

PROYECTO SERELAREFA: PROPUESTA de proyecto específico para caso de estudio

TITULO:

Un CORREDOR FLUVIAL para el río TINGUIRICA

NOTE: The research leading to these results has received funding from the European Union Seventh Framework Programme (FP7-PEOPLE-2009-IRSES) under Grant Agreement n.247522

Este documento

El marco del proyecto “SERELAREFA”

El proyecto UE SERELAREFA (www.serelarefa.com), SEMILLAS de RED Latino-Americana de Recuperación de Ecosistemas Fluviales y Acuáticos, está trayendo la experiencia europea en la gestión de cauces, empezando por mostrar los errores cometidos; trae nuevas ideas en la esperanza de poder contribuir para que en Latino América se puedan evitar estos errores. El proyecto, además de intercambiar experiencias y realizar viajes de estudio en los distintos países colaboradores (Italia, España, Chile, México, Brasil), ayuda a identificar casos emblemáticos y a armar propuestas de proyectos específicos alrededor de los casos de estudio más significativos.

Este documento presenta una propuesta de “perfil de proyecto” para abordar un caso de estudio piloto en Chile central. Se trata de una modificación y evolución de la propuesta de intervenciones ya elaborada por una consultora de la DOH (Dirección de Obras Hidráulicas, MOP, Chile), denominada en lo que sigue “proyecto preliminar DOH”⁽¹⁾.

En una visión de amplia envergadura, son muchos los temas a considerar, como:

- riesgo hidromorfológico (inundaciones, erosión de riberas, extracción de áridos, obras de defensa, desarrollo territorial-urbanístico, papel de los embalses hidroeléctricos ...)
- uso del agua y exigencias del ecosistema fluvial y relación con los acuíferos subterráneos
- calidad del agua
- turismo-recreación y desarrollo socio-económico relacionado
- cultura, sensibilidad, educación y capacitación en materia de manejo de cauces fluviales y ecosistemas acuáticos.

En este documento se aborda sin embargo sustancialmente sólo el tema a), siendo que el determina en gran medida decisiones fundamentales también para los demás temas y siendo que el “proyecto preliminar DOH” requiere una resolución en tiempos relativamente rápidos. En lo que sigue nos referimos a este asunto con la denominación “Corredor fluvial Tinguiririca”.



¹ IRH Ingenieros Consultores Limitada, Estudio diagnóstico, proposición de defensas fluviales y plan de manejo del Río Tinguiririca. Tramo: Puente Talcahue hasta Puente Errázuriz, Región de O'Higgins. Agosto 2010

Pasos para poner en marcha la iniciativa “Corredor fluvial del Tinguiririca”

El primer paso para poder concretar estas ideas es madurar el consenso institucional interno al Ministerio Obras Públicas y, luego, con otros actores institucionales (en particular el MinAmbiente y el Gobierno Regional quien sería el sujeto naturalmente más apropiado para liderar el proceso decisional), como también de la comunidad local, acerca de la oportunidad y necesidad de adoptar los conceptos novedosos presentados. A nivel local, la Mesa del agua existente puede ser un excelente foro de debate y definición de las acciones futuras. Es necesario, sin embargo, que esta Mesa amplíe el abanico de participantes incluyendo todos los potenciales afectados/interesados, como también, a nivel institucional, debe contar con la participación de los Ministerios relevantes (Obras Públicas, Viviendas, Vialidad, y naturalmente Medio Ambiente), además de las Municipalidades. Finalmente, es necesario que alguien se tome la responsabilidad de “echar adelante el proceso” y mantener una coordinación apropiada entre las partes.

Desde el punto de vista técnico se pueden visualizar dos etapas (I y II):

I) Estudio/Diseño:

- 1) se define el *perfil de proyecto* a conducir que prevé un estudio cabal del comportamiento hidrológico y geomorfológico-hidráulico del cauce -además de otros componentes relevantes- hasta llegar a definir, de forma participativa, la solución a realizar; contiene la estimación de costos del mismo proyecto en su etapa de estudio/diseño;
- 2) se consigue financiación para realizar el estudio/diseño;
- 3) se lleva a cabo el estudio (diagnóstico integrado);
- 4) se definen y evalúan alternativas de forma participativa (como parte de la etapa de estudio/diseño);
- 5) se decide de forma negociada la alternativa a adoptar (sigue la etapa de estudio/diseño);
- 6) se detalla esta última a nivel de proyecto ejecutivo con estimación de los costos de las intervenciones (cierra la etapa de estudio/diseño).

II) Implementación:

- 1) se realizan las intervenciones (implantación de vegetación, obras de defensas),
- 2) se define una reglamentación coherente del uso del suelo, para ser incorporada en los planos reguladores intercomunales,
- 3) se produce y brinda información y capacitación a la población y los operadores más directamente involucrados (extractores de áridos y agricultores);
- 4) se pone en marcha el sistema de monitoreo y manejo adaptativo (técnico y financiero).

Este documento describe el perfil de proyecto relacionado al punto I.1, siendo el primer paso a ejecutar.

Este documento en forma de borrador se da a conocer para una primera reflexión acerca de la idea. CIRF espera comentarios, observaciones, integraciones de parte en particular de la DOH para seguir en la redacción del perfil de proyecto.

Un CORREDOR FLUVIAL para el río TINGUIRICA

Versión: 3.0

Revisión: A. Nardini (27 enero 2012), G. Baldissera (28 enero 2012), A.Nardini (3 febrero 2012), A.Andreoli (6 febrero 2012); A.Nardini (14 febrero 2012); J. Arumí (23 marzo 2012); A.Nardini (26 marzo 2012)

Antecedentes

El río Tinguiririca es quizás representativo de varios casos presentes en Chile central:

- se trata de ríos caracterizados por fuertes pendientes, enorme arrastre sólido, régimen hidrológico con fuertes variaciones, cauces divagantes en amplios espacios
- en el territorio se encuentra agricultura de alto valor agregado en expansión que necesita tierra y agua
- también la urbanización está en expansión
- hay fuerte demanda de áridos y extracción en cantidad desde los cauces fluviales con mala prácticas
- existen aprovechamientos hidroeléctricos con la típica afectación del régimen hídrico, del transporte sólido y sus consecuencias en la morfología y dinámica fluvial; también estas están en fuerte expansión. Cabe destacar que la actitud sin embargo frente a la colectividad ha ido abriéndose y se nota ahora una mayor disposición al diálogo
- hay experiencia de eventos hidrológicos con fuertes perjuicios para viviendas, infraestructuras y personas



Ilustraciones 1: El Río Tinguiririca cruzando la depresión interandina y (abajo) en la parte cordillerana.

Periodo de retorno (años)	Caudal estimado m3/s (Promedio Pearson III-VIExtGen)
- 300	- 2574
- 200	- 2390
- 100	- 2029
- 50	- 1806
- 25	- 1529
- 10	- 1173
- 5	- 902
- 3	- 694
- 2	- 513

Tabla 1: Caudales Máximos Instantáneos para Periodos de Retorno Requeridos [m3/s] bajo la confluencia con el Río Claro, estimados por IRH Ingenieros Consultores.

- existe la convicción generalizada –no sólo en la región, sino a nivel del equipaje cultural de muchos profesionales en el mundo y de la gente común también- que las “obras” pueden

procurar seguridad y son la solución más adecuada; por tanto, la respuesta actual a los eventos consiste en un manejo ingenieril de los cauces con intervenciones “duras” (gaviones, enrocados, muros de concreto, ...)



Ilustración 2: defensas de ribera existentes en un tramo del río Tinguiririca. En negro los muro de enrocados, en rojo los gaviones, en amarillo los espigones. (Los triangulitos negros indican propuestas de re-construcción de obras de defensa.)

- los deslindes entre cauce y territorio ocupado socio-económicamente en muchos casos prácticos no están bien definidos, aún cuando desde el punto de vista de la propiedad de la tierra lo sean (los predios a veces incluyen el mismo cauce)



Ilustración 3: limites de los predios y cauce del río: en varios casos, los predios incluyen el cauce!

