

Se analiza la amenaza fluvial sobre el área de Valdivia de Paine (Comuna de Buin, RM.) en función de los factores hidrogeomorfológicos, de los registros pluvio y fluviométricos y de la morfología de los lechos fluviales. A nivel regional, se determina que la subcuenca del Río Angostura puede generar crecidas más torrentosas que la cuenca superior y media del Río Maipo, pero no más caudalosas. El índice de Gravelius indicó para la subcuenca del Angostura una compacidad de 1,4 puntos, y para la cuenca del Maipo, 1,66 puntos. Los tiempos de concentración se estimaron en 8 hrs. / 45 minutos para el Río Angostura, y en 10 hrs. / 30 minutos para el Río Maipo. A escala local, la morfometría del lecho menor indica para el Río Maipo una capacidad de evacuación crítica de 417,36 mtrs³/seg. en el sector de Punta Lo Chacón, y para el Río Angostura, 51,66 mtrs³/seg. en el sector de Lo Chacón. Estos valores son bastante inferiores a los caudales instantáneos pronosticados bajo condiciones hidrológicas extremas. Los caudales extremos asociados a los Ríos Maipo y Angostura corresponden a 1.129,86 mtrs³/seg. y a 758,61 mtrs³/seg., respectivamente. En teoría, estos gastos se asocian a una probabilidad de ocurrencia del 20% sin embargo, las capacidades de evacuación del lecho menor en el área de Valdivia de Paine, advierten una probabilidad mayor a la señalada. Los lechos mayor periódico y mayor episódico, también son espacializados para conocer las áreas expuestas a inundaciones con probabilidades de un 2% y de un 1%, respectivamente. Luego, se analiza la viabilidad territorial de explotar áridos desde el lecho menor de los Ríos Maipo y Angostura como una medida para corregir el déficit de cauce en el área de Valdivia de Paine. Se define un sistema industrial tipo, analizando las explotaciones ubicadas en la sección media del Río Maipo. En base a teoría, cartografías e información primaria, se infieren las condiciones geográficas fundamentales para la implementación de un sistema tipo. De la contrastación entre estas condiciones y el espacio geográfico en Valdivia de Paine, se determina una viabilidad parcial en ambos lechos fluviales. La limitante común y más relevante es el distanciamiento de Santiago, el cual puede variar entre 22 y 48 kms. dependiendo de las rutas de transporte. Las mayores desventajas del Río Maipo son la cercanía de viviendas a su lecho fluvial y el estrechamiento del lecho menor, ambas dentro del tramo Lo Chacón-Punta Lo Chacón. Las desventajas del Río Angostura son más numerosas y se refieren a la irregularidad topográfica, a la concentración del flujo en un canal angosto con tendencia meándrica y a la cercanía entre el sector de Los Liberales y de Lo Chacón, con el cauce habitual. Se determina que la viabilidad geográfica de implementar un sistema industrial es mayor en el lecho del Río Maipo. Se concluye que la hidrodinámica del sistema Maipo-Angostura deriva de la condición templada que controla las pps., la isoterma 0°, la L.N.E. y las áreas aportantes. Esta hidrodinámica ha modelado en Valdivia de Paine, lechos fluviales poco definidos, con un déficit de cauce crítico en Lo Chacón y Punta Lo Chacón. En cuanto a la viabilidad geográfica de una explotación industrial sustentable, se concluye que las mejores condiciones extractivas se encuentran en el lecho menor del Río Maipo, entre el Puente Lonquén y el sector de El Bosque. Paralelamente, se reconoce a los sectores de La Puntilla de Lonquén y Las Pircas en la ribera NW del río, como las mejores alternativas de localización para una planta de procesamiento.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
 MINISTERIO DE MINERÍA
 INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
 MINISTERIO DE MINERÍA

CONTENIDO

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	6
3.1. Objetivo General.	6
3.2. Objetivos específicos.	6
4.1. Metodología	6
5.1. Sistema natural: daño y desastre.	8
5.2. El riesgo y sus factores.	8
5.3. Amenaza fluvial.	9
5.4. Gestión del riesgo y de la amenaza.	10
6.1. Enfoques.	11
6.2. Etapas metodológicas.	11
6.2.1. Caracterización hidrogeomorfológica de la Cuenca Maipo-Angostura.	11
6.2.2. Determinación de la amenaza fluvial y de su espacialidad en Valdivia de Paine.	18
6.2.3. Caracterización del sistema productivo asociado a una explotación típica de la sección media del Río Maipo.	20
6.2.4. Determinación de las condiciones geográficas fundamentales para la implementación de un sistema de explotación tipo.	22
6.2.5. Establecimiento de la correspondencia entre el área-problema y las condiciones geográficas de implementación.	23
7.1. Conclusiones	24

