a sección llena, por lo que la ruta de navegación es todo el tramo en estudio. En el mes de Octubre se acota un poco la sección del cauce del río en el tramo entre el Puente Llacolén y el Puente Ferroviario, por lo que la ruta de navegación disminuye en ese tramo y en el tramo entre el puente Ferroviario y el Puente Juan Pablo II se mantiene igual que en Septiembre. En el mes de Noviembre, debido a la aparición de Dunas de arena, la ruta de navegación se estrecha considerablemente en comparación al mes de Octubre. Y en el mes de Diciembre debido al aumento de tamaño de las Dunas de arena, el tramo en estudio se estrecha en toda su longitud.

4.7. Análisis de las Series de Caudales Medios Mensuales.

En la prueba de datos dudosos, sólo un dato estaba fuera de los límites que arrojó esta prueba, este dato era el menor caudal medio mensual de la serie en análisis cuyo valor es 51.96 m³/s. Debido a que el límite inferior de esta prueba es 64.57 m³/s, se estimó no eliminar el dato dudoso ya que es el menor caudal de la serie de registros y no está muy lejano del límite inferior, esto es de acuerdo a que se necesitan los datos mas desfavorables y este dato dudoso es el registro medio mensual mas desfavorable de la serie, para así estimar de mejor manera una probabilidad de ocurrencia.

Del análisis de frecuencia, se observó que la distribución que mas se ajustó fue la Distribución de probabilidad Log Normal, además fue la única que no fue rechazada en los test Chi-Cuadrado y Kolmogorov – Smirnov. (Ver Anexo 9, Tabla 9.6)

Tabla 3. Analisis de frecuencia. Distribución Log Normal.

T	Pexc	Pnoexc (F(x))	Q
2	0,5	0,5	233,58
5	0,2	0,8	346,76
10	0,1	0,9	426,31
20	0,05	0,95	505,59
25	0,04	0,96	531,35
50	0,02	0,98	612,59
100	0,01	0,99	696,23
200	0,005	0,995	782,74
300	0,003	0,997	834,82

Fuente: Propia.

T: Periodo de Retorno

Pexc: Probabilidad de Excedencia.

Pnoexc: Probabilidad de no Excedencia.

Q: Caudal en m³/s.

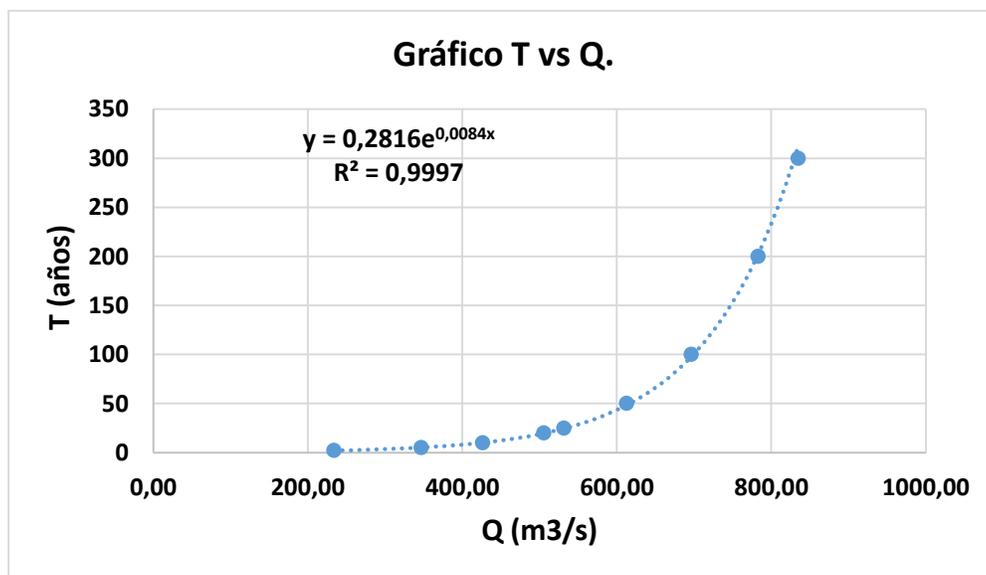


Figura 38. Gráfico de Periodo de retorno vs caudal obtenidos en la tabla 5.

Ecuación curva gráfico: $y = 0.2816e^{0,0084x}$

Debido a que este proyecto se desarrolló en meses correspondientes al año 2014, se calculará la probabilidad de ocurrencia del mínimo caudal medio mensual de este año, el cual es de 541.731.

Reemplazando este valor de 541.731 en la ecuación de la curva del gráfico, se obtiene un periodo de retorno de:

T= 27 años

Sabemos que la probabilidad de ocurrencia es:

$$P=1/T$$

Por lo tanto la probabilidad de ocurrencia del caudal mínimo medio mensual del año 2014 es de 3,75%. Esto quiere decir que existe un 96,25% de probabilidades de que los caudales sean mayores a los del año 2014, lo que favorecería las condiciones de la zona del proyecto, ya que se tendría mayor calado, debido a que la altura de agua es directamente proporcional al caudal.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados y análisis presentados en el capítulo anterior y basándose además en los objetivos propuestos dentro de la investigación de este proyecto, se determinaron las siguientes conclusiones.

Se observa que las mediciones obtenidas de velocidades y profundidades, fueron disminuyendo a medida que las precipitaciones disminuían y a medida que nos vamos acercando a la época de estiaje del Río.

Bajo el Puente Llacolén, la altura mas profunda de agua de cada semana de medición, se encuentra a los 40 metros de ancho desde la orilla y bajo el Puente Juan Pablo II, la altura mas profunda de agua de cada semana de medición, se encuentra a los 100 metros de ancho desde la orilla.

El estado de flujo fue turbulento en todas las semanas en que se desarrolló el proyecto, esto es practicamente normal en flujos de canales abiertos, debido a que las partículas del flujo se mueven en recoridos irregulares.

Se observa una variación coherente entre los caudales del proyecto y los de la estación fluviométricas mas cercana a la zona de estudio, debido a que se trabajó en este proyecto con un tramo del Río y no con todo su ancho.

La zona de mayor profundidad se registra entre los meses de Septiembre y Noviembre, que es donde se superan los 90 centímetros de altura de agua mínima requerida para implementar el sistema de embarcaciones. Por lo que el sistema de embarcaciones puede operar en los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, en donde como mínimo existen 40 metros de ancho en que la altura de agua supera lo que se requiere para el calado de las embarcaciones.

CAPÍTULO VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

1. Dirección general de aguas (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad.
2. Melo Monsalve, Francisco Javier (2009). Validación de las curvas de descarga de las estaciones hidrométricas de la Región del Bío Bío. Aplicada a la cuenca del Río Bío Bío.
3. De la Fuente Vera, Felix (2006). Análisis de la influencia de embalses en el régimen de crecidas del Río Bío Bío.
4. Dirección general de aguas (2008). Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del Río Bío Bío.
5. Barrera Alarcón, Laura Ester (2012). Diagnóstico de la calidad ambiental del estero Piduco.
6. Cáceres Cifuentes, Carlos (2008). Diseño y reconversión de espacios públicos desde la óptica medio ambiental.
7. Estudio hidrológico cuencas Bío Bío e Itata. Tomo III (DGA-Dep-Aquaterra Ingenieros Ltda. Diciembre 2011-SIT-258)
8. Hidraulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow 1994.
9. Parra, O., y Valdovinos, C (2006) La cuenca del Río Bío Bío: Historia natural de un ecosistema de uso múltiple. Concepción. Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad De Concepción.
10. Alex Dan Rodrigo García Lancaster. Respuesta de los peces nativos a fluctuaciones de caudal producidas por la operación de Centrales Hidroeléctricas en el Río Bío Bío. Noviembre 2011. EULA.
11. Dawson y Charlton (1988). River and Stream Ecosystems of the World.
12. Hidrología. Luis Santa Oyarzo-Sergio Quijada Vera. 2007.
13. Mecánica de Fluidos e Hidráulica. Schaum.

CAPÍTULO VII. ANEXOS.

ANEXO 1: Lectura de profundidades.