- hay un interés creciente para valorizar los recursos ambientales en sentido amplio, empezando por la recreación y turismo, lo que requiere re-pensar las modalidades con que se maneja el cauce en la actualidad
- el tema calidad del agua es también en primera línea por la presencia de fuentes contaminantes de vario tipo (urbana, procesamiento agro-industrial o industrial, fertilizantes y pesticidas usados en agriculturas, relaves de minería,...) y de cuerpos hídricos explotados turísticamente (lago rapel, aguas abajo) o para abastecimiento hídrico (el mismo río Tinguiririca)

- el recurso hídrico, por cuanto tendencialmente abundante en la región, empieza a ver competición entre los usos (las hidroeléctricas agregan cuerpo a esta problemática, aún cuando pueden también aportar ventajas) y nuevas exigencias como el caudal mínimo ecológico; por otro lado, se hacen más sensibles alteraciones del régimen hidrológico en parte ligados al cambio climático

Motivaciones del proyecto propuesto

- presencia de una problemática articulada que requiere acción
- el marco normativo chileno no contempla un sistema institucional-administrativo capaz de enfrentar y solucionar los complicados problemas mencionados con una visión realmente integrada en sentido espacial (aguas arriba-aguas abajo; la cuenca entera), temporal (en el corto, mediano y largo plazo) y social (coordinación institucional vertical entre niveles centrales, regionales y locales; y coordinación entre los distintos intereses privados y públicos presentes en el territorio). Para ello, la “concertación voluntaria informada” alrededor de una mesa de agua parece ser la mejor opción.
- Para el Tinguiririca en lo específico (la zona entre S.Fernando y S.Cruz aproximadamente) existe un “proyecto preliminar DOH” que constituye un excelente antecedente como base informativa y como ejemplificación de las partes que pueden mejorarse. El proyecto está a punto de ser implementado y existe la posibilidad de intervenir modificándolo introduciendo conceptos de recuperación fluvial
- El proyecto SERELAREFA ha movilizó información y relaciones y ha realizado hasta la fecha dos viajes de estudio de la delegación italiana gracias al apoyo de la DOH nacional y de la Universidad de Concepción y su Centro del Agua de la VI Región de los cuales ha surgido a mediados de enero 2012 un seminario público y un taller entre algunas de las partes involucradas (www.centrodelagua.cl)
- Existe un contexto local favorable de interacción entre actores relevantes y una Mesa de agua funcionando entre las más activas del País
- Este caso podría servir como caso piloto útil para demás casos en Chile tanto en relación al tema manejo del riesgo hidráulico, como en relación a la implementación de políticas propias del MinAmbiente contra el cambio climático, contando con corredores como mejor medida preventiva frente a eventos de crecida cada vez más extremos/frecuentes y como franjas (re)forestadas capaces de contribuir a la captura de carbono y así a la lucha al calentamiento global. Serviría también como piloto para la aplicación de indicadores del estado ecológico e hidromorfológico de los ecosistemas acuáticos fluviales, adoptando inclusive técnicas de monitoreo novedosas y experimentando la difícil relación entre escalas espaciales distintas (nacional, regional, local o ...de cuenca, de corredor fluvial, de tramo, de sitio).

Estudio diagnóstico, proposición de defensas fluviales y plan de manejo del Río Tinguiririca. Tramo: Puente Talcaehue hasta Puente Errázuriz, Región de O’Higgins de IRH Ingenieros Consultores Ltda. (Agosto 2010)

El estudio tras analizar los antecedentes y redactar el diagnóstico del tramo de proyecto, presenta a nivel preliminar un programa de medidas estructurales constituido por obras de defensa fluvial en el corto y mediano plazo, en sectores específicos de mayor riesgo; mejoramiento de las bocatomas de canales de riego existentes y lineamientos generales para el desarrollo de un programa de reforestación de riberas en los sectores críticos del cauce en estudio, y, siempre a nivel preliminar, un programa de medidas no-estructurales a poner en práctica en el corto y mediano plazo, relacionadas básicamente con las siguientes acciones:

- Planes de Contingencia
- Programa de Educación Ambiental.
- Plan de Ordenamiento del Cauce.
- Programa de Promoción del Plan.

Finalmente, presenta un Análisis Ambiental asociado a las medidas estructurales y no-estructurales propuestas para el río Tinguiririca.

El monto total de inversión previsto es de 14 mil quinientos millones de pesos chilenos aproximadamente.

Idea de proyecto “Corredor fluvial río Tinguiririca”

Llegar a definir un corredor fluvial apropiado, es decir una franja de territorio donde se le permite al río expresar su dinámica natural, pero controlándola con intervenciones ambientalmente amigables de manera de permitir un desarrollo económico más seguro en las zonas aledañas y de contar con los servicios ambientales brindados por un ecosistema en buen estado.

Para ello, se plantea tomar una mirada del río como sistema integral, considerando su comportamiento geomorfológico natural, su evolución y los efectos de las intervenciones en el largo plazo. El concepto de respetar la dinámica geomorfológica natural de los cauces se puede visualizar con la siguiente imagen (de tipo cualitativo, es decir se trata por ahora sólo de un dibujo ilustrativo y no de una definición real para el territorio en cuestión; las líneas de color más internas representan las obras de defensa existentes en la actualidad o previstas inicialmente por el proyecto preliminar DOH):



El tipo de acciones propuesto es:

- Definir el corredor fluvial con base en un adecuado conocimiento del comportamiento hidrogeomorfológico del cauce basado en un estudio específico que contemple la evolución histórica y, antes que todo, geológica de la zona, el transporte sólido y la hidrología
- Mantener los límites externos del corredor fluvial a través de obras de defensa “durmientes” y de terraplenes perfectamente integrados en el paisaje con laderas de pendiente suave que permitan desarrollar actividades compatibles (agrícolas); y sobretodo defender los asentamientos humanos y las infraestructuras con obras específicas: defender el objeto en vez de aislar el río entero”. En casos específicos, remodelar o hasta relocalizar viviendas en zona de particular riesgo
- Controlar el cauce tratando de mantenerlo más o menos donde se encuentra hoy pero no con obras duras (enrocados, gaviones,...), sino más bien en lo posible con defensas vivas (vegetación de ribera) y técnicas de bio-ingeniería, asociadas con remodelación morfológica periódica
- Manejar la extracción de áridos de manera científicamente basada, a través de un monitoreo permanente de la topografía y morfología del cauce y aplicando criterios compatibles y sostenibles que aseguren de no provocar daños ni a los bienes ni al ambiente, mientras que se brinda un servicio a la comunidad dirigiendo el comportamiento del río
- Valorizar ambientalmente el corredor fluvial creando una faja reforestada con especies nativas capaz de brindar servicios ecosistémicos empezando por la preservación del paisaje, la creación de un filtro frente a la contaminación difusa procedente del territorio agrícola, la

creación de un entorno agradable para esparcimiento y recreación, y la captura de carbono como contribución a la lucha al cambio climático

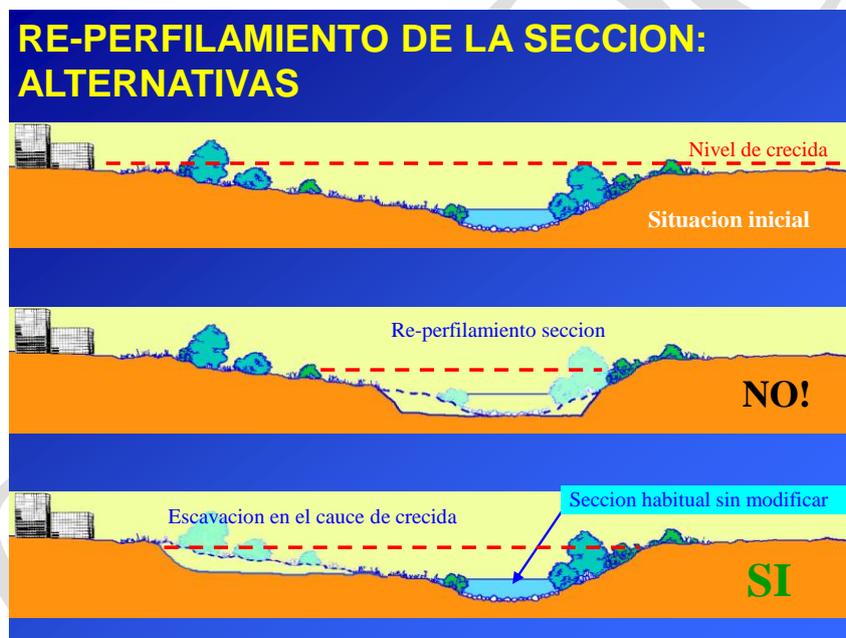
- Zonificar, reglamentar y velar por un uso del suelo dentro del corredor que sea compatible con la dinámica hidro-morfológica que prevé que, de vez en cuando, la zona pueda albergar volúmenes de inundación justamente para amortiguar el fenómeno y reducir los daños aguas abajo. Se trata de trabajar de manera conjunta y coordinada con las municipalidades para que la propuesta sea coherente con los Planos Reguladores Intercomunales.
- Construir un mecanismo administrativo-financiero que apunte a no perjudicar los propietarios de los predios involucrados y, al contrario, minimizar los costos globales de gestión redistribuyendo ventajas y desventajas de forma equitativa
- Desarrollar e instalar un sistema de alerta temprana
- Informar y educar a la población sobre el comportamiento del río y sus funciones, capacitar y preparar a todos para situaciones de emergencia