□□□□□□□□□□□□□□□□□□	94
10.1. Análisis regional.	94
10.1.1. Morfogénesis en el área meridional.	94
10.1.2. Variación del nivel freático en el área meridional.	95
10.1.3. Comportamiento hidrológico del sistema Maipo-Angostura.	96
10.2. Análisis local.	102
10.2.1. Morfodinámica en el área-problema.	102
10.2.1.1. Interfase coluvio-aluvial.	102
10.2.1.2. Disecciones sobre conos regulares.	103
10.2.1.3. Escarpes ribereños y balance de disección.	104
10.2.2. Saturación hídrica del acuífero en el área-problema.	105
10.3. Análisis puntual.	105
10.3.1. Confluencia Maipo-Angostura.	105
10.3.2. Capacidades de evacuación límite.	106
10.4. Validez de los pronósticos sobre caudales instantáneos.	111
10.5. Diferenciación espacial de los lechos fluviales.	112
10.6. Implicancias ambientales de la explotación industrial de áridos en lechos fluviales.	113
10.7. Factores de localización industrial en la sección media del Río Maipo.	119
10.8. Desventajas geográficas para la implementación industrial en el área-problema.	120
□□□□□□□□□□□□□□□□	121
□□□□□□□□□□□□□□□□	123
□□□□□□□□□□□□□□□□	125
13.1. Autores.	125
13.2. Citas especiales.	129



Localizada en el extremo meridional de la Depresión de Santiago, en uno de los rincones culturales más pintorescos de la Región Metropolitana, se encuentra la localidad de Valdivia de Paine. Perteneciente al municipio de Buin, esta localidad y sus alrededores reúnen una población aproximada de 3000 habitantes (I.N.E. 2002).

Cercado por cordones de baja montaña y por los lechos fluviales de los Ríos Maipo y Angostura, este asentamiento agrícola goza de un particular paraje natural, cuya belleza y potencialidad turística ha sido poco explotada. No obstante, los componentes de este paisaje local poseen propiedades que frente a condiciones hidrológicas extremas, pueden potenciar procesos altamente dañinos y destructivos para la comunidad. De acuerdo a los hechos registrados y a la percepción de los lugareños, los Ríos Maipo y Angostura constituyen una amenaza innegable para la población, la infraestructura y las actividades cotidianas. Desde hace varias décadas que la evacuación de los caudales extremos, tanto en época estival como invernal, ha generado procesos de erosión de los escarpes ribereños, saturación hídrica del acuífero y extensas inundaciones por desborde. A su vez, estas últimas han derivado en pérdidas de cultivos, daños a las viviendas, aislamiento de sectores habitados y deterioro de las condiciones sanitarias.

Generalmente, el problema de la amenaza fluvial en Chile se ha tratado de manera implícita en estudios sobre riesgo por inundación. Entre 1986 y 1987, el Departamento de Hidrología de la D.G.A. (M.O.P.) desarrolló un estudio titulado “Investigación de sistemas de alerta de crecidas fluviales, Regiones V, VI, VII y Metropolitana” motivado por los grandes temporales que afectaron al país en los años anteriores. Sin embargo, el documento explicativo carece de una definición explícita sobre riesgo o amenaza de inundación, ello a pesar de que se indica que el diseño del sistema contemplará pronósticos de caudales y estimaciones sobre daños potenciales. Por otra parte, las cartografías elaboradas definen zonas potenciales de inundación, pero no especifican sobre áreas de vulnerabilidad socioeconómica (habitantes, infraestructura, capacidad de resistencia, etc.). A pesar de que la carta representativa de Valdivia de Paine posee la mayor escala de todas las elaboradas (1:45.000), su gráfica es pobre y considera escasas referencias espaciales para la definición de límites en terreno. Por último, las unidades definidas corresponden a una misma y única categoría, no distinguiéndose entre áreas con mayor o menor probabilidad de ser afectadas por procesos de inundación.

En 1999, el Gobierno Regional Metropolitano (GORE) desarrolló el proyecto “Bases para el ordenamiento territorial ambientalmente sustentable de la Región Metropolitana de Santiago (O.T.A.S.)”. Uno de los componentes ambientales que se consideró en el Inventario ecológico y territorial fue el hidrológico. En la elaboración de la cartografía sobre áreas inundables, los conceptos de riesgo y amenaza son poco tratados en relación al de inundación, el cual es definido como el *“desbalance entre el volumen a evacuar y la capacidad de evacuación de un cauce en un determinado lugar y momento”* (FERRANDO, 1999). La escala cartográfica es de 1:100.000 diferenciándose tres tipos de áreas de riesgo de inundación; alto, medio y bajo. Estos niveles derivan del análisis de la recurrencia temporal y territorial de las inundaciones, de la morfología de los cauces, de la posición geomorfológica, del desarrollo de vegetación freatófita y del contacto hidrodinámico entre cursos fluviales. En relación a esto último, se define un área altamente inundable de tipo lagunar y que deriva de la defectuosa confluencia entre los Ríos Maipo y Angostura. Si se trasladara a esta cartografía la delimitación realizada en el estudio del año 1987, seguramente coincidiría con lo que en este trabajo se delimitó como

áreas de riesgo alto y medio. La escala 1:100.000 no ofrece el detalle suficiente sobre aquellos elementos claves de la superficie y que constituyen parte de los límites de los distintos tipos de inundación. Esta característica restringe la aplicación de la tipología propuesta a una planificación de carácter local, por problemas de escala.