Tabla 1.1. Profundidades en el puente Llacolén, medidas cada 20 metros de norte a sur.

Fecha	Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07-sep	profundidad (m)	3,2	3,8	3,6	3	3,4	3,4	2,6	1,8	2,5	2,1
12-sep	profundidad (m)	1,7	3,4	3,4	3	3,1	3,4	2,4	1,5	2,5	2,5
26-sep	profundidad (m)	2,8	3,6	3,4	2,8	3,3	3,4	2,5	1,8	2,7	2,7
02-oct	profundidad (m)	2,5	3,5	3	2,5	1,9	1,8	1,9	1,5	1,5	1,3
10-oct	profundidad (m)	2	3,5	2,5	2,1	1,9	1,4	1,2	1	1,1	0,9
18-oct	profundidad (m)	1,5	3,3	2,5	1,45	1,5	0,9	0,7	0,5	0,5	0,5
28-Oct	profundidad (m)	1,4	3	2,4	1,3	1,1	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4
06-nov-14	profundidad (m)	1,4	2,5	2,4	1,1	1	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
13-nov	profundidad (m)	1,2	2,5	2,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
20-nov	profundidad (m)	0,9	2,4	1,9	1	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
27-nov	profundidad (m)	0,7	2,2	1,8	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
06-dic-14	profundidad (m)	0,5	2	1,8	0,5	0,4	0,45	0,35	0,35	0,3	0,25
13-dic-14	profundidad (m)	0,4	1,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,18
20-dic-14	Profundidad (m)	0	0,4	0,3	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Propia

Tabla 1.2. Profundidades en el puente Juan Pablo II, medidas cada 20 metros de norte a sur.

Fecha	Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
07-sep	profundidad (m)	2,5	2,6	2,1	3,3	3,5	3	3,1	2,6	2,5	1,9
12-sep	profundidad (m)	2	2,3	1,7	2,7	2,9	2,4	2,4	2	1,8	1,4
26-sep	profundidad (m)	2,5	2,3	1,9	3	3,2	2,8	2,7	2,2	2,3	1,6
02-oct	profundidad (m)	2,5	2,3	2	3	3,3	3	2,6	2	2,3	1,7
10-oct	profundidad (m)	2,5	2	1,6	2,3	2,4	2,1	2	1,6	1,9	1,4
18-oct	profundidad (m)	2,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,75	0,9	1,1	1,3	0,9
28-10-2014	profundidad (m)	2,5	1,3	1,1	1	1,3	1,5	0,9	0,9	1	0,7
06-nov-14	profundidad (m)	2,3	1,3	1,3	0,75	0,85	0,7	0,85	0,85	0,85	0,7
14-nov-14	profundidad (m)	2,3	1,2	1	0,65	0,75	0,65	0,75	0,7	0,75	0,6
20-nov-14	profundidad (m)	2	1	0,9	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	0,5
27-nov-14	profundidad (m)	1,8	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5	0,65	0,55	0,55	0,5
06-dic-14	profundidad (m)	1,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,45
13-dic-14	profundidad (m)	1,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4
20-dic-14	profundidad (m)	0,4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4

Fuente: Propia.

Tabla 1.3. Profundidades medias puente Llacolén.

Clima	Fecha	Profundidad media (m)
Lluvia	07-sep	2,94
Sol	12-sep	2,69
Sol	26-sep	2,9
nublado	02-oct	2,14
nublado	10-oct	1,76
Sol	18-oct	1,34
nublado	28-oct	1,2
Sol	06-nov	1,11
Sol	14-nov	1
Sol	20-nov	0,89
Sol	27-nov	0,8
Sol	06-dic	0,69
Sol	13-dic	0,5

Fuente: Propia.

Tabla 1.4. Profundidades medias puente Juan Pablo II.

Clima	Fecha	Profundidad media (m)
Lluvia	07-sep	2,71
Sol	12-sep	2,16
Sol	26-sep	2,45
nublado	02-oct	2,47
nublado	10-oct	1,98
Sol	18-oct	1,43
nublado	28-oct	1,22
Sol	06-nov	1,05
Sol	14-nov	0,94
Sol	20-nov	0,78
Sol	27-nov	0,71
Sol	06-dic	0,72
Sol	13-dic	0,59

Fuente: Propia.

Anexo 2: Velocidades.

Tabla 2.1. Velocidades en el punto 1 (20 metros de norte a sur en el puente Llacolén)

Clima	Fecha	distancia (m)	tiempo (min, seg, cent)	tiempo (s)	velocidad (m/s)
lluvia	07-sep	100	2:03:91	123,91	0,807
sol	12-sep	100	2:32:41	152,41	0,656
sol	26-sep	100	1:58:54	118,54	0,844
nublado	02-oct	100	2:20:15	140,15	0,714
nublado	10-oct	100	2:27:78	147,78	0,677
sol	18-oct	100	2:40:45	160,45	0,623
nublado	28-oct	100	2:18:32	138,32	0,723
sol	06-nov	100	2:49:78	169,78	0,589
Sol	14-nov	100	2:41:51	161,51	0619
Sol	20-nov	100	2:15:22	135,22	0,740
Sol	27-nov	100	2:23:12	143,12	0,699
Sol	06-dic	100	2:56:26	176,26	0,567
Sol	13-dic	100	3:09:16	189,16	0,529

Fuente: Propia.

Tabla 2.2. Velocidades en el punto 2 (40 metros de norte a sur en el puente Llacolén)

Clima	fecha	distancia (m)	tiempo (min, seg, cent)	tiempo (s)	velocidad (m/s)
lluvia	07-sep	100	1:35:14	95,14	1,051
Sol	12-sep	100	1:30:13	90,13	1,110
Sol	26-sep	100	1:46:15	106,15	0,942
nublado	02-oct	100	2:04:11	124,11	0,806
nublado	10-oct	100	2:09:29	129,29	0,773
Sol	18-oct	100	2:16:05	136,05	0,735
nublado	28-oct	100	2:05:13	125,13	0,799
Sol	06-nov	100	1:50:13	110,13	0,908
Sol	14-nov	100	1:47:36	107,36	0,931
Sol	20-nov	100	2:00:78	120,78	0,828
Sol	27-nov	100	2:06:09	126,09	0,793
Sol	06-dic	100	2:40:12	160,12	0,625
Sol	13-dic	100	2:55:10	175,1	0,571

Fuente: Propia.

Tabla 2.3 Velocidades en el punto 3 (80 metros de norte a sur en el puente Llacolén)

Clima	Fecha	distancia (m)	tiempo (min, seg, cent)	tiempo (s)	velocidad (m/s)
Lluvia	07-sep	100	1:14:85	74,85	1,336
Sol	12-sep	100	1:12:26	72,26	1,384
Sol	26-sep	100	1:04:65	64,65	1,547
nublado	02-oct	100	1:10:32	70,32	1,422
nublado	10-oct	100	1:24:96	84,96	1,177
Sol	18-oct	100	1:37:40	97,4	1,027
nublado	28-oct	100	1:53:01	113,01	0,885
Sol	06-nov	100	1:52:86	112,86	0,886
Sol	14-nov	100	1:49:98	109,98	0,909
Sol	20-nov	100	1:53:13	113,13	0,884
Sol	27-nov	100	1:57:78	117,78	0,849
Sol	06-dic	100	2:12:07	132,07	0,757
Sol	13-dic	100	2:46:11	166,11	0,602

Fuente: Propia.

Tabla 2.4. Velocidades medias de los 3 puntos anteriores.

Clima	Fecha	distancia (m)	Velocidad media (m/s)
Lluvia	07-sep	100	1,065
Sol	12-sep	100	1,050
Sol	26-sep	100	1,111
nublado	02-oct	100	0,980
nublado	10-oct	100	0,876
Sol	18-oct	100	0,795
nublado	28-oct	100	0,802
Sol	06-nov	100	0,794
Sol	14-nov	100	0,819
Sol	20-nov	100	0,817
Sol	27-nov	100	0,780
Sol	06-dic	100	0,650
Sol	13-dic	100	0,567

Fuente: Propia.

ANEXO 3: PRECIPITACIONES EN CONCEPCIÓN DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO DEL PROYECTO.