Tipo de intervenciones propuesto para mantener el corredor fluvial: i) izquierda arriba: terraplén para evitar el desbordamiento fuera del límite externo (líneas naranjas en la figura central), pero perfectamente integrado en el paisaje, con laderas de pendiente suave aptas para realizar algunos tipos de actividades productivas (el río se encuentra a la izquierda); ii) derecha abajo: espigones en enrocado suelto durmientes sepultados y franja vegetada longitudinal para evitar que el cauce salga del límite externo asignado (en caso de crecida importante, estos elementos pueden verse destruidos en cual caso hay que reponerlos a través del manejo constante del cauce).



Ejemplo de río “masacrado” por extracciones de áridos sin criterio ni control (agujeros profundos en pleno cauce, abandonados) y proposición de criterios y mecanismos para el manejo de las extracciones de áridos que a la vez pueden servir como medida de control del cauce.



En algunos casos tiene sentido modificar la sección del cauce a través de movimientos de tierra. El principio en general es de todos modos evitar de crear secciones artificiales muy anchas y planas; más bien, se trata de crear secciones “multi-estadio” (figura abajo) interviniendo en la zona del “cauce mayor” (es decir de crecidas superiores a las de bancas llenas) manteniendo en lo posible el cauce natural. Esto asegura mantener los procesos y no dañar al ecosistema fluvial, obteniendo el efecto deseado de una mayor capacidad hidráulica (hay que considerar sin embargo que esto puede conllevar una mayor sedimentación si las velocidades bajan demasiado).

Cabe destacar que, a final de cuentas, la idea es que este tipo de solución puede resultar más económico, en el largo plazo, en comparación con la clásica secuencia de obras que periódicamente se dañan y hay que reconstruir, como evidenciado por la experiencia europea. Conceptualmente, los ahorros de dinero público por obras no construidas y por tanto no mantenidas en el futuro, exceden las pérdidas productivas debidas a las restricciones de uso del suelo y falta de protección de la franja de territorio más interna del corredor. Es decir, la motivación fundamental es más económica que ambiental.

Naturalmente se trata de una solución que tiene sus dificultades y es necesario madurar un mecanismo de administración del sistema territorio-usuarios capaz de distribuir de forma equitativa y soportable las desventajas, ligadas esencialmente a un diverso uso del suelo en el corredor fluvial. Sin embargo, las ventajas son claras y evidentes: más seguridad verdadera, más valor ambiental, más oportunidades económicas, menores costos de gestión del sistema, entre otras.

Como pueden existir en la comunidad intereses en parte contrapuestos, particularmente cuando se miran a nivel local, es necesario construir de forma fuertemente participativa las posibles alternativas de solución y ellas se deben evaluar de forma integrada, comparando abiertamente ventajas y desventajas, para llegar a una solución de negociación.

Objetivos del proyecto propuesto

Generales

- proponer y experimentar en Chile un modelo de gestión fluvial innovador y sostenible social, ambiental y financieramente, evitando los errores cometidos en otros Países del mundo y capaz de concretar algunos elementos clave de una política de adaptación frente al cambio climático en Chile
- fomentar un proceso de discusión y maduración a nivel nacional y , en particular, promover un diálogo más profundo entre responsables de la planificación territorial-urbanística y uso del suelo (Ministerio de Viviendas, Bienes Raíces, Municipalidades) y los del manejo de cauces fluviales (Ministerio Obras Públicas-DOH, DGA) y del ambiente y recursos naturales (MinAmbiente)

Específicos

- Definir de forma participativa un corredor fluvial para el Tinguiririca, desde el punto de vista físico y administrativo, incluyendo la experimentación de técnicas de intervención con bioingeniería y remodelación morfológica a integración de las obras “duras” de la ingeniería hidráulica clásica, la reglamentación del uso del suelo en su interior y mecanismos de compensación y valoración de los servicios ambientales
- Activar mecanismos de monitoreo y manejo sostenible técnico-financieros y legal-administrativos
- Capacitar el personal involucrado de servicios públicos y empresas
- Contribuir a la información y concientización de los actores relevantes, creando cultura, sensibilidad y educación en tema de manejo fluvial
- Impulsar las actividades turístico-recreativas y un proceso general de mejora y valorización del ambiente en la cuenca del Tinguiririca.

En realidad, el proyecto que se está visualizando vendría siendo un plan de manejo integrado del cauce y territorio anexo que abordaría -en un plazo adecuado de tiempo- no sólo al tema riesgo hidro-morfológico, sino también al tema régimen hídrico, calidad del agua y cultura-valorización recreativo-turística. En efecto, la idea de fortalecer los lazos entre el río y los moradores de la zona es al tiempo una necesidad y una gran oportunidad. Por ejemplo, qué sentido tiene tener una “ruta del vino”, iniciativa encomiable que valoriza un producto de la tierra y del agua, dando prestigio y valor al territorio, y al mismo tiempo descuidar completamente el elemento que más caracteriza el paisaje y las actividades humanas: el río? Estos temas, sin embargo, se enfrentarían en una fase sucesiva del proceso.

Actividades

- 0) Diseño, organización y conducción de un **proceso participativo** según el modelo de “Contrato de Río”: i) constitución mesa de agua ampliada y diseño de su organización (comité de gestión , responsable de proceso,...); ii) identificación actores clave, caracterización de relaciones y organización; iii) constitución organismos de gestión del proceso; iv) Difusión de la iniciativa (folleto informativo, diario, radio, TV, web,...); v) fases y

plan encuentros temáticos; vi) documentación (posters, informes, ...); vii) ejecución encuentros, entrevistas y encuestas; viii) formalización acuerdos logrados y establecimiento modalidades de financiación y gestión permanente.



Los pasos clave de un proceso decisional ambiental participativo.

1) **Diagnóstico:** se detallan parcialmente sólo algunos ítems donde la actividad es menos intuitiva:

- a) *Caracterización geomorfológica:* i) tipologías fluviales; ii) faja de divagación histórica del cauce de banca llenas y paleo-cauces; iii) evolución experimentada por el cauce y causas; iv) vegetación de ribera y corredor y de cuenca actual y natural; v) equilibrio-inestabilidad; vi) disponibilidad de sedimentos para explotación.

NOTA: en este proyecto no se plantea utilizar las tecnologías más avanzadas porque para aplicaciones se necesita algo relativamente rápido y funcional; las tecnologías más avanzadas son más adecuadas para investigación-científica. Se plantearán para el futuro seguimiento y manejo adaptativo.