Al igual que el caso anterior, la espacialización de áreas inundables en el estudio "Remociones en masa e inundaciones en la cuenca de Santiago" ejecutado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) en el año 2001, se realizó sobre una cartografía base de escala regional 1:100.000. La cartografía final mantiene bastantes similitudes con la del Proyecto O.T.A.S. Su autor menciona algunas consideraciones del trabajo de FERRANDO y CUETO (1999). Sin embargo, la principal diferencia está en la definición de áreas inundables tanto por crecidas fluviales como por aguas lluvias. Además, la cartografía expresa una zonificación del "peligro de inundación" y no del riesgo pues según su autor *"el concepto de peligro se distingue del riesgo, en cuanto este último comprende la cuantificación de daños potenciales (BELL, 1988)"*. En lo concreto, el área de Valdivia de Paine se encuentra mayormente calificada como área de moderado y bajo peligro de inundación por lluvias. La zona amenazada por crecidas es restringida al lecho menor y mayor periódico de los Ríos Maipo y Angostura. El cuerpo lagunar delimitado por el Proyecto O.T.A.S. reaparece en esta cartografía con bastante similitud. Finalmente, el autor advierte que *"considerando la escala de este trabajo, debe tenerse en cuenta que la planificación local de obras futuras requerirá de mayor información y por consiguiente, de la realización de estudios específicos (VILLARROEL, 2001)"*.

A pesar de todos los diagnósticos realizados, la población de Valdivia de Paine parece aceptar el desarrollo de las inundaciones y mantiene su interés por permanecer en el lugar. Probablemente, la estacionalidad de estos procesos, la baja plusvalía de los terrenos y la construcción reciente de obras fluviales, ha promovido esta actitud. Si bien, en los últimos 10 años se ha extendido el muro de contención que protege la ribera SE del Río Maipo y se han canalizado aproximadamente 1.000 mtrs. de cauce del Río Angostura aguas arriba del Puente Valdivia de Paine (sector crítico), persiste la necesidad de seguir implementando estas medidas estructurales. No obstante, existe la inquietud de que la implementación exclusiva de muros de contención al interior de lechos fluviales extremadamente llanos y con escasa pendiente, puede contribuir a la sedimentación progresiva del cauce, incrementando peligrosamente la altura del talweg. Por ello, aparece como no recomendable manejar la erosión de las riberas y las inundaciones de los terrenos adyacentes sólo en base a la construcción de muros de contención fluvial.

En virtud de la realidad expuesta y de los criterios señalados, el propósito de esta investigación se orienta a precisar los factores regionales, locales y puntuales que determinan la amenaza fluvial en Valdivia de Paine, y a determinar la posibilidad de localizar un sistema de explotación de áridos que utilice el superávit acumulado en el área-problema, pasando a constituir una externalidad positiva para el encauzamiento de los cursos fluviales. El efecto deseado con esta intervención, es una explotación responsable de los lechos fluviales que sea capaz de regularizar la forma del cauce habitual (rectificarlo) e incrementar su capacidad hidráulica para evacuar las crecidas extremas. El sistema contemplado para ello, corresponde a un modelo industrial (alteración de materias primas), de configuración standard (sistema tipo), tamaño medio (producción anual entre 50.000-100.000 mtrs.³), carácter inofensivo (según S.E.S.M.A.), extracción mecanizada, procesamiento húmedo y control de efectos ambientales.

Una experiencia reciente que puede respaldar la implementación de un sistema industrial en Valdivia de Paine, lo constituye la solicitud realizada por la Constructora de Obras civiles "Yelcho S.A.". Durante los dos últimos meses, la Dirección de Obras Hidráulicas del M.O.P. junto a la Ilustre Municipalidad de Paine han resuelto la entrega definitiva de un área de extracción delimitada entre los Puentes Águila Norte y Champa en la localidad de Hospital. De acuerdo al proyecto, el área contempla una longitud de 1500 metros, un ancho de 30 metros y una cubicación aproximada de 63.373 mtrs³. La finalidad de esta explotación es el abastecimiento de áridos para la construcción del camino Águila Norte y conjuntamente, el encauzamiento del Río Angostura para la reducción de los desbordes y de la erosión de las riberas. Esta explotación posee un carácter ocasional y su proyección temporal es de corto plazo.