Tabla 3.1 Precipitaciones y temperaturas mes de Septiembre

Día	Precipitaciones (mm)	Temperatura máx. (° C)	Temperatura mín. (° C)
Lunes 01-09-2014	13	15	12
Martes 02-09-2014	6	14	12
Miércoles 03-09-2014	9,6	15	10
Jueves 04-09-2014	0	15	8
Viernes 05-09-2014	9,2	14	10
Sábado 06-09-2014	4,9	15	10
Domingo 07-09-2014	17,2	14	12
Lunes 08-09-2014	2,1	14	5
Martes 09-09-2014	0,3	14	3
Miércoles 10-09-2014	0,3	15	7
Jueves 11-09-2014	0	17	4
Viernes 12-09-2014	0	16	4
Sábado 13-09-2014	0	16	3
Domingo 14-09-2014	0	15	8
Lunes 15-09-2014	0	19	7
Martes 16-09-2014	0	17	8
Miércoles 17-09-2014	0	16	6
Jueves 18-09-2014	1	12	8
Viernes 19-09-2014	1,1	15	10
Sábado 20-09-2014	0	17	12
Domingo 21-09-2014	1,3	15	8
Lunes 22-09-2014	1,8	14	7
Martes 23-09-2014	13,6	15	6
Miércoles 24-09-2014	24	14	10
Jueves 25-09-2014	6,8	13	6
Viernes 26-09-2014	0	14	4
Sábado 27-09-2014	22,6	13	10
Domingo 28-09-2014	1,5	15	9
Lunes 29-09-2014	0	16	7
Martes 30-09-2014	0	17	5

Fuente: Accuweather.

Tabla 3.2. Precipitaciones y temperaturas mes de Octubre.

Día	Precipitaciones (mm)	Temperatura máx. (° C)	Temperatura mín. (° C)
miércoles 01-10-2014	0	19	8
jueves 02-10-2014	0	16	10
viernes 03-10-2014	0	17	11
sábado 04-10-2014	0	17	8
domingo 05-10-2014	0	18	10
lunes 06-10-2014	0	19	8
martes 07-10-2014	0	19	8
miércoles 08-10-2014	0	16	7
jueves 09-10-2014	0,3	16	5
viernes 10-10-2014	0	18	5
sábado 11-10-2014	0	18	6
domingo 12-10-2014	0	22	7
lunes 13-10-2014	0	21	8
martes 14-10-2014	0	21	10
miércoles 15-10-2014	0	16	9
jueves 16-10-2014	0	18	10
viernes 17-10-2014	6,9	15	8
sábado 18-10-2014	1,2	17	8
domingo 19-10-2014	0	18	7
lunes 20-10-2014	0	21	11
martes 21-10-2014	0	19	13
miércoles 22-10-2014	0	22	12
jueves 23-10-2014	0	22	10
viernes 24-10-2014	0	21	10
sábado 25-10-2014	0	22	11
domingo 26-10-2014	0	18	11
lunes 27-10-2014	0	19	13
martes 28-10-2014	0	19	13
miércoles 29-10-2014	5,3	16	7
jueves 30-10-2014	3,3	17	7
viernes 31-10-2014	0	18	6

Fuente: Accuweather.

Tabla 3.3. Precipitaciones y temperaturas mes de Noviembre.

Día	Precipitaciones (mm)	Temperatura máx. (° C)	Temperatura mín. (° C)
sábado 01-11-2014	0	17	5
domingo 02-11-2014	0	17	4
lunes 03-11-2014	0	18	6
martes 04-11-2014	0	17	7
miércoles 05-11-2014	0	19	7
jueves 06-11-2014	0	20	8
viernes 07-11-2014	0	19	9
sábado 08-11-2014	0	21	9
domingo 09-11-2014	0	20	10
lunes 10-11-2014	0	20	12
martes 11-11-2014	0	21	9
miércoles 12-11-2014	0	22	9
jueves 13-11-2014	0	23	7
viernes 14-11-2014	0	22	10
sábado 15-11-2014	0	23	9
domingo 16-11-2014	0	23	10
lunes 17-11-2014	0	18	12
martes 18-11-2014	0,9	18	10
miércoles 19-11-2014	0	18	7
jueves 20-11-2014	0	20	7
viernes 21-11-2014	0	21	8
sábado 22-11-2014	0	19	9
domingo 23-11-2014	2,3	18	10
lunes 24-11-2014	0	20	7
martes 25-11-2014	0	22	6
miércoles 26-11-2014	0	20	9
jueves 27-11-2014	0	17	10
viernes 28-11-2014	0	19	7
sábado 29-11-2014	1,3	19	10
domingo 30-11-2014	0	21	6

Fuente: Accuweather.

Tabla 3.4. Precipitaciones y temperaturas mes de Diciembre.

Día	Precipitaciones (mm)	Temperatura máx. (° C)	Temperatura mín. (° C)
lunes 01-12-2014	0	23	8
martes 02-12-2014	0	24	10
miércoles 03-12-2014	0	25	9
jueves 04-12-2014	0	23	11
viernes 05-12-2014	0	19	13
sábado 06-12-2014	0,1	19	11
domingo 07-12-2014	0	24	10
lunes 08-12-2014	0	24	12
martes 09-12-2014	0	24	10
miércoles 10-12-2014	0	18	9
jueves 11-12-2014	0	22	6
viernes 12-12-2014	0	21	9
sábado 13-12-2014	0	23	9
domingo 14-12-2014	0	18	9
lunes 15-12-2014	0	19	9
martes 16-12-2014	0	21	11
miércoles 17-12-2014	0	23	11
jueves 18-12-2014	0	24	11
viernes 19-12-2014	2,3	20	10
sábado 20-12-2014	0	19	8
domingo 21-12-2014	1	19	9
lunes 22-12-2014	0	21	10
martes 23-12-2014	0	22	7
miércoles 24-12-2014	0	22	11
jueves 25-12-2014	0	22	11
viernes 26-12-2014	0	23	12
sábado 27-12-2014	0	24	14
domingo 28-12-2014	0	23	15
lunes 29-12-2014	0	27	14
martes 30-12-2014	5,7	23	13
miércoles 31-12-2014	1,5	23	14

Fuente: Accuweather.

ANEXO 4: Caudales obtenidos en el periodo de la investigación.

Tabla 4.1. Caudales semanales Proyecto.

	a(m)	200	
h (m)	v (m/s)	Q (m3/s)	
2,69	1,06	572,81	semana 1
2,94	1,05	618,24	semana 2
2,94	1,11	653,16	semana 3
2,14	0,98	419,63	semana 4
1,76	0,88	308,25	semana 5
1,25	0,79	197,95	semana 6
0,93	0,80	149,23	semana 7
1,19	0,79	188,26	semana 8
1,12	1,06	183,68	semana 9
1,04	0,82	169,97	semana 10
0,88	0,78	137,33	semana 11
0,75	0,65	97,45	semana 12
0,57	0,57	64,44	semana 13

Fuente: Propia

h: profundidad en metros.

a: ancho del tramo en estudio.

v: velocidad media en metros por segundos.

Q: caudal en metros cúbicos por segundo.

Tabla 4.2. Caudales DGA registrados en estacion Bío Bío en Desembocadura en los mismos días del proyecto.