Detalles: i) *tipologías fluviales*

Metodología/Atributos	Información necesaria	Información disponible	Observaciones
Aplicación del enfoque River Styles (2): geología y geomorfología de la zona y relieve; unidades de paisaje, confinamiento, perfil y pendiente del valle y del cauce, trazado en planta cauce de bancas llenas ("bankfull"), geometría sección, formas en el corredor, formas en el cauce	Fotografías aéreas recientes; topografía (curvas de nivel, DEM); mapa geológico y geomorfológico; levantamiento en terreno	mosaico de fotos montado al SIG con: fotos 1:20000 del 2009 y fotos 1:25000 del 1992 del tramo de proyecto, además hay 72 fotos aéreas del 2004 a ortorectificar y 21 fotos obliquas del 2005. La DOH de Rancagua posee además 10 fotos aéreas de 1978 1:30000 en papel, Curvas de nivel IGM 1:50000. Mapas geológico, geomorfológico, hidrogeológico y de	En esta etapa las cotas del cauce (perfil longitudinal) y las secciones pueden ser determinados de forma aproximada, siendo el fin la identificación y clasificación del

² Brierley Gary J. and Kirstie A. Fryirs (2005). Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework. Blackwell Publishing, Carlton –Australia (pp.398).

		suelo de la VI región. Perfiles transversales : 32 a escala 1:10000 levantados en 2008, distancia max entre ellos 400 m por 6 km aguas arriba y abajo del Puente de la Ruta 5; 54 perfiles levantados en 2009 por IRH en un tramo de 6 km, escala 1:1000, distancia max 1 km	comportamiento
caudal de bancas llenas, potencia específica	Geometría de la sección, pendientes y tipología de materiales	Además de los perfiles transversales (ver arriba), existe un perfil longitudinal entre Puente Talcarehue y Errazuriz según el mapa IGM 1:50000	
Granulometría	Observación visual	5 calicatas efectuadas por IRH en 1992 entre San Fernando y Santa Cruz	Como nota anterior

Detalles: ii) faja divagación histórica y paleocauces

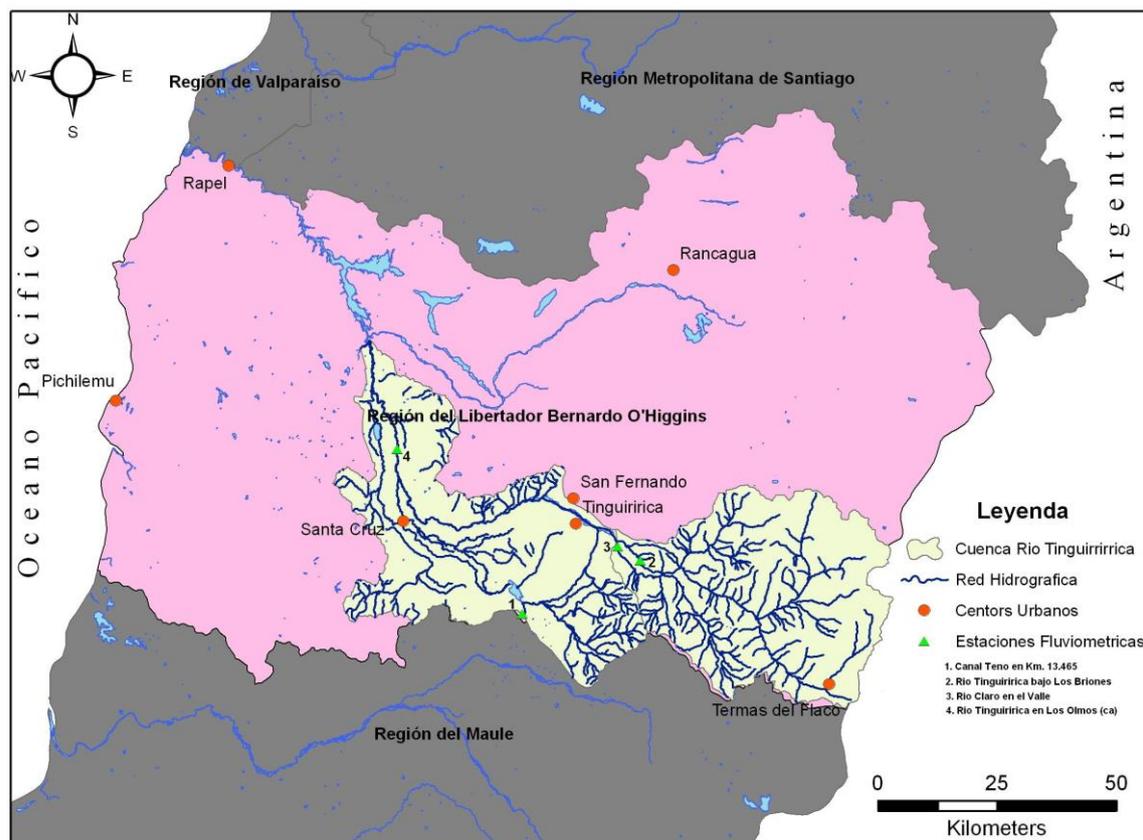
Metodología/Atributos	Información necesaria	Información disponible	Observaciones
Envolvente cauces activos; identificación formas características en el corredor y en el cauce; calicatas en el corredor fluvial y datación de sedimentos	Fotografías aéreas recientes anteriores hasta las más antiguas; fotos de tierra; mapas y documentos históricos; relatos de viajeros; topografía (DEM de mayor detalle); mapa geológico y geomorfológico; observaciones en terreno;	Fotos: ver arriba Mapa de 1860 del Museo de Colchagua en Santa Cruz. Mapas geológico, geomorfológico, hidrogeológico y de suelo de la VI región.	El mapa existe pero aún no se pudo conseguir

Detalles: iii) evolución experimentada por el cauce y causas

Metodología/Atributos	Información necesaria	Información disponible	Observaciones
Cálculo de indicadores sintéticos para variación del : ancho, eje, tipología, cotas de los distintos tramos del río. Estimación de variaciones de volumen de sedimentos en el cauce. Reconstrucción del “historial del cauce” para relacionar causas a efectos (secuencia crecidas relevantes ; extracción de áridos: sitios , períodos, cantidades; represas y derivaciones; cambio uso del suelo; etc.).	Faja divagación (cauces históricos); fotografías aéreas y secciones topográficas en distintas fechas (de más antiguas a más recientes); inspección de obras; investigación en archivos históricos. DEM aproximado del cauce en distintas fechas. Registro hidrológico; rastros de eventos en el territorio (“testigos mudos”); testimonios históricos. Entrevistas a extractores y otros actores	Estudio cualitativo de IRH de la evolución de la faja de divagación con fotos aéreas de 1978, 1992 y 2009.	

Detalles: iv) vegetación de ribera y corredor y de cuenca actual y natural

Metodología/Atributos	Información necesaria	Información disponible	Observaciones
Cálculo de indicadores sintéticos en relación a: ancho faja vegetada de ribera; número especies; presencia alóctonas; estructura población y comparación con estado de referencia	Fotografías aéreas; levantamientos en terreno; investigación en archivos históricos y otras cuencas para intentar identificar el estado de referencia	Mosaico de fotos montado al SIG con: fotos 1:20000 del 2009. Mapas de la UdeC de la VI región con cobertura vegetal, comunidades bióticas, SNASPE.	Probablemente hay algo más con el CIREN nacional y quizás el SEREMI VI Región.



Detalles: *v) Equilibrio-inestabilidad (está agradando, profundizando, en equilibrio?)*

Metodología/Atributos	Información necesaria	Información disponible	Observaciones
Análisis del “equilibrio dinámico” en todo el cauce (inclusive aguas arriba y abajo del tramo de mayor interés antrópico): variaciones recientes plano-altimétricas y de formas fluviales; diferencial capacidad de transporte de sedimentos; evidencias en terreno (orillas en erosión; raíces expuestas; vegetación y cota de las barras; anomalías en la granulometría;...).	Fotografías aéreas recientes (la última y una de 10-20 años anterior); secciones transversales en distintas fechas; caudales para distintos tiempos de retorno y geometría del cauce: pendiente y secciones (para aplicar fórmulas de transporte sólido); levantamientos en terreno	Fotos y perfiles: ver arriba. Caudales máximos medidos por DGA en las estaciones de Tinguiririca Briones, Claro, Chimbarongo y Olmos (3) Cálculo de caudales para tiempos de retorno de IRH (ver Tabla 1). Perfil longitudinal entre Puente Talcarehue y Errazuriz según el mapa IGM 1:50000	
Granulometría	Método fotográfico, más muestras volumétricas en cada tramo y en distintas facies	5 calicatas efectuadas por IRH en 1992 entre San Fernando y Santa Cruz	En esta etapa es necesario levantar de forma más precisa la granulometría, inclusive distinguiendo la capa superficial y el colchón completo

³ Periodos de datos disponibles: 06033009-3 CANAL TENO EN KM. 13.465: 2002-2011
 06028001-0 RIO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES: 1921-1930 1937-1941 1947-1983 1983-2011
 06027001-5 RIO CLARO EN EL VALLE 1970-2011
 06035001-9 RIO TINGUIRIRICA EN LOS OLMOS CA: 2002-2011

Detalles: vi) Disponibilidad de sedimentos para explotación (cuántos áridos se pueden extraer y dónde?)