En definitiva, el desarrollo de esta memoria no sólo entrega un diagnóstico territorial sobre la amenaza fluvial en Valdivia de Paine sino también, analiza la posibilidad de implementar una medida estructural atípica para la reducción de las inundaciones por desborde, como lo es la explotación industrial de áridos. En rigor, este trabajo no constituye un estudio de impacto ambiental sobre esta actividad económica sin embargo, las implicancias sobre el medio natural y las medidas recomendadas para su manejo, son tratadas con especial énfasis en el contexto hidrogeomorfológico y de amenaza fluvial que caracteriza al área de Valdivia de Paine.

□□□□□□□□□□ □□□□ □□□□□□□□ □□□□ □□

Un desastre en la eventualidad de que ocurra, suele afectar tanto a las personas como a los sectores productivos e infraestructura física y de servicios, derivando en un empeoramiento de las condiciones de vida de la población y alterando sus actividades cotidianas (ESPINOZA y MORELLO, 1983). Lamentablemente, en América Latina y el Caribe, la frecuencia con que suceden los desastres posee una indudable tendencia al aumento. Sólo entre 1900 y 1998 se registraron 1.069 desastres, casi 400.000 muertos y 151 millones de personas afectadas. Prácticamente todos los países de América Latina y el Caribe han sido afectados (CEPAL, 1998, 1999; MORA y BARRIOS, 2000). Las estadísticas internacionales mantenidas por organizaciones como el Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de Desastres de la Universidad de Louvaine-EMDAT, la Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna, o el Munich Reinsurance Group, nos hablan de un incremento de hasta un 500% en las pérdidas asociadas con eventos hidrometeorológicos durante los últimos 7 años. Motivada por esta realidad, Naciones Unidas ha realizado proyecciones en las que se estima que para el 2050 las pérdidas por desastres ascenderán a US\$ 300 mil millones y 100 mil vidas anuales (LAVELL, 2003). Lamentablemente, las catástrofes derivadas del maremoto que afectó al SE asiático en el año 2004 y los numerosos huracanes sobre las costas del Golfo de México durante el 2005, están validando esta proyección.

Chile, por su posición geográfica en el margen activo de la placa sudamericana (zona de subducción), y por las características del medio natural, es un país constantemente afectado por fenómenos naturales extremos (BRIGNARDELLO, 1997). En muchas ocasiones estos fenómenos han derivado en desastres naturales que también son frecuentes dentro de nuestro país (URRUTIA y LANZA, 1993; JAMETT y FERRANDO, 1996). El territorio chileno se encuentra permanentemente expuesto a la ocurrencia de eventos geofísicos de variable índole e intensidad. Fenómenos tales como terremotos, tsunamis, corrientes oceánicas cálidas (ENOS), erupciones volcánicas, movimientos en

masa e inundaciones entre otros, constituyen eventos cuyas características catastróficas han significado durante el presente siglo importantes pérdidas para el país, tanto en términos de vidas humanas como materiales (LARRAIN, 1992). RIFFO (1992) cataloga a las inundaciones como uno de los cinco principales desastres naturales que se han presentado en Chile. ESPINOZA y HAYEK (1988), estimaron que entre los años 1977 y 1987 las inundaciones ocurridas en distintas regiones del país provocaron la muerte de 236 personas, 1.061 heridos, 230 desaparecidos, 441.482 personas damnificadas, 1.206 caminos cortados, 481 puentes severamente dañados y 247 localidades aisladas. Dos años más tarde, ESPINOZA (1990) especifica que entre las regiones Metropolitana y IX (33° y 39° de latitud Sur) se concentra el área con mayor frecuencia de inundaciones y los mayores daños a la vivienda, la infraestructura y números de damnificados.

Específicamente, el punto de confluencia entre los Ríos Maipo y Angostura dentro de la Región Metropolitana, fue catalogado por el M.O.P. (1994) como uno de los 35 sectores inundables “críticos” ubicados en la sección media e inferior del Río Maipo. Precisamente, el pueblo de Valdivia de Paine se localiza en el interfluvio de ambos ríos, a una distancia de 2 Kms. hacia el oriente de la confluencia. El registro más antiguo sobre daños ocasionados por el Río Maipo en esta área, corresponde al 23 de Agosto de 1953. Ese día, el Maipo destruyó totalmente las defensas fluviales próximas a la localidad de Valdivia de Paine (EL MERCURIO DE SANTIAGO, 1953).

Para la D.G.A. (*op. cit. B*) Valdivia de Paine y sus alrededores constituyen un área crítica frecuentemente inundada por el Río Maipo y en ocasiones por el Río Angostura. Sólo en los años ochenta (Foto N° 1), las inundaciones por desborde llegaron a afectar a 6.000 lugareños (B.F. INGENIEROS CIVILES, 1987).