Semana	Q (m3/s)
semana 1	1713,9
semana 2	1546,1
semana 3	2251,2
semana 4	1435,1
semana 5	1116,4
semana 6	953
semana 7	726
semana 8	1001,8
semana 9	922
semana 10	974
semana 11	823
semana 12	773
semana 13	618

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS

PAGINA

1

FECHA EMISION INFORME

03/06/2015

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)

PERIODO: 1970 - 2014

Estación : RIO BIOBIO EN
DESEMBOCADURA

Código
BNA: 08394001-8

Latitud S : 36 50 00

Longitud W

: 73 03 00

UTM Norte : 5921211 mts

Altitud : 16 msnm

UTM Este : 672821 mts

Cuenca : Rio Bio-Bio

SubCuenca : Rio Bio-Bio Bajo (Entre Rio Laja y Desembocadura)

Área de Drenaje: 0 km2

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970									855,29	998,03	857,73	776,48
1971	421,26	400,61	212,55	239,2	1.037,00	960,8	2.261,29	1.852,23	1.213,40	1.090,84	917,13	724,48
1972	403,16	268,79	258,77	284,07	2.106,65	2.805,47	1.488,90	3.052,97	1.699,93	1.657,00	1.490,63	804,32
1973	384,19	240,57	217,39	229,87	709,74	1.194,20	2.112,62					475,96
1974	379,97	250,25	229,16	250,53	568,65	1.843,23	1.245,19	1.287,97	1.032,67	1.024,94	786,07	540,26
1975	244,19	328,18	228,68	473,57	1.180,48	2.003,73	2.070,74	1.092,97	858,67	1.006,77	1.245,90	830,61
1976	376,97	239,03	222	240,5	314,07	1.680,67	927,52	932,45	842,13	1.512,04	983,7	1.356,45
1977	734,93	452										
1982		253,25	232,16	270,1	836	1.903,67	3.298,19	1.761,90	2.342,97	1.525,00	1.554,77	1.104,90
1983	572,55	319,79	209,13	388,87	824,13	1.851,70	1.674,55	1.461,58	1.281,10	1.365,65	1.139,33	475,58
1984	256,32	233,45	252,84	301,4	1.782,74	1.450,83	3.251,32	1.236,61	1.631,70	2.181,36	1.942,90	1.205,71
1985	663	347,79	305,39	597,23	1.530,45	1.757,50	2.329,61	962,03	1.037,93	1.023,94	1.045,47	423,9
1986	240,42	226,61	322,13	693,3	1.871,19	3.497,63	1.116,10	1.915,19	1.193,70	1.126,87	1.159,23	1.010,74
1987	311,07	236,18	273,94	375,83	595,32	1.284,43	2.531,26	2.296,36	1.376,30	1.387,00	886,53	355,13
1988	258,87	217,14	268	298,47	480,16	899,1	1.329,84	1.995,74	1.177,87	1.014,23	920,17	546,52

1989	303,29	221,93	215,71	242,07	254,61	1.043,73	1.360,81	1.739,16	1.330,53	993,97	597,23	797,97
1990	314,55	191,18	252,74	636,97	857,23	1.214,40	1.098,03	1.742,42	1.927,83	961,16	552,6	247,36
1991	108,23	64,81	124,37	433,17	2.241,90	1.713,27	2.126,65	1.145,00	1.258,67	929,77	665	600,84
1992	339,29	178,38	304	390,07	2.578,07	3.573,77	1.728,42	1.065,10	1.304,57	1.215,23	1.131,20	753,61
1993	369,26	193,96	191,07	505,37	2.051,55	3.239,43	2.898,26	1.820,16	1.391,00	906,58	908,03	989,52
1994	377,71	293,46	209,48	434,77	774,29	1.912,47	2.593,42	1.290,74	1.629,37	1.735,81	853,5	772,65
1995	316,58	216,54	252,97	413,53	491,55	1.646,90	2.178,58	1.928,65	1.805,53	1.333,52	1.010,17	472,77
1996	297,26	232,48	265,23	502,87	569,65	1.074,73	772,23	1.009,84	783,87	568,77	402,9	257,39
1997	220,29	219,61	190,07	685,2	1.368,32	3.283,75	2.082,74	2.213,42	2.209,80	1.755,58	1.571,30	888,46
1998	383,87	223,57	244,94	368,3	481,94	621	889,19	847,26	717,1	494,1	313,33	137,8
1999	114,62	96,5	85,97	51,96	383,81	1.113,27	1.082,94	1.526,90	2.403,50	1.104,61	701,83	273,26
2000	297,77	322,9	207,45	200,9	268,13	2.204,47	2.375,36	1.460,55	1.917,63	1.330,84	867,97	694,36
2001	419,94	216,21	221,39	280,27	1.767,23	2.348,70	4.374,36	2.403,42	1.442,10	938	639,2	334,16
2002	128	136,61	565,67	422,77	860,16	1.708,80	1.381,16	2.874,94	2.103,13	2.980,07	1.707,70	965,07
2003	370,77	292,79	289,68	326,93	404,32	2.617,17	1.917,58	1.130,97	1.296,73	1.276,55	847,17	623,84
2004	294,1	247,24	301,48	736,47	482,58	954,5	2.089,26	1.352,07	1.512,00	1.194,42	1.190,03	698,45
2005	333,07	307,68	290,77	309,43	1.090,74	2.302,40	2.701,77	2.509,07	1.730,83	1.212,36	1.013,23	917,13
2006	493,03	298,75	350,16	590,2	642,07	2.255,07	3.363,26	2.270,00	1.880,20	1.517,26	1.073,87	609,58
2007	405,81	426,39	453,29	589,52	482,48	621,57	1.243,00	1.145,52	1.044,70	975,84	808,4	510,65
2008	382,61	237,45	229,84	204	1.271,03	1.435,47	1.820,13	2.544,26	2.341,43	1.314,61	759,03	593,94
2009	740,36	472			1.774,81	1.500,20	1.988,10	2.043,26	1.986,53	1.528,74	1.674,10	948,48
2010	501,1	396,37	304,03	307	279,26	761,73	1.077,23	458,33				
2011						748,55	920,19	1.536,68	1.283,83	978,48	714,23	405,32
2012	262,42	255,14	325,61	261,87	1.413,90	1.196,87	1.006,48	701,07	561,23	429,61	281,93	436,39
2013	284,87	234,93	264,84	306,83	490,74	1.087,13	1.307,03	1.290,65	1.373,57	730,11	611,28	261,97
2014	782,65	662,25	758,16	1.107,79		1.645,25		2.053,39	1.501,30	1.065,42	871,99	630,82

ANEXO 5. Viscosidades y densidad del agua.

Densidad del agua: 998.23 (kg/m³)

Tabla 5.1. Temperaturas del agua en periodo en estudio. Estación fluviométrica Río Bío Bío en Desembocadura.

Fecha-Hora de Medicion	Bío Desemboc-TAgua (°C) Min	Bío Desemboc-TAgua (°C) Max	Bío Desemboc-TAgua (°C) Media
07-09-2014	11.200	11.700	11.454
12-09-2014	9.900	11.200	10.638
26-09-2014	9.400	12.200	10.867
02-10-2014	11.300	12.800	12.063
10-10-2014	10.000	12.000	10.992
18-10-2014	11.900	13.200	12.475
28-10-2014	13.600	14.000	13.783
06-11-2014	11.800	13.200	12.504
13-11-2014	12.900	14.600	13.829
20-11-2014	13.200	14.700	14.029
27-11-2014	13.900	15.000	14.275
06-12-2014	14.700	15.600	14.988
13-12-2014	14.800	15.600	15.229
20-12-2014	14.800	15.100	14.908

Fuente: DGA.

Densidad del agua: 998,24 (Kg/m³).

Día	h (m)	V (m/s)	V. Dinámica (Kg/m*s)	V. Cinemática (m ² /s)	Reynolds	Estado de Flujo
07-sep	2,69	1,06	0,001271	1,27324E-06	2.249.430	turbulento
12-sep	2,94	1,05	0,001308	1,31031E-06	2.359.144	turbulento
26-sep	2,94	1,11	0,001271	1,27324E-06	2.564.952	turbulento
02-oct	2,14	0,98	0,001236	1,23818E-06	1.694.543	turbulento
10-oct	1,76	0,88	0,001271	1,27324E-06	1.210.508	turbulento
18-oct	1,25	0,79	0,001236	1,23818E-06	799.368	turbulento
28-Oct	0,93	0,80	0,001170	1,17206E-06	636.632	turbulento
06-nov-14	1,19	0,79	0,001236	1,23818E-06	760.239	turbulento
13-nov	1,12	1,06	0,001170	1,17206E-06	1.011.970	turbulento
20-nov	1,04	0,82	0,001170	1,17206E-06	725.070	turbulento
27-nov	0,88	0,78	0,001170	1,17206E-06	585.844	turbulento
06-dic-14	0,75	0,65	0,001139	1,14101E-06	427.045	turbulento
13-dic-14	0,57	0,57	0,001139	1,14101E-06	282.383	turbulento

Tabla 5.2. Estado de Flujo

Fuente: Propia.