Metodología/Atributos	Información necesaria	Información disponible	Observaciones
Balance de sedimentos : i) identificación de fuentes de sedimentos (tributarios, laderas, terrazas erosionables, barras y socavación cauce) y sumideros (represas, zonas de deposición en el cauce y corredor, extracción áridos); ii) estimación transporte sedimentos con calibración fórmula específica para el Tinguiririca en distintos tramos; iii) balance de sedimentos y comparación con extracciones actuales	Fotografías aéreas; levantamientos en terreno. Medición de transporte sólido (muestreo en suspensión y de fondo con muestreador Helley Smith ⁴ ; rastreo del desplazamiento de granos marcados para estimar el estado de movimiento incipiente ⁵); datos secundarios de sólidos suspendidos y caudales; geometría cauce para aplicación fórmula de transporte de sedimentos de fondo. Estimación extracciones actuales.	Estimación de la extracción de áridos en el tramo entre los puentes Talcahué y Errazuriz al año 2009, según las concesiones (361 mc)	La estación de medición de la DGA en Los Briones (06028001-0) debería medir también el arrastre de sedimentos en suspensión, quizás se pueda obtener alguna información más.

- b) **Riesgo hidromorfológico:** i) **Amenaza hidro-morfológica:** identificación de zonas de inundación histórica a escala gestional; zonas inundables por distintos tiempos de retorno (T_R); rasgos de crecidas significativas del holoceno; zonas de probable erosión y tasas; colapso de cortinas de embalses artificiales; ii) **Daño expuesto y vulnerabilidad:** caracterización de uso del suelo y propiedad de la tierra; viviendas; infraestructuras sensibles; iii) **Respuestas:** identificación y caracterización de las obras de defensa y aprovechamiento e infraestructuras existentes y existidas (ubicación, tipología, tamaño, fecha, objetivo, efectos); estimación costos soportados para el control de inundaciones en el pasado

Detalles: vi) Amenaza hidro-morfológica

Metodología/Atributos	Información necesaria	Información disponible	Observaciones
Zonas inundadas históricamente	Entrevistas; investigaciones históricas; fotografías aéreas y satelitales	Antecedentes históricos de inundaciones con revisión periodística 1978-	

⁴ Método de parcela fotográficas y uso de software Digital Gravelometer que dan buenos resultados, rápidos y repetibles.

⁵ Otro método prometedor es el levantamiento topografía de un tramo de cauce y seguimiento fotográfico del desplazamiento barras después de unas crecidas. Sin embargo, se plantea como opción más adecuada para el seguimiento y manejo adaptativo posterior.

		2006 Mapa de zonas inundadas elaborada por IRH	
Zonas inundables para distintos T_R (2, 5, 10, 50, 200, 500): simulaciones con modelo mono y bi-dimensional (con Hp rol embalses y escenarios ruptura cortinas)	Topografía de detalle del cauce (secciones cada 250 m o, mejor, DEM de levantamiento LIDAR o laser scanner); granulometría; hidrogramas desde modelo precipitación-escorrentía calibrado (curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la región; uso del suelo, topografía cuenca)		En ausencia de indicaciones específicas para Chile, se hará referencia a la experiencia y normativa de otros países. En el proyecto SERELAREFA se empezó a experimentar modelos 2D (INFOWORKS); vale la pena profundizar ese ejercicio.
Zonas interesadas por el paso de cauces fluviales	Faja de divagación histórica (ver punto anterior); fotos aéreas; calicatas en la planicie y terrazas; entrevistas e investigación histórica en archivos		
Zonas erosionables: extrapolación cuali-cuantitativa desde tendencias recientes y razonamientos geomorfológicos	Fotografías aéreas recientes; levantamientos de terreno	Estudio cualitativo de IRH de la evolución puntual con fotos aéreas de 1978, 1992 y 2009.	

- c) Hidrología (además de lo necesario para el capítulo riesgo): i) régimen hidrológico natural en distintos tramos; ii) alteración debida a las hidroeléctricas
- d) Actividades socio-económicas ligadas actuales al río y su entorno además del uso del suelo (extracción áridos, irrigación, turismo,...)
- e) Escenarios de desarrollo territorial futuro y planes/proyectos previstos (planes territoriales-urbanísticos, proyectos energéticos-hidroeléctricos o no, caminos, implantaciones agrícolas-pecuarias, rellenos sanitarios, plantas de tratamiento aguas residuales,...). Importante es también definir escenarios de cambio climático en relación tanto a los eventos extremos de crecida como a los de sequía. Ya existe un ejercicio parcial elaborado por cuenta del MinAmbiente grupo cambio climático
- 2) **Visión y objetivos:** construcción de una visión común, definición de objetivos y recolección de opciones de solución (entrevistas y taller)
- 3) **Alternativas** de solución para el diseño del corredor fluvial con óptica multiobjetivo: identificación de opciones y líneas de acción y de una estrategia organizada y definición de alternativas correspondientes a distintos intereses/objetivos. Las ideas clave ofrecidas por la Recuperación Fluvial ya han sido expuestas anteriormente en forma resumida en el párrafo "Idea clave" al cual se remite. Esencial es la recolección de ideas de solución ofrecidas por los distintos actores y el análisis cabal de su factibilidad desde todos los puntos de vista. La idea es diseñar de forma realmente participativa escuchando los distintos puntos de vista. Es un ejercicio que requiere su tiempo.

4) Evaluación de alternativas

- a) Definición de *metodología* y *criterios* de evaluación integrada ⁽⁶⁾: costos – beneficios, impacto ambiental, multicriterio incluyendo sostenibilidad financiera
 - b) *Predicción de efectos* con modelación matemática y juicio de expertos para cada alternativa, incluyendo la estimación del costo de inversión y mantenimiento implicado
 - c) *Análisis* y preparación de la información para la evaluación integrada
 - d) *Evaluación integrada* y ordenamiento de las alternativas
- 5) **Negociación** transparente y elección consensuada de la alternativa socialmente preferida
 - 6) **Diseño definitivo** de las intervenciones físicas
 - 7) Definición y activación del **plan de monitoreo**
 - 8) **Divulgación**: elaboración de material (informe, presentación PowerPoint, posters, cartillas, videos, CD,...) divulgativo para difundir los conceptos elaborados a nivel nacional chileno y Latinoamericano, aprovechando la red SERELAREFA; encuentros, talleres; participación a congresos

Productos esperados de la Etapa I

- Metodología de implementación de corredores fluviales aplicable en Chile central
- Informe de difusión con pautas para replicar la experiencia aprendiendo de los errores y éxitos
- Encuentro nacional
- Para el caso de estudio específico: Definición cartográfica del corredor fluvial sostenible propuesto, uso del suelo asociado, plan de manejo de la extracción de áridos, diseño y realización de las intervenciones correspondientes, sistema de monitoreo geomorfológico activo
- Propuesta de contrato de río suscrito entre las partes incluyendo mecanismos de interacción socioeconómica; llegar a la firma es un reto bastante ambicioso porque requiere un proceso de maduración que puede usualmente llevar años ; de todos modos, la idea es intentar lograr esta meta
- personal DOH capacitado
- artículos científicos pertinentes sometidos a revista internacional para ser publicados

Colaboradores y roles

- *promotor político/co-financiador*: Gobierno regional
- *promotor técnico y posible co-financiador*: Ministerio Obras Públicas (MOP): Dep.to de cauces fluviales nacional y regional-DOH
- MOP: Dirección General de Aguas (DGA) nacional y regional
- *Facilitador proceso decisional*: Ministerio Medio Ambiente nacional y regional
- Ministerio de Vivienda
- Ministerio de Agricultura
- Ministerio de Bienes Nacionales (competentes en la fijación de los deslindes de los cauces)
- Municipalidades

⁶ Se plantea adoptar la metodología presentada en Nardini A. and S. Pavan (2012). River restoration: not only for the sake of nature, but also for saving money while addressing flood risk. A decision making framework applied to the Chiese River (Po basin-Italy). *Journal of Flood Risk Management*. Blackwell Publishing (UK). (in prensa, enero 2012).