□□□□□□□□(Orientación SW) Camino hacia Peralillo en el sector del Puente Valdivia de Paine. Inundación derivada de la crecida de Junio de 1986. El puente fue sobrepasado casi totalmente por el nivel de las aguas del Río Angostura aislando a la población asentada en la ribera SSW. (Foto BF Ingenieros civiles).



Una de las últimas manifestaciones extremas fueron las ocurridas en Mayo del 2002. El Río Angostura se desbordó cerca del Puente de Valdivia de Paine aislando el sector de Peralillo (ribera W) y el sector de Lo Chacón, e inundando terrenos bajos del área como el sector de Los Liberales (Foto N° 2). Además, el puente principal resultó severamente dañado, por lo que se debieron ejecutar obras de reconstrucción y encauzamiento parcial. Por su parte, el Río Maipo amenazó varios puntos de su ribera SE durante ese día.



□□□□□□□□(Orientación S). Calle Manuel Rodríguez y camino Los Liberales. Inundación provocada por el Río Angostura tras la crecida de Mayo del 2002. El agua en este sector alcanzó aproximadamente un metro de profundidad. (Foto poblador).

Un problema particular que presentan los caudales del Río Maipo y que agudiza la amenaza de inundaciones por desborde, es que sus aguas muestran una excesiva turbidez debido a los sólidos en suspensión y al arrastre de fondo (NIEMEYER Y CERECEDA, 1984). En consecuencia, el Río Maipo ha acumulado un superávit de sedimentos a lo largo de su lecho, dispuesto principalmente entre Lonquén y Melipilla en volúmenes importantes. Esta acumulación ha disminuido la altura de las riberas (R.E.G. INGENIEROS CONSULTORES, 1998) a causa de la colmatación parcial del cauce. Frente a esta situación, las numerosas obras de defensa fluvial que se han construido en el lecho del Río Maipo dentro del área estudiada, acusan una deficiencia para corregir estructuralmente el déficit de cauce, puesto que han actuado como diques de contención no tan sólo para las aguas de las crecidas, sino también para los sedimentos. En virtud de la situación expuesta, la problemática que sustenta este trabajo queda formulada de la siguiente manera:

“Desarrollo recurrente de desbordes e inundaciones hacia terrenos agrícolas y urbanizados del área de Valdivia de Paine, derivados tanto de la hidrodinámica del Sistema Maipo-Angostura como de la implementación insuficiente de medidas estructurales orientadas a incrementar la capacidad de evacuación hídrica de los cauces”.

Ante la imposibilidad de controlar los factores naturales que detonan este tipo de procesos, es posible mejorar o adecuar los ambientes naturales dentro de las cuencas junto con crear ambientes artificiales diseñados para soportar o minimizar los efectos catastróficos de estos eventos (AYALA, 1991). En este contexto, la Geografía tiene la oportunidad de aplicar sus conocimientos y métodos a cuestiones fundamentales para la supervivencia y la calidad de vida humana (GUERRA y OÑATE, 1980). Con esta motivación se plantea la posibilidad de intervenir los lechos fluviales para propender a disminuir el desarrollo de los desbordes sobre Valdivia de Paine, a través de la implementación de un sistema industrial de explotación de áridos que aproveche el superávit acumulado. Organismos estatales y privados ligados al tema, reconocen que *“la extracción en los cauces se utiliza para facilitar los escurrimientos de las aguas y así evitar los costosos trabajos de encauzamiento de un río”* (CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, 2001). Esta valoración permite considerar a la explotación industrial como una opción real para reducir estructuralmente los desbordes e inundaciones sobre un área determinada, si fuese factible. La idea propuesta surge de un enfoque moderno sobre “Gestión del riesgo” (KEIPI *et al.*, 2005) promovido en los últimos años por la Organización de las Naciones Unidas y por el Banco Interamericano del Desarrollo, entre otras instituciones. Este enfoque promueve la participación de la empresa privada en el Sistema de Protección Civil, terminando con la competencia exclusiva de la administración pública.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

Analizar la amenaza fluvial y la viabilidad geográfica de implementar un sistema industrial de explotación de áridos como medida estructural para el manejo de los cauces fluviales en el área de Valdivia de Paine, Comuna de Buin.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

1. Caracterizar la Cuenca hidrográfica del Sistema Maipo-Angostura, en función de los factores hidrogeomorfológicos que condicionan su comportamiento hídrico.
2. Determinar la amenaza y la espacialidad de las inundaciones por desborde en el área de Valdivia de Paine.
3. Caracterizar el sistema productivo asociado a una explotación industrial típica de la sección media del Río Maipo.
4. Determinar las condiciones geográficas fundamentales para la implementación y operación de un sistema de explotación tipo, en la sección media del Río Maipo.
5. Establecer la correspondencia entre las características de los lechos fluviales en el área de Valdivia de Paine y las condiciones geográficas de implementación.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