Tabla 5.3. Viscosidad dinámica del agua a varias temperaturas.

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

Fuente: Universidad de Chile.

ANEXO 6. Imágenes de las Embarcaciones para este tipo de proyecto.



Lancha fabricada en cipre.

Eslora: 10 metros

Manga: 2,5 metros

Calado: 0,5 metros

Capacidad: 12 pasajeros



Catamaran Enduro Canadiense.

Eslora: 7 metros.

Manga: 2,5 metros.

Calado: 0,45 metros.

Capacidad: 18 pasajeros.



Bote Taxi 260.

Eslora: 7,95 metros.

Manga: 2,64 metros.

Calado: 0,64 metros.

Capacidad: 20 pasajeros.



Embarcación Bahía Princesa.

Eslora: 14 metros.

Manga: 3 metros.

Calado: 0,65 metros.

Capacidad: 50 pasajeros.



Bote Taxi 255C.

Eslora: 7,74 metros

Manga: 2,18 metros

Calado: 0,51 metros

Capacidad: 10 pasajeros.



Expreso 320.

Eslora: 9,86 metros.

Manga: 2,46 metros.

Calado: 0,64 metros.

Capacidad: 23 pasajeros.



Taxis solar I.

Eslora: 9,5 metros.

Manga: 3,02 metros.

Calado: 0,38 metros.

Capacidad: 12 pasajeros.



Bote a motor.

Eslora: 5 metros.

Manga: 1,5 metros.

Calado: 0,3 metros

Capacidad: 9 pasajeros.



Bote.

Eslora: 7 metros.

Manga: 2 metros

Calado: 0,5 metros

Capacidad: 20 pasajeros.



Bote Taxi 170.

Eslora: 5,14 metros.

Manga: 1,64 metros.

Calado: 0,43 metros.

Capacidad: 6 pasajeros.



Bote.

Eslora: 12 metros.

Manga: 2 metros.

Calado: 0,5 metros.

Capacidad: 12 pasajeros.



Bote Carguera 230.

Eslora: 7,01 metros.

Manga: 1,42 metros

Calado: 0,38 metros

Capacidad: 8 pasajeros.

Anexo 7. Fotografías de la Vegetación del Cauce en la Ribera Sur del Río Bío Bío frente a San Pedro.

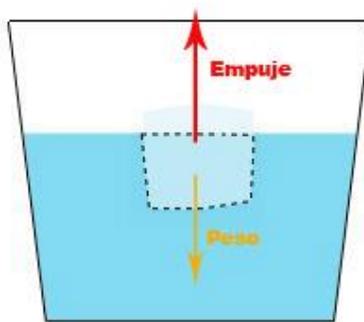




Anexo 8. Principio de Arquímedes.

La flotabilidad se encuentra determinada por el Principio de Arquímedes, el cual enuncia dos leyes de flotación:

1. Todo cuerpo sumergido en un fluido, experimenta una fuerza de flotación vertical hacia arriba llamada Empuje, que es igual al peso del fluido que desaloja.
2. Un cuerpo flotante desplaza una cantidad de fluido igual a su peso, desplaza un volumen de fluido suficiente para equilibrar exactamente su propio peso.



Podemos calcular el valor del empuje, que representaremos desde ahora como E , de una forma muy sencilla a partir del principio de Arquímedes.

Dado que la fuerza de empuje equivale al peso del fluido desalojado por la parte sumergida del cuerpo, y como el peso es igual a la masa (m) por la gravedad (g):

$$E = m_{\text{fluido}} * g$$

El volumen sumergido ($V_{\text{sumergido}}$) es igual al volumen del fluido desalojado (V_{fluido}). Este volumen está relacionado con su masa mediante su densidad ($d_{\text{fluido}} = m_{\text{fluido}}/V_{\text{fluido}}$), y por lo tanto resulta:

$$E = d_{\text{fluido}} * V_{\text{fluido}} * g = d_{\text{fluido}} * V_{\text{sumergido}} * g$$

Que es la expresión del empuje.

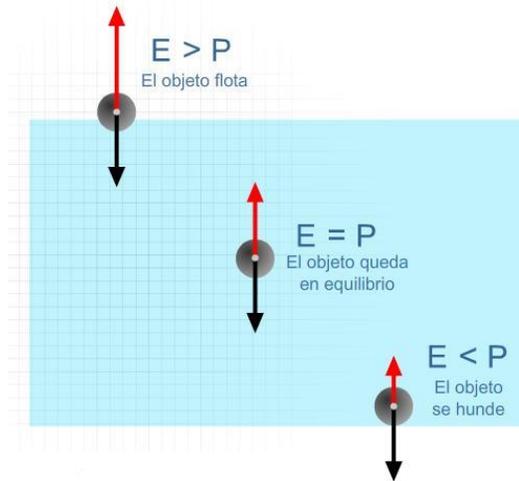
Análogamente, es posible escribir de forma similar el peso (p) del cuerpo como:

$$p = d_{\text{cuerpo}} * V_{\text{cuerpo}} * g$$

Como se observa en la imagen, el empuje siempre se aplica en sentido contrario al peso, de ahí que un cuerpo pese menos cuando está introducido en un fluido que cuando no lo está. La diferencia entre ambos pesos se denomina **peso aparente** y viene dado por el peso menos el empuje:

$$p_{\text{aparente}} = p - E$$

- Si el empuje es mayor que el peso ($E > p$), el cuerpo **flotará**.
- Si el empuje es menor que el peso ($E < p$), el cuerpo **se hundirá**.
- Si el empuje es igual al peso ($E = p$), el cuerpo permanecerá en una posición estable sumergido en el líquido, debido a que sobre él no actúa ninguna fuerza neta.



En el caso de que el cuerpo se encuentre completamente sumergido en el interior del líquido, ocurrirá que el volumen del cuerpo será igual al volumen del líquido desalojado, por lo que la relación entre peso y empuje queda reducida a relación entre las densidades del cuerpo y del sólido, pudiéndose escribir:

Si la densidad del cuerpo es menor que la del líquido ($d_{\text{cuerpo}} < d_{\text{líquido}}$), el cuerpo **flotará**.

Si la densidad del cuerpo es mayor que la del líquido ($d_{\text{cuerpo}} > d_{\text{líquido}}$), el cuerpo **se hundirá**.

Si la densidad del cuerpo es igual que la del líquido ($d_{\text{cuerpo}} = d_{\text{líquido}}$), el cuerpo permanecerá en una posición estable sumergido en el líquido, debido a que sobre él no actúa ninguna fuerza neta.

En el caso de las embarcaciones sucede lo mismo que con cualquier objeto, ya que la embarcación ejerce una fuerza hacia abajo en el fluido que la aloja, la que genera un empuje hacia arriba, provocando que la embarcación se mantenga en la superficie y no se hunda.

Anexo 9. Análisis de frecuencia.

9.1. Análisis de las Series de Caudales Medios Mensuales.

Una vez recopilada la información de Caudales Medios Mensuales, se realizará un análisis de la Serie de estos datos de caudales, para la cual se seleccionarán los Caudales Mínimos Medios Mensuales de cada año en el periodo 1970-2014. Se utilizarán los caudales mínimos ya que representan el escenario más desfavorable del nivel de agua que se encuentra en el cauce del Río, lo que es importante saber para este proyecto.

Una vez seleccionada la Serie de datos, se procederá a realizar el Análisis de Datos Dudosos a la serie elegida para detectar valores que puedan ser erróneos.

9.2. Análisis de Datos Dudosos.

El Método del Water Resources Council (1981) recomienda la realización de ajustes de datos dudosos. Los datos dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. Los procedimientos para tratar los datos dudosos requieren un criterio que involucra consideraciones matemáticas e hidrológicas. De acuerdo con el Water Resources Council (1981) si la asimetría de la estación es mayor que +0,4 se considera primero las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de la estación es menor que -0,4 primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos. Cuando la asimetría de la estación se encuentre entre $\pm 0,4$ deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

La siguiente ecuación puede utilizarse para detectar datos dudosos altos:

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y$$

Donde y_H es el umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas y K_n es tal como se da en la tabla 2 para un tamaño de muestra n . Los valores de K_n dados en la tabla 2 se usan en pruebas de un lado para detectar datos dudosos en el nivel 10% de significancia en información normalmente distribuida. Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que y_H en la anterior ecuación, entonces se consideran como datos dudosos altos.