- Mesa de agua
- CONAF
- ONEMI
- SERNATUR Oficinas de turismo
- Juntas de vigilancia y asociaciones canalistas
- Co-financiador: Empresas hidroeléctricas (Tinguiririca energía, ...)
- ONGs locales y otras fundaciones
- Medios de comunicación (radio, TV, prensa)

Otros actores

- Gremios productivos
- CIREN (Centro Información Recursos Naturales)
- INH Instituto Nacional de Hidráulica (www.inh.cl)
- SERNAGEOMIN: <http://www.sernageomin.cl>
- SAF: Servicio aerofotogrametrico de la armada (<http://www.saf.cl/>);
- IGM Instituto Geografico Militar (<http://www.igm.cl/>)

Con el apoyo técnico de:

- Centro del Agua VI Región
- Universidad de Concepción
- CIRF (Italia)
- UPM (España)

Equipo de trabajo

Competencias requeridas: núcleo central

- Geomorfología fluvial
- Ingeniería hidráulica fluvial (modelación matemática)
- Hidrología
- Evaluación integrada, economía ambiental
- Procesos participativos y gestión de conflictos

Competencias complementarias:

- Desarrollo territorial, urbanística y avalúo catastral
- Aspectos legales-jurídicos
- Geología y geomorfología general
- Manejo de cauces fluviales (intervenciones hidráulicas , bio-ingeniería)
- Vegetación y forestación
- Ecología acuática (o biólogo o limnólogo)

Estructura del equipo:

- responsable del proyecto (Project manager) (preferiblemente ingeniero o abogado; experiencia en conducción de proyectos complejos y manejo de recursos financieros)
- coordinador metodológico general y supervisión técnico-científica (ingeniero civil o ambiental; competencia trans-disciplinaria de nivel internacional; experiencia comprobada de al menos 10 años en recuperación fluvial y disciplinas asociadas; experiencia de coordinación técnico-científica de equipos complejos; dominio del español escrito y hablado fluido; experiencia previa en Chile)

- coordinador geomorfología (especialización en geomorfología fluvial; experiencia comprobada en estudio de sistemas fluviales en Chile; capacidad de dirección de equipos en el campo)
- responsable proceso participativo y comunicación (ciencias sociales, abogado o ciencias naturales; experiencia en organización de procesos de participación pública; capacidad y experiencia en organización de eventos)
- expertos sectoriales (para cubrir los aspectos mencionados anteriormente)
- asistentes (grado universitario) y personal técnico
- logística (movilización, viajes, materiales, comidas, alojamientos,...)

BORRADOR

Duración, costos y financiación

Duración

El proyecto es complejo y además de necesitar una fase de estudio profunda, sobretodo en términos de comportamiento geomorfológico -lo que necesita capturar algunos eventos de crecida, involucra mucha interacción entre actores a nivel de la comunidad local y a nivel inter-institucional. Todo esto requiere tiempo. Se estima que una duración razonable es de 18 meses.

Costos

Los capítulos de costo se refieren a:

- levantamientos topográficos geomorfológicos inclusive con tecnología avanzada
- otras campañas de terreno y eventuales equipamientos necesarios (calidad del agua, idoneidad a distintos usos,..)
- profesionales nacionales e internacionales que conducen el estudio científico y manejan el proyecto
- profesionales que conduce el proceso participativo
- gastos de logística incluyendo misiones internacionales
- edición y publicación del dossier y material informativo

NOTA: los ítems relativos a:

- adquisición de material vegetal vivo para las intervenciones
 - implementación de trabajos físicos
- se estimará en la Etapa II. Ahora sólo se estima el costo del estudio-diseño

El costo total es en fase de estimación con un monto total probable entre 150 y 200 millones \$ ch.

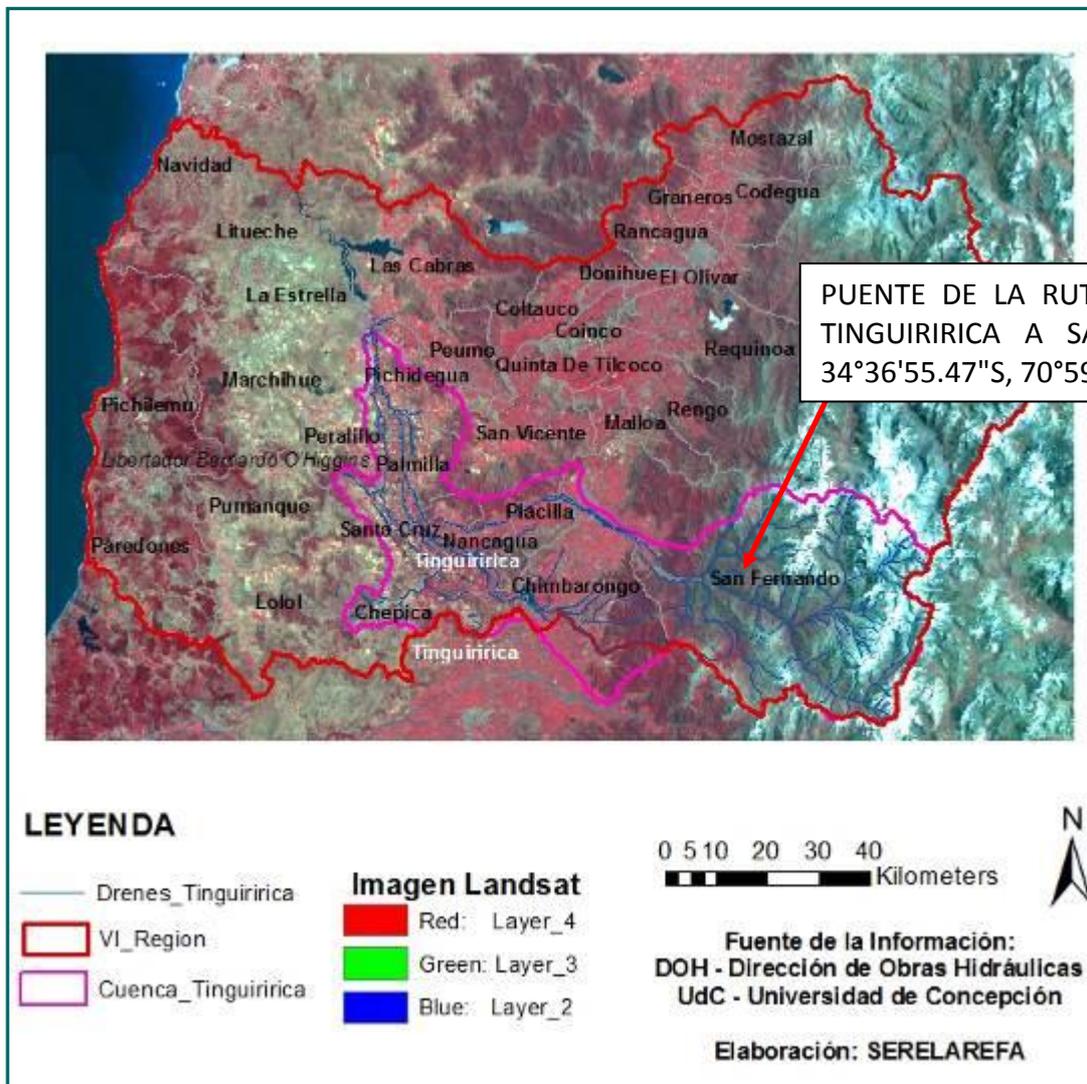
Financiamiento

Sustancialmente este proyecto (Etapa I) podría ser financiado de tres maneras: a) Directamente por la DOH-MOP; b) a través de Fondos REgionales FNDR, mediante una presentación de la DOH; y c) a través de Fondos Regionales (FIC) mediante la UdeC; sin embargo, esta última opción es poco factible ya que el proyecto implica cambios de usos de suelos y otros aspectos de reglamentos y legales.

La fase de ejecución de las intervenciones (Etapa II) podría ser financiada por la DOH-MOP. Finalmente, el monitoreo y seguimiento podría ser financiado por Empresas hidroeléctricas.

Un punto clave es definir cómo se realizaría la Etapa I. Hacerlo a través de una licitación sería problemático porque sería muy difícil definir términos de referencia suficientemente detallados, y contar con una consultora externa suficientemente preparada, para que de verdad se llevara a cabo el estudio así como concebido, y con la debida competencia en todos los asuntos que involucran temas científicos, gestionales y de otro tipo muy innovadores, trans-disciplinariedad y co-participación de diferentes instituciones y actores.