De acuerdo al problema y a los objetivos definidos, el área de estudio de este trabajo corresponde a la cuenca hidrográfica que enmarca al sistema de drenaje Maipo-Angostura (Figura N° 1), y que abarca una superficie total de 7.143,2 kms.² La superficie que alcanza la cuenca andina del Río Maipo y la subcuenca precordillerana del Río Angostura aguas arriba del punto de confluencia, corresponde a 5.579,2 kms.² (78,1% del área total) y 1.564,0 kms.² (21,9% del área total), respectivamente. El área de estudio constituye gran parte de la sección superior y media de la Hoya hidrográfica del Río Maipo cuyo exutorio se encuentra en la localidad de LLolleo, comuna de San Antonio (V región).

La divisoria de aguas que delimita las nacientes de la cuenca del sistema Maipo-Angostura, coincide en gran parte con los altos cordones y cumbres andinas del límite con Argentina, alcanzando una altitud máxima de 6.570 m.s.n.m. (Volcán Tupungato). Hacia el W, la divisoria recorre las estribaciones de los principales cordones andinos hasta alcanzar la Depresión Central donde luego de seguir por los puntos más altos del relleno sedimentario, asciende por las proyecciones orientales de la Cordillera de la Costa con dirección hacia el poniente. Dentro de este sector de la cuenca, el límite NW del área de estudio, se proyecta por la Depresión Central sobre el relleno sedimentario y los cerros islas próximos al lecho del Río Maipo (Cerros: Lonquén, Lo Herrera, El Cerrillo, Las Cabras y Vizcacha).

El área delimitada guarda conformidad con los criterios hidrográficos aplicados en la identificación de cuencas de drenaje. Paralelamente, el área de estudio captura la espacialidad regional de los diversos factores que inciden en los desbordes sobre el área de Valdivia de Paine. Vale recordar que pocos metros aguas abajo de esta localidad, se haya el punto de confluencia de los Ríos Maipo y Angostura a una altitud de 331,6 m.s.n.m.



Fuente: Elaboración propia en base al estudio G.O.R.E. (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago) (1999), "Proyecto O.T.A.S.". Cartografía base de la Región metropolitana, 1:100.000 (escala original).

□□□□□□□□ □□□□ □□□□ □□□□ □□

□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

Dentro del sistema natural, diversos procesos extremos acontecen por un aporte energético excepcional desde un subsistema hacia otro, o bien, por la liberación de energía potencial almacenada en algún componente, superando los umbrales usuales en que tales procesos ocurren (BRIGNARDELLO, *op. cit.*). En referencia a ello, TRICART (1965) plantea que estos acontecimientos se explican mediante la Teoría de los umbrales. Cada elemento o proceso de la naturaleza posee un umbral energético que separa los estados de equilibrio e inestabilidad.

Cuando los procesos naturales se desarrollan sobre un ambiente construido y/o social, adquieren características de impactos negativos sobre la globalidad del medio, generando condiciones que alteran la habitabilidad del área afectada (CONAMA, 1997). El daño asociado a los eventos de carácter natural, está en función de la intensidad y el comportamiento de estímulos naturales que se correlacionan directamente con la ocupación territorial (ESPINOZA y HAJEK, 1989). Los daños causados por los procesos naturales se pueden ver agravados por factores antropogénicos como la inadecuada utilización del espacio, entre otros (MORA, 1995; MORA y BARRIOS, 2000). Cuando un suceso natural causa alteraciones intensas que exceden la capacidad de respuesta de la comunidad afectada, se estará frente a un desastre (ONEMI, 1998). Los desastres son siempre el resultado de acciones del hombre y son eventos sociales antes que acontecimientos físicos (QUARANTELLI, 1986), por lo que resulta imposible disociarlos de la presencia humana (ESPINOZA, *op. cit.*). Ellos se concretan en forma de daños y pérdidas que afectan diferenciadamente a grupos sociales y territorios (LAVELL, *op. cit.*).