De acuerdo con el Water Resources Council (1981), si existe información disponible que indica que un dato dudoso alto es el máximo sobre un periodo extendido, el dato dudoso es excluido del análisis. Si no hay disponibilidad de información histórica útil para comparar con los datos dudosos altos, entonces estos deben ser retenidos como parte del registro sistemático.

Una ecuación similar puede utilizarse para detectar datos dudosos bajos:

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y$$

Donde y_L es el umbral de datos dudosos bajos en unidades logarítmicas. Los picos de información considerados como datos dudosos bajos se eliminan del registro y puede aplicarse un ajuste de probabilidad (*Ven Te Chow 1994*).

En el Anexo 6, en la Tabla 6.1, se muestra el procedimiento para la obtención de los datos dudosos a través de la Prueba de Datos Dudosos.

Tabla 9.1: Valores de K_n para la prueba de datos dudosos. (Fuente: Ven te Chow 1994)

Valores K_n para la prueba de datos dudosos							
Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

9.3. Parámetros estadísticos.

Los parámetros estadísticos permiten caracterizar en forma resumida la información conocida dentro de una gran cantidad de datos.

Valor Medio:

El Valor Medio o promedio, de una cantidad finita de números, es igual a la suma de todos ellos dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Desviación Estándar:

La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos del valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente la variación esperada con respecto de la media aritmética.

Una desviación estándar grande indica que los puntos están lejos de la media, y una desviación pequeña indica que los datos están agrupados cerca de la media.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Coeficiente de Asimetría:

Esta función caracteriza el grado de asimetría de una distribución con respecto a su media. La asimetría positiva indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más positivos. La asimetría negativa indica una distribución unilateral que se extiende hacia valores más negativos.

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S} \right)^3$$

Valor Máximo: Es el Máximo valor del conjunto de datos.

Valor Mínimo: Es el mínimo valor del conjunto de datos.

9.4. Análisis de Frecuencia.

El análisis de frecuencias es un procedimiento para estimar la frecuencia de ocurrencia o probabilidad de ocurrencia de eventos pasados o futuros. De este modo la representación gráfica de la probabilidad, con o sin suposiciones de distribuciones de probabilidad, es un método de análisis de frecuencias (Monsalve 1999).

Los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecidas y sequías. La magnitud de un evento extremo está inversamente relacionada con la frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos más moderados.

El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos y eventos comunes con su frecuencia de ocurrencia, mediante el uso de distribuciones de probabilidad (Hidrología, Luis Santana Oyarzo – Sergio Quijada Vera, 2007).

El análisis de frecuencia de los Caudales Mínimos Medios Mensuales se efectuará por métodos analíticos, en la cual se probarán modelos de distribución tales como la Distribución Normal, Log-Normal, Gamma, Exponencial y Extrema Tipo I, ya que son las de mejor ajuste al tipo de información utilizada, seleccionando para cada serie la de mejor ajuste, de acuerdo a las pruebas de bondad de ajuste de Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov.

9.5. Método Analítico.

Es un método más elaborado que el método gráfico. Consiste en asumir que la serie de datos puede ser ajustada a través de una función de densidad de probabilidades FDP conocida. Esto requiere conocer las FDP y emplear pruebas de bondad de ajuste, siendo las más usadas los test de Chi-cuadrado y el de Kolmogorov-Smirnov.

El procedimiento general es el siguiente:

- Para cada FDP empleada determinar los parámetros de escala y forma (si corresponden) a través del método de los momentos, generatriz de momentos o de la máxima verosimilitud.
- Determinar los parámetros estadísticos descriptivos para la serie de precipitaciones: Promedio, Varianza, Asimetría, Kurtosis, según sean los parámetros de escala y forma de la FDP empleada.
- Resolver sistema de ecuaciones generada por igualación del primer momento con el promedio, el segundo momento con la varianza, etc. Obteniendo los valores de los parámetros de la distribución.
- Aplicar pruebas de bondad de ajuste para rechazar la hipótesis.
- Aplicar la FDP así obtenida. Permite obtener la probabilidad de no ocurrencia por integración de la FDP (FDA) desde menos infinito a la precipitación especificada.
- Para obtener una precipitación específica en base a una probabilidad determinada se debe aplicar la función inversa de la FDA.

$$P_{noexe} = 1 - \frac{1}{T}$$

9.6. Distribuciones de probabilidad para variables hidrológicas.

a) Distribución Normal: En general es aplicable a series hidrológicas de precipitaciones anuales. Sus limitaciones son: varía a lo largo de un rango continuo] $-\infty, +\infty$ [, mientras que la mayor parte de las variables hidrológicas son no negativas. Además la distribución normal es simétrica alrededor de la media, mientras que la información hidrológica tiende a ser asimétrica. Su función de densidad de probabilidad es (Hidrología, Luis Santana Oyarzo – Sergio Quijada Vera, 2007):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Dónde: $\mu = \bar{x}$ = Promedio. $\sigma = S_x$ = Desviación Estándar.

b) Distribución Log-Normal: Si la variable aleatoria $Y = \text{Log } X$ está normalmente distribuida, entonces se dice que X está distribuida en forma Lognormal. Algunas ventajas sobre la Normal son que está limitada para $X > 0$ y que la transformación Log tiende a reducir la asimetría positiva que es común en información de tipo hidrológico. Algunas desventajas de esta distribución son que tiene solamente dos parámetros y que requiere que los logaritmos de los datos sean simétricos alrededor de su media. Su función de densidad de probabilidad es (Hidrología, Luis Santana Oyarzo – Sergio Quijada Vera, 2007):

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

Dónde: $y = \ln(x)$ = LN de los datos.

$\mu_y = \bar{y}$ = Promedio.

$\sigma_y = S_y$ = Desviación Estándar.

c) Distribución Exponencial: esta distribución describe en general, el periodo de retorno de eventos que ocurren instantánea e independientemente de un horizonte de tiempo, donde el parámetro λ es la tasa media de ocurrencia de los eventos. Su ventaja es la facilidad para estimar λ a partir de la información observada. Algunas limitaciones son que requiere que cada evento sea completamente independiente de sus vecinos, lo cual puede ser un supuesto no válido para el proceso en estudio. Se adapta muy bien a estudios teóricos, tales como un modelo de probabilidad para el embalse lineal. (Hidrología, Luis Santana Oyarzo – Sergio Quijada Vera, 2007).

$$f(x) = \mu e^{-\mu x} \quad \text{Con } x > 0 \text{ y } \mu > 0$$

d) Distribución Gamma: Es una distribución de una suma de n variables aleatorias independientes e idénticas, distribuidas exponencialmente, cuya Función de Densidad de Probabilidades es:

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} \exp(-\lambda * x)}{\Gamma(\beta)}$$

Dónde: $\lambda = \frac{\bar{x}}{S_x^2}$, $\beta = \frac{\bar{x}^{-2}}{S_x^2}$, Γ = función gamma.

Es muy útil para la descripción de variables hidrológicas asimétricas sin el uso de la transformación logarítmica (Hidrología, Luis Santana Oyarzo – Sergio Quijada Vera, 2007).

e) Distribución de Valor Extremo tipo I: Los valores extremos son valores máximos o mínimos de un conjunto de datos. Fisher y Tippett (1928) han demostrado que las distribuciones de valores extremos seleccionados de conjuntos de muestras en una de las tres formas de distribución de valor extremo, llamadas Tipo I, Tipo II y Tipo III, respectivamente, cuando el número de valores extremos seleccionados es grande.

Las propiedades de las tres formas limitantes fueron desarrolladas en mayor detalle por Gumbel (1941) para la Tipo I, por Frechet (1927) para la Tipo II y por Weibull (1939) para la extrema Tipo III (Hidrología, Luis Santana Oyarzo – Sergio Quijada Vera, 2007).