Caso de estudio “Corredor fluvial del Río Tinguiririca VI Región” – Antecedentes técnicos



El río Tinguiririca nace con el nombre de río Las Damas del volcán Tinguiririca en las inmediaciones de la línea fronteriza. Corre en dirección Norte-Sur, pero en las Vegas del Flaco cambia de dirección y, con un cauce ya bien conformado, corre con rumbo general noroeste, que mantiene durante todo su curso. Recibe como afluentes importantes, aún en plena cordillera, por el norte a los ríos Azufre y Clarillo y por el sur al río Claro.

El Tinguiririca abandona el ámbito cordillerano en el sector denominado Isla de Briones, lugar donde descarga el río Claro un caudal medio de 12 m³/s. Luego el río baja al Valle Interandino. El valle del río Tinguiririca aquí tiene unos 5 km de ancho promedio y está delimitado por cordones de cerro continuos hasta el lugar de San Gregorio, más abajo del cual se abre, llegando a tener más de 12 km de extensión. Poco antes de juntar sus aguas con las del Río Cachapoal y desembocadura en el embalse Rapel, el río recibe el caudal del estero Chimbarongo.

El clima pasa de ser Alpino con zonas de tundra aguas arriba, y luego Mediterráneo más aguas abajo, Mediterráneo de tipo continentalizado en la Depresión Central y más cerca de la costa aumenta la humedad. De todas formas hay veranos secos y calurosos y un periodo lluvioso invernal y a principio de la primavera.



La evolución del Río en lo largo de los años se concreta más que nada en las características puntuales, ya que los procesos de erosión y sedimentación afectan las riberas. En algunos casos las riberas se extendieron utilizando terrenos agrícolas mientras que en otros casos sucedió lo contrario, y los agricultores recuperaron terrenos para cultivos. Transformaciones parecidas a este ejemplo que se encuentra a continuación se pueden observar en todo lo largo del río.

Ilustración 4: fotos aéreas de 1978, 1992 y 2009, sector que se ubica 6 km aguas abajo de San Fernando. En rojo el eje fluvial, los números indican la distancia en metros del puente Talcaehue, aguas arriba de San Fernando. En azul la posición de las riberas en 2009.

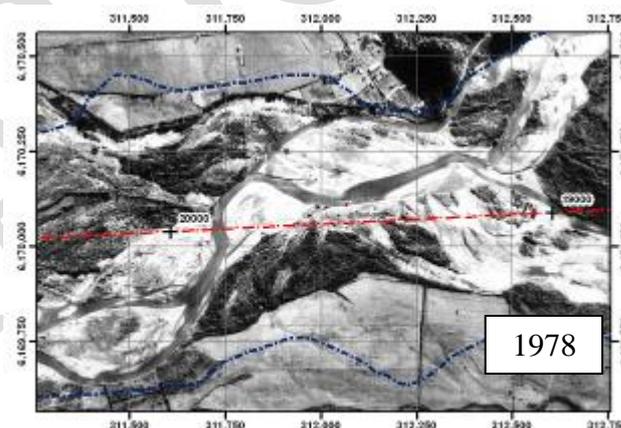
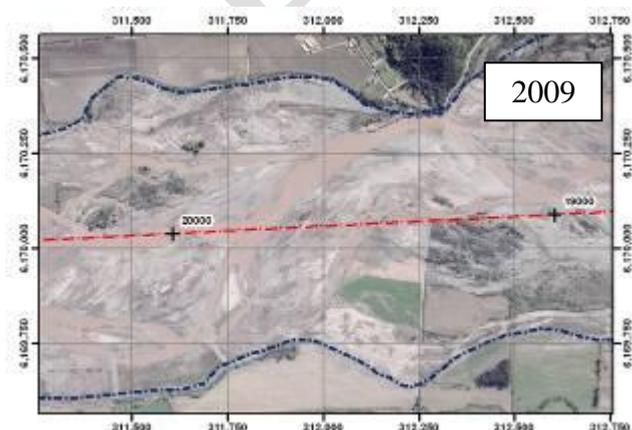
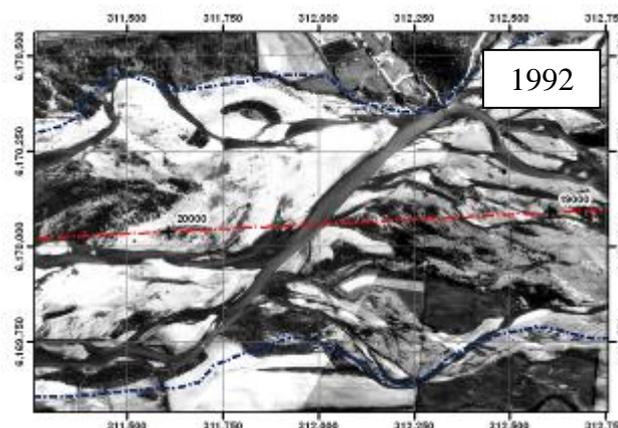


Ilustración 5: el Río Tinguiririca cruzando el valle estrecho en la Cordillera (sitio “desfiladero La Jaula”) y más abajo en el Valle.



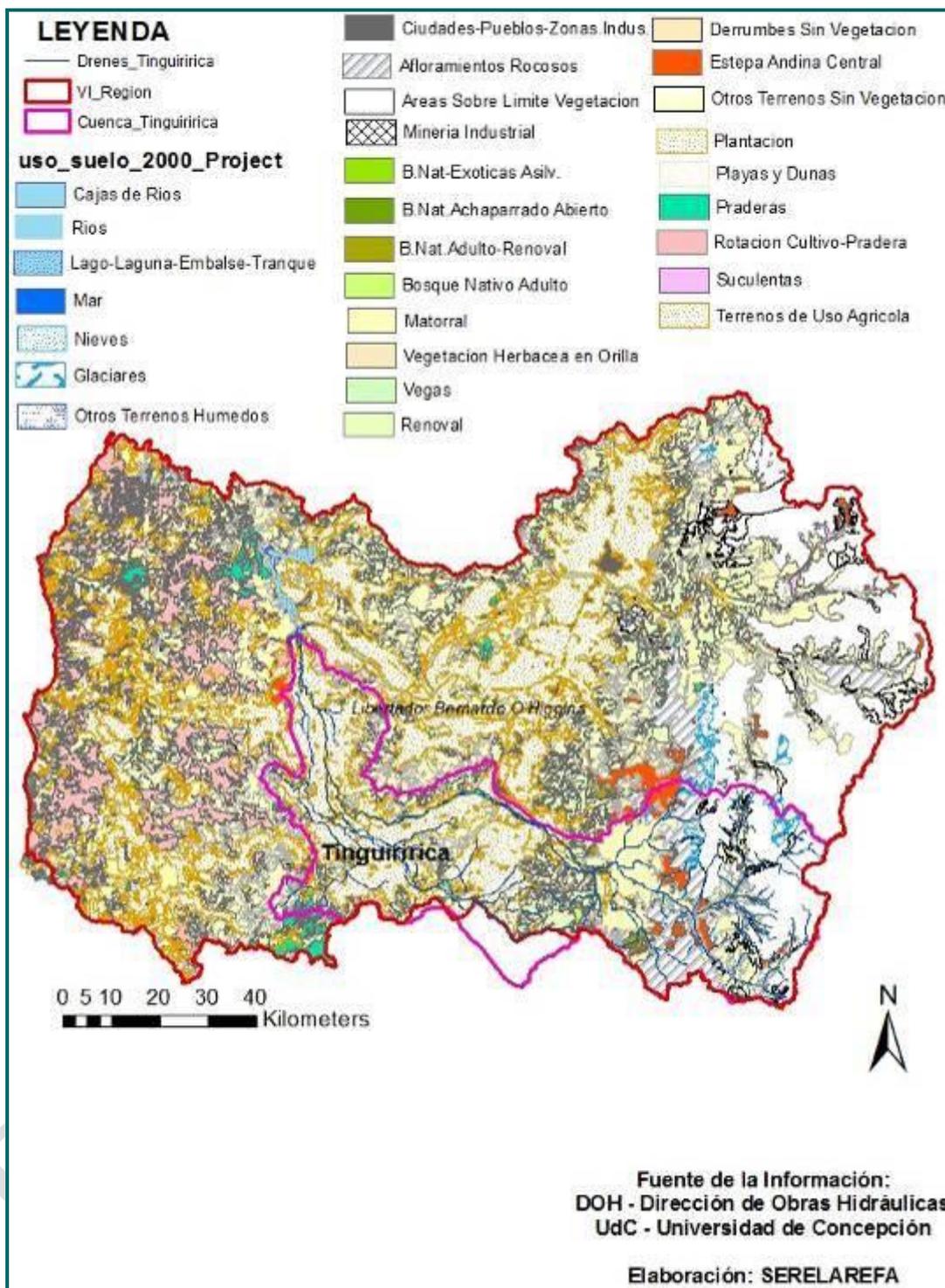
Uso del suelo en la cuenca

El río pasa a través de la ciudad de San Fernando (más de 60.000 habitantes) y de poblaciones menores como Chimbarongo (35.000) y otras, pero la cuenca tiene una vocación principalmente agrícola, viñas (de donde La Ruta del Vino), frutales y otros cultivos. De hecho, uno de los primeros circuitos turísticos del vino creados en Chile, las viñas de Colchagua fueron reconocida como la «Mejor Región Vitivinícola del