Los fenómenos naturales extremos constituyen un serio obstáculo para el desarrollo económico y social de los países (UNDRO, 1977). Para reducir los desastres asociados, se requiere determinar la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos y conocer los umbrales de los factores que los controlan (BRIGNARDELLO, *op. cit.*) y que sirven como detonador (LAVELL, *op. cit.*). Esta probabilidad constituye parcialmente situaciones de riesgo. Se debe entender que el desastre corresponde a la materialización del riesgo (LARRAIN y HOUSLEY-SIMPSON, 1994) es decir, a su concreción y realización (LAVELL, *op. cit.*), siendo su análisis un paso esencial para la prevención.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□

Los desastres son el resultado de riesgos no manejados, ya que las situaciones de riesgo anteceden al desastre y lo anuncian LAVELL (*op. cit.*). Definiciones sobre riesgo existen muchas no obstante, es posible reconocer un lineamiento o enfoque dominante entre diversos planteamientos teóricos. VARNES (1984; en HAUSER, 1993) define riesgo como el número esperado de pérdidas humanas, heridos, daños a la propiedad o perturbación de la actividad económica. Posteriormente, CARDONA (1991) señala que el riesgo es la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias sociales, económicas o técnicas en un cierto territorio y período de tiempo. TILLING y PUNONGBAYAN (1993) coinciden con esta idea expresando que el riesgo corresponde a “la probabilidad de pérdidas de vidas humanas, propiedades, capacidad productiva. etc., dentro de un área determinada.” En sus últimos trabajos, KEIPI *et al.* (*op. cit.*) termina por definir al concepto como la probabilidad de pérdidas, en un tiempo específico y en un punto geográfico definido.

El riesgo involucra la existencia de una condición objetiva latente que anuncia la posible ocurrencia de un evento considerado negativo, presagia probables daños y pérdidas futuras y finalmente, puede acarrear una reducción en el desarrollo pleno de algún componente socioeconómico (LAVELL, *op. cit.*). KIENHOLZ (1992) expresa que no hay riesgo si no existe una potencialidad de procesos peligrosos, así como de daños o pérdidas de carácter humano y/o material. El riesgo siempre estará asociado a algún grado de incertidumbre dentro de las probabilidades que representa (CARDONA, 2002, 2003). Por esta razón, el concepto de riesgo es sinónimo de inseguridad, mientras que el de desastre, un reflejo de insostenibilidad (LAVELL, *op. cit.*).

La Oficina Panamericana de la Salud / OMS (1991) señala que el riesgo se obtiene de la relación entre dos factores: la amenaza y la vulnerabilidad. La vulnerabilidad interactúa con las amenazas para perfilar condiciones amplias de riesgo, dimensionadas en forma diferenciada tanto en lo social, como en lo territorial (LAVELL, *op. cit.*). KEIPI *et al.* (*op. cit.*) agrega que mientras los sucesos naturales no son siempre controlables, la vulnerabilidad sí lo puede ser. La amenaza es un componente de orden natural o antrópico, generalmente de carácter externo y representado por la ocurrencia potencial de un determinado suceso (ONEMI, *op. cit.*) o mecanismo de expresión concreta, altamente modificador. Estos sucesos derivan de elementos que poseen límites físicos (ríos, laderas, etc.), pero cuyos efectos trascienden hacia un “área de influencia o de efectos negativos” (MENESES, 1996). Por otra parte, la vulnerabilidad es un componente de carácter interno que se concibe como la exposición a la amenaza y la disposición o resistencia al daño (ONEMI, *op. cit.*). En este contexto, los asentamientos humanos pueden encontrarse territorialmente superpuestos a las áreas de influencia (MENESES, *op. cit.*).

En definitiva, los desastres ponen en evidencia la vulnerabilidad de los países ante las amenazas naturales (KEIPI *et al.*, *op. cit.*). Si bien, los desastres corresponden a situaciones sociales antes que a eventos naturales, lo que desembocará en ellos siempre será un acontecimiento físico (FEDEROVSKY, 1990), cuya energía logrará exceder la preparación y resistencia de la población, ante el daño.



En términos generales, la Oficina Panamericana de la Salud / OMS (*op. cit.*) define amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un evento de cierta intensidad. FERRANDO (*op. cit. A*) especifica que las amenazas son aquellos procesos del medio ambiente físico de gran magnitud (momentum) y carácter dañino para el hombre. LAVELL (1996) conjuga lo anterior y las concibe como probabilidades de ocurrencia de eventos físicos dañinos, y agrega que pueden clasificarse genéricamente de acuerdo a su origen como “naturales”, “socio-naturales”, o “antropogénicos”. Las amenazas de orden natural son capaces de provocar grandes alteraciones en el paisaje o en su condición de equilibrio. Corresponden según KEIPI *et al.* (*op. cit.*), a procesos o fenómenos naturales con suficiente intensidad, que se desarrollan en un espacio y tiempo específicos causando diversos daños. Para VARNES (*op. cit.*) el peligro natural (entendido como amenaza) es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino dentro de un periodo de tiempo específico y un área dada. Estos fenómenos pueden alcanzar niveles de amenaza difícilmente controlables (KEIPI *et al.*, *op. cit.*). En este contexto, se reconoce al agua como el elemento natural de mayor riesgo para el hombre (RIFFO, *op. cit.*), representando el principal agente de riesgo de desastres (CERECEDA, 1986) según la estadísticas mundiales. En relación a ello, las amenazas fluviales son aquellas en las