Según Gumbel, la función de densidad de probabilidad de Tipo I está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} * \exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right) * \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right)$$

Donde: $\alpha = \frac{\sqrt{6} * S}{\pi}$, $\mu = \bar{x} - 0.5772 * \alpha$

9.7. Test de bondad de ajuste: la bondad del ajuste de una distribución de probabilidad puede determinarse comparando los valores teóricos y muestrales de las funciones de frecuencia relativa o de frecuencia acumulada.

9.8. Test de Chi-Cuadrado: En el caso de la frecuencia relativa se utiliza la función, en función de la cual se puede comparar con el valor calculado, a partir de los siguientes pasos:

- Estimar el número de clases k a emplear según el número N de datos ($k \geq 5$) con $k = 1 + 3,3 \log N$, aproximar al valor entero más cercano.

- Calcular los límites inferior y superior de cada clase en función del rango de clase R.

$$R = \frac{\max - \min}{k - 1}$$

$$L_{\text{inf}} = \min + (2n - 1) * \frac{R}{2} \quad n = 0, 1, 2, \dots, (k - 1)$$

$$L_{\text{sup}} = L_{\text{inf}} + R$$

- Calcular el histograma de frecuencias absolutas f_i de los N datos muestrales.
- Estimar el histograma de frecuencias acumuladas con la FDP analizada para los límites de las marcas de clase.
- Calcular el histograma de frecuencias absolutas e_i a partir de las frecuencias acumuladas del paso anterior en cada clase.
- Calcular la diferencia de frecuencias absolutas para cada intervalo de clase.
- Calcular el cuadrado de la diferencia de frecuencias absolutas dividida por la frecuencia de la función estimada para cada intervalo de clase y sumar sus resultados.
- Comparar el resultado anterior con el valor de la FDP de χ cuadrado (generalmente tabulado), para un determinado nivel de confianza (90 o 95 %) y grados de libertad $GL = k - s - 1$, donde s es el número de parámetros de la FDP estimada.
- Se rechaza la FDP si el valor de X cuadrado calculado es mayor que el tabulado (tabla 2), en caso contrario no rechaza.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{N(f_i - e_i)^2}{e_i}$$

Tabla 9.2: χ^2 v/s grados de libertad para distintos niveles de confianza. (Hidrología, Luis Santana Oyarzo – Sergio Quijada Vera, 2007).

$$P(X \leq x_{1-\alpha, v}) = F(x_{1-\alpha, v}) = \frac{1}{\Gamma(v/2) 2^{v/2}} \int_0^{x_{1-\alpha, v}} t^{v/2-1} \exp(-t/2) dt = 1 - \alpha$$

ν	$\alpha_{0,005}$	$\alpha_{0,010}$	$\alpha_{0,025}$	$\alpha_{0,050}$	$\alpha_{0,100}$	$\alpha_{0,200}$	$\alpha_{0,500}$	$\alpha_{0,750}$	$\alpha_{0,900}$	$\alpha_{0,950}$	$\alpha_{0,975}$	$\alpha_{0,990}$	$\alpha_{0,995}$
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	2.71	3.84	5.02	6.64	7.90	10.59	18.55
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.21	4.60	5.99	7.38	9.22	10.59	12.82	20.27
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	0.58	6.25	7.82	9.36	11.32	12.82	14.82	21.94
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	1.06	7.78	9.49	11.15	13.28	14.82	16.76	23.56
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	1.61	9.24	11.07	12.84	15.09	16.76	18.55	25.15
6	0.67	0.87	1.24	1.63	2.20	2.20	10.65	12.60	14.46	16.81	18.55	20.27	26.71
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	2.83	12.02	14.07	16.02	18.47	20.27	21.94	28.25
8	1.34	1.64	2.18	2.73	3.49	3.49	13.36	15.51	17.55	20.08	21.94	23.56	30.61
9	1.73	2.09	2.70	3.32	4.17	4.17	14.69	16.93	19.03	21.65	23.56	25.15	32.86
10	2.15	2.55	3.24	3.94	4.86	4.86	15.99	18.31	20.50	23.19	25.15	26.71	34.32
11	2.60	3.05	3.81	4.57	5.58	5.58	17.28	19.68	21.93	24.75	26.71	28.25	35.77
12	3.06	3.57	4.40	5.22	6.30	6.30	18.55	21.03	23.35	26.25	28.25	29.88	37.21
13	3.56	4.10	5.01	5.89	7.04	7.04	19.81	22.37	24.75	27.72	29.88	31.38	38.63
14	4.07	4.65	5.62	6.57	7.79	7.79	21.07	23.69	26.13	29.17	31.38	32.86	40.05
15	4.59	5.23	6.26	7.26	8.55	8.55	22.31	25.00	27.50	30.61	32.86	34.32	41.40
16	5.14	5.81	6.90	7.96	9.31	9.31	23.55	26.30	28.86	32.03	34.32	35.77	42.79
17	5.69	6.40	7.56	8.67	10.08	10.08	24.77	27.59	30.20	33.43	35.77	37.21	44.18
18	6.25	7.00	8.23	9.39	10.86	10.86	25.99	28.88	31.54	34.83	37.21	38.63	45.57
19	6.82	7.63	8.90	10.11	11.65	11.65	27.21	30.15	32.87	36.22	38.63	40.05	46.97
20	7.42	8.25	9.59	10.85	12.44	12.44	28.42	31.42	34.18	37.59	40.05	41.40	48.37

9.9. Test de Kolmogorov – Smirnov: en este caso se trabaja con las frecuencias acumuladas.

El procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

- Ordenar la serie de datos de mayor a menor, asignando a cada dato una probabilidad de excedencia según Weibull u otro criterio.
- Para cada dato calcular la probabilidad de no ocurrencia como el complemento de la probabilidad de ocurrencia.
- Simultáneamente, para cada dato calcular la probabilidad de no excedencia con la FDA a partir de la FDP elegida.
- Calcular para cada dato la diferencia en valor absoluto entre las probabilidades asignadas según Weibull (u otro criterio) y la función de densidad de probabilidad ajustada.
- Obtener el valor con la máxima diferencia de probabilidades Δ_{\max} .
- Comparar el resultado anterior con el valor Δ de la FDP de Kolmogorov (generalmente tabulado), para un determinado nivel de confianza (90 o 95 %) y número de datos de la serie de caudales.
- Se rechaza la FDP que se desea ajustar a los datos si el valor de Δ calculado con la máxima diferencia de probabilidades es mayor que el tabulado (tabla 3) para un determinado nivel de confianza.

$$\Delta = \text{máx}|FDA(x_i) - P_{noexe}(x_i)|$$

Tabla 9.3: KS v/s N° de datos para distintos niveles de confianza. (Hidrología, Luis Santana Oyarzo – Sergio Quijada Vera, 2007).

<i>n</i>	$1 - \alpha$				
	0.80	0.85	0.90	0.95	0.99
1	.900	.925	.950	.975	.995
2	.684	.726	.776	.842	.929
3	.565	.597	.642	.708	.828
4	.494	.525	.564	.624	.733
5	.446	.474	.510	.565	.669
6	.410	.436	.470	.521	.618
7	.381	.405	.438	.486	.577
8	.358	.381	.411	.457	.543
9	.339	.360	.388	.432	.514
10	.322	.342	.368	.410	.490
11	.307	.326	.352	.391	.468
12	.295	.313	.338	.375	.450
13	.284	.302	.325	.361	.433
14	.274	.292	.314	.349	.418
15	.266	.283	.304	.338	.404
16	.258	.274	.295	.328	.392
17	.250	.266	.286	.318	.381
18	.244	.259	.278	.309	.371
19	.237	.252	.272	.301	.363
20	.231	.246	.264	.294	.356
25	.21	.22	.24	.27	.32
30	.19	.20	.22	.24	.29
35	.18	.19	.21	.23	.27
Fórmula para una <i>n</i> mayor	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

9.10 Análisis Serie de Caudales Mínimos Medios Mensuales.

Tabla 9.4. Prueba de Datos Dudosos.