Mundo 2005», premio que por primera vez en su historia fue otorgado a una región vitivinícola de Sudamérica. El cultivo de las viñas se puso en marcha a partir del siglo XVI, por los Jesuitas, y luego en el siglo XIX fueron introducidas variedades como Merlot, Cabernet Sauvignon y Malbec, que son cultivadas todavía. Los cerros de la Cordillera Occidental no están cultivados hasta la cumbre y conservan grandes superficies a matorral, a veces utilizado para pastoreo.

Ilustración 6: viñas y, a la derecha, defensas vivas para proteger la ribera de la erosión provocada por el río que se encuentra poco más allá.



El riesgo hidráulico

El territorio que va de San Fernando a Santa Cruz ha sido afectado por inundaciones y fuertes procesos erosivos, que han traído como consecuencia cuantiosos daños en la propiedad privada y en el espacio público.

De un breve resumen de los mayores acontecimientos relacionado con las crecidas del Río Tinguiririca queda claro como cada año los vecinos de las Comunas ribereñas tienen que enfrentarse con la preocupación de desbordamientos y daños consecuentes. En los años en los que no hubo inundaciones,

los diarios locales siempre señalan eventos menores pero que de todas formas implican problemas para la población, como corte de caminos y puentes por ejemplo.

En la medida que continúa el desarrollo tanto urbano como rural y el emplazamiento de proyectos inmobiliarios en el área de influencia del río Tinguiririca, aumenta la vulnerabilidad de la población residente y los riesgos para las inversiones en infraestructura y equipamiento.

De consecuencia, en los años pasados hubo una considerable inversión en obras de defensas, y al día de hoy se calcula que en el tramo en el que el río cruza los cultivos y los centros poblados, alrededor del 70% de la longitud total de sus riberas están protegidos por gaviones, muros de enrocados, espigones. La mayor parte de estas obras se encuentra en las comunas de San Fernando, Chimbarongo y Placilla.

Infraestructuras e intervenciones en el cauce

Sobresale el número de bocatomas para abastecer los canales de regadío, 32, la mayoría de las cuales de tipo artesanal, como pretiles en material sacado del río o de tipo “pata e cabra” o, por último, constituidas por tubos de acero corrugado o HDPE. De ellas, 14 son construidas en hormigón armado con compuertas metálicas. Los canales también están afectados por las crecidas del río, y las bocatomas por las variaciones repentinas del flujo.

Además hay ocho puentes, de los cuales unos es peatonal, que presentan una longitud que en muchos casos no alcanza el ancho del cauce y el Puente Errazuriz fue diseñado con las cepas orientada diagonalmente respecto al sentido del flujo. Otro problema es la socavación de las cepas.

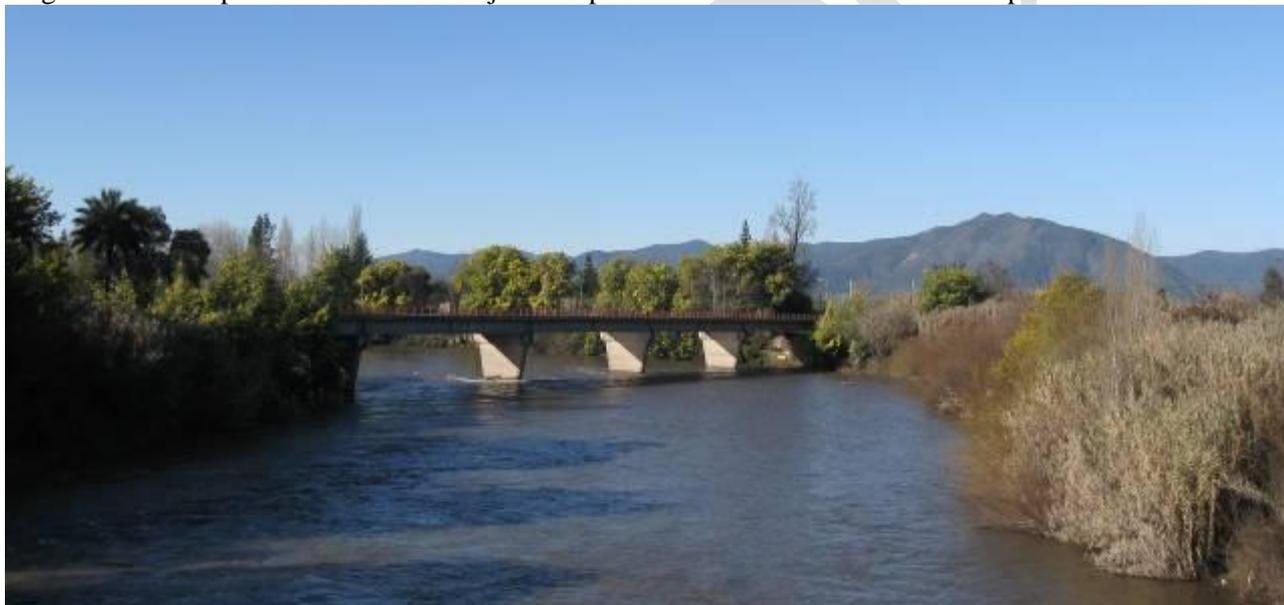


Ilustración 7: puente Errazuriz que provoca angostamiento del cauce. Sus cepas, además, no están orientada según la dirección del flujo.

El cauce del Tinguiririca está explotado para la extracción de áridos, lo que constituye una alteración del estado del cauce mismo ya que en algunos casos se provoca la desviación del escurrimiento principal hacia zonas potencialmente inundables mediante la construcción de pretiles de material fluvial o la formación de pozones que, una vez abandonados, son utilizados por bañistas. Es frecuente, además, que los sectores utilizados y abandonos por las empresas extractoras se vuelvan puntos de descarga de escombros. En el año 2009 las concesiones emitidas permitían hasta un total de 361,2 metros cúbicos de volumen.

Uso del agua y conflictos

Los agricultores del sector (más de 6.300 regantes) están organizados en 60 Asociaciones de Canalistas. Cada año se calcula una estimación del caudal que será proporcionado por cada acción, en función de las previsiones de lluvias y de agua disponible pero las bocatomas artesanales no permiten una medición exacta.

Aguas arriba, en la Cordillera, hay dos centrales hidroeléctricas en marcha desde el 2010, dos que están en construcción y otros proyectos en fase de evaluación. Las dos centrales existentes son clasificadas

como de pasada pero si tienen piscinas de cargas, que están autorizadas a utilizar en temporada de invierno, pero los canalistas lamentan que debido a la sequía de los años 2010 y 2011 las piscinas son utilizadas también en época de verano y eso disminuye el caudal que llega a los canales de riego aguas abajo. Los canalistas además no pueden prever los horarios y los días en los cuales serán soltados los caudales, por falta de comunicación, y eso puede provocar daños en las bocatomas y dificultades en planear las operaciones de riego.

Otro tema de conflicto está relacionado con los permisos otorgados por las Comunas a las empresas que realizan actividades de extracción de áridos del cauce fluvial. Desgraciadamente no existe una fiscalización hacia las plantas así que las mismas Comunas que otorgan los permisos no pueden controlar que la extracción efectiva cumpla con los volúmenes visados por la DOH.

En algunos sectores, sobre todo en la Comuna de Palmilla donde hay mayor concentración de faenas, existen pozos resultados de la actividad extractiva y en otros se destacan fenómenos erosivos de las laderas y del fondo que sobre todo aguas arriba de la Ruta 5 podría provocar problemas de socavación del puente en caso de crecidas del río.