año	caudal (m3/s)	caudal (m3/s)ordenados	Log Caudales
1970	776,48	776,48	2,890
1971	212,55	662,25	2,821
1972	258,77	472	2,674
1973	217,39	452,00	2,655
1974	229,16	405,81	2,608
1975	228,68	405,32	2,608
1976	222,00	305,39	2,485
1977	452,00	298,75	2,475
1982	232,16	290,77	2,464
1983	209,13	289,68	2,462
1984	233,45	279,26	2,446
1985	305,39	258,77	2,413
1986	226,61	255,14	2,407
1987	236,18	247,24	2,393
1988	217,14	236,18	2,373
1989	215,71	234,93	2,371
1990	191,18	233,45	2,368
1991	64,81	232,48	2,366
1992	178,38	232,16	2,366
1993	191,07	229,16	2,360
1994	209,48	228,68	2,359
1995	216,54	226,61	2,355
1996	232,48	222,00	2,346
1997	190,07	217,39	2,337
1998	137,8	217,14	2,337
1999	51,96	216,54	2,336
2000	200,9	216,21	2,335
2001	216,21	215,71	2,334
2002	128	212,55	2,327
2003	289,68	209,48	2,321
2004	247,24	209,13	2,320
2005	290,77	204	2,310
2006	298,75	200,9	2,303
2007	405,81	191,18	2,281
2008	204	191,07	2,281
2009	472	190,07	2,279
2010	279,26	178,38	2,251
2011	405,32	137,8	2,139
2012	255,14	128	2,107
2013	234,93	64,81	1,812
2014	541,731	51,96	1,716

nº datos	41,00	41,00
maximo	776,48	2,89
minimo	51,96	1,72
promedio	261,63	2,37
varianza	18118,09	0,04
desv.esta	134,60	0,21
coef.asim	2,14	-0,52
kn	2,692	
lim superior	853,2053	
lim inferior	64,5749	

Pasos para el análisis de datos dudosos:

- Obtener los Logaritmos de los datos.
- Determinar el número de datos (n).
- Obtener el promedio (\bar{y}) y desviación estándar (S).
- Ingresar con el número de datos ala tabla 1 para obtener el parámetro Kn.
- Obtener el límite inferior (y_L) y el límite superior (y_H) según:

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y$$

$$y_L = \bar{y} - K_n S_y$$

- Determinar el máximo y minimo de la serie.
- Obtener la asimetría de los logaritmos de los datos.
- Si la asimetría es menor que -0.4, buscar datos dudosos bajos, si la asimetría es mayor a 0.4, buscar datos dudosos altos y si la asimetría esta entre ± 0.4 , buscar datos dudosos altos y bajos.
- Si hay valores fuera de los límites, estos se deben eliminar.
- Repetir todos los pasos anteriores a la serie, luego de eliminar los datos del paso anterior.
- Realizar el proceso hasta que no existan datos dudosos.

Tabla 9.5. Resumen test de Bondad Chi-Cuadrado.

Distribución	Valor(V)	Valor Límite (VI)	
Normal	184,3929	9,4877	se rechaza
Exponencial	41,2271	11,0705	se rechaza
Log Normmal	8,4831	9,4877	no se rechaza
Gamma	15,3994	9,4877	se rechaza
Gumbel	12,8420	9,4877	se rechaza

Si $V < VI$, no se rechaza.

Si $V > VI$, se rechaza.

GUMBEL		NORMAL		LOGNORMAL		GAMMA		EXPONENCIAL	
F(x) Gumbel	Diferencia	F(x) Normal	Diferencia	F(x)LogNormal	Diferencia	F(x) Gamma	Diferencia	F(x) Exponencial	Diferencia
0,997	0,021	0,99998	0,024	0,995	0,019	0,998	0,022	0,950	0,026
0,991	0,038	0,99928	0,047	0,987	0,034	0,992	0,040	0,923	0,030
0,937	0,009	0,95384	0,025	0,933	0,004	0,936	0,007	0,839	0,090
0,924	0,019	0,93643	0,032	0,920	0,015	0,921	0,016	0,826	0,079
0,881	0,000	0,87717	0,004	0,880	0,001	0,875	0,006	0,792	0,089
0,880	0,023	0,87639	0,019	0,880	0,023	0,875	0,017	0,791	0,066
0,705	0,129	0,64376	0,190	0,716	0,117	0,695	0,138	0,693	0,140
0,688	0,122	0,62405	0,185	0,700	0,110	0,678	0,131	0,685	0,125
0,666	0,119	0,59992	0,186	0,680	0,106	0,658	0,128	0,675	0,111
0,663	0,098	0,59660	0,165	0,677	0,085	0,655	0,107	0,674	0,088
0,634	0,104	0,56447	0,174	0,648	0,090	0,626	0,112	0,660	0,078
0,571	0,144	0,50025	0,214	0,586	0,128	0,565	0,149	0,632	0,082
0,559	0,132	0,48882	0,202	0,575	0,116	0,554	0,136	0,627	0,063
0,532	0,134	0,46400	0,203	0,548	0,118	0,529	0,138	0,615	0,051
0,494	0,149	0,42950	0,213	0,509	0,133	0,493	0,150	0,599	0,044
0,490	0,129	0,42563	0,193	0,505	0,114	0,489	0,130	0,597	0,022
0,484	0,111	0,42106	0,174	0,500	0,096	0,484	0,111	0,594	0,001
0,481	0,091	0,41807	0,153	0,496	0,075	0,481	0,091	0,593	0,021
0,480	0,068	0,41708	0,131	0,495	0,053	0,479	0,068	0,592	0,045
0,469	0,055	0,40787	0,116	0,484	0,040	0,469	0,054	0,588	0,064
0,467	0,033	0,40640	0,094	0,482	0,018	0,468	0,032	0,587	0,087
0,460	0,016	0,40007	0,076	0,474	0,002	0,461	0,015	0,584	0,107
0,443	0,009	0,38609	0,066	0,457	0,005	0,445	0,007	0,576	0,124
0,426	0,002	0,37224	0,056	0,439	0,011	0,429	0,000	0,568	0,140
0,425	0,021	0,37150	0,033	0,438	0,033	0,428	0,023	0,568	0,163
0,423	0,042	0,36971	0,011	0,436	0,055	0,426	0,045	0,567	0,186
0,422	0,065	0,36873	0,012	0,435	0,077	0,425	0,068	0,566	0,209
0,420	0,087	0,36724	0,034	0,433	0,099	0,423	0,090	0,566	0,232
0,408	0,099	0,35789	0,048	0,420	0,111	0,412	0,103	0,560	0,251
0,397	0,111	0,34888	0,063	0,408	0,123	0,402	0,116	0,555	0,269
0,396	0,134	0,34786	0,086	0,407	0,145	0,400	0,138	0,554	0,293
0,377	0,138	0,33302	0,095	0,387	0,148	0,382	0,144	0,546	0,307
0,365	0,151	0,32418	0,110	0,374	0,160	0,371	0,157	0,540	0,326
0,329	0,138	0,29710	0,107	0,335	0,144	0,337	0,147	0,522	0,332
0,329	0,162	0,29680	0,130	0,334	0,168	0,337	0,170	0,522	0,356
0,325	0,182	0,29408	0,151	0,330	0,187	0,333	0,191	0,520	0,378
0,282	0,163	0,26312	0,144	0,283	0,164	0,293	0,174	0,498	0,379
0,148	0,053	0,17004	0,075	0,130	0,035	0,160	0,065	0,413	0,318
0,122	0,050	0,15119	0,080	0,100	0,029	0,133	0,061	0,390	0,319
0,018	0,029	0,06301	0,015	0,003	0,044	0,017	0,031	0,222	0,174
0,011	0,013	0,05140	0,028	0,001	0,023	0,008	0,016	0,182	0,158
max	0,182	max	0,214	max	0,187	max	0,191	max	0,379
lim	0,212	lim	0,212	lim	0,212	lim	0,212	lim	0,212
no se rechaza		se rechaza		no se rechaza		no se rechaza		se rechaza	

Tabla 9.6. Resumen test de bondad Kolmogorov-Smirnov.

Fuente: Propia.