que el principal agente modificador es el agua de los cursos fluviales. Las manifestaciones más frecuentes de este tipo de amenaza son los procesos de erosión, desborde e inundación. Para la ONEMI (*op. cit.*), los desbordes e inundaciones tienen un carácter hidrometeorológico y una manifestación lenta. FERRANDO (*op. cit. B*) señala que las inundaciones son procesos que derivan de una insuficiencia en la capacidad de evacuación al interior de sistemas de drenaje natural o artificial, tras el desequilibrio entre un volumen de aguas a evacuar en un determinado momento y la capacidad de evacuación de los cauces dentro del sistema. En relación a los daños asociados, el problema de las inundaciones resulta del desajuste entre la sociedad asentada y su entorno biofísico (SMITH y TOBIN, 1979; WARD, 1978; BURTON y KATES, 1972).



La explotación económica y el manejo sostenible de los recursos se perfilan como dos opciones distintas. La compatibilización de estas demandas «territoriales» y sociales constituye un reto importante en el manejo del territorio y en la reducción del riesgo (LAVELL, *op. cit.*). En relación a esto, surge a mediados de los noventa la noción de “Gestión del Riesgo” (WILCHES CHAUX, 1998, ZILBERTH, 1998) cuyo sentido es la reducción anticipada de las pérdidas que podrían generar los desastres en el futuro (KEIPI *et al.*, *op. cit.*). La Gestión del Riesgo y la gestión local en particular, han surgido con fuerza durante los últimos cuatro años en América Latina (LAVELL, *op. cit.*). Antes de los noventa, la práctica en torno a los desastres se concentraba en los “preparativos” y la “respuesta”. La prevención y la mitigación no eran objetivos de gran atención para los gobiernos y la sociedad en general (LAVELL y FRANCO, 1996). Para KEIPI *et al.* (*op. cit.*) la gestión del riesgo se presenta como el proceso de identificación, análisis y cuantificación de las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas que deben emprenderse.

Para GRAY DE CERDAN (1998) el riesgo puede manejarse a través de medidas estructurales, orientadas a controlar y reducir la acción de la naturaleza, y medidas no estructurales de orden indicativo y/o normativo. Hace más de 70 años la literatura científica ha discutido sobre las medidas estructurales y no estructurales de prevención y mitigación. GILBERT WHITE en los años treinta señaló lo inadecuado de controlar las inundaciones solo con diques y destacó la necesidad de combinar medidas estructurales con medidas de planificación del territorio. Sólo a raíz de las grandes inundaciones del Mississippi en 1993, se comprobó que los diques no son una solución permanente y que incluso pueden generar mayores problemas en el futuro LAVELL (*op. cit.*).

FERRETTI (2005), advierte que la gestión del riesgo será posible si se logra el fortalecimiento de las acciones tanto en el ámbito nacional como local. En este sentido, BOLLIN *et al.* (2003) establece que la gestión local requiere identificar y dar seguimiento a las amenazas junto con fomentar la inclusión de los actores públicos y privados en este mismo ámbito. La gestión del riesgo entonces, sólo será viable si en ella convergen el fortalecimiento del ámbito local y la participación del sector productivo junto con las organizaciones sociales. Es necesario una política con visión moderna sobre gestión del riesgo y donde participen los gobiernos locales, el sector empresarial y la sociedad civil (KEIPI *et al.*, *op. cit.*). En pos de estas concepciones y orientaciones, se plantea la posibilidad de implementar un modelo de explotación industrial de áridos en lechos fluviales, como una forma de dar solución a problemas locales de desbordes por insuficiencia de cauce ante grandes crecidas.

□□□ □□□ □□ □□ □□□

□□□□□□□□□□□□

Entre la formulación del problema y el establecimiento de las conclusiones (BUNGE, 1989), los caracteres substanciales en la metodología de esta investigación comprenden los enfoques sistémico (REIF, 1978), analítico-sintético, selectivo y de contrastación. El “todo” sistemático que representa el área de estudio (Cuenca Maipo-Angostura) es descompuesto selectivamente en aquellas partes con alto valor explicativo para el problema de la amenaza fluvial y de la viabilidad geográfica de implementar un sistema de explotación de áridos. Posteriormente, los elementos separados son recompuestos obteniéndose una nueva visión del conjunto y de su funcionamiento. La contrastación actúa en la última etapa metodológica para determinar la viabilidad territorial en Valdivia de Paine. Otros aspectos de esta metodología son: el análisis empírico, experimental y documental de la realidad; la utilización de fuentes informativas primarias y secundarias; el análisis sincrónico y diacrónico de hechos específicos, y la cuantificación y cualificación de las variables. Desde esta multiplicidad de caracteres se definen las etapas y los pasos metodológicos a seguir en el desarrollo de la investigación.

□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□

La ejecución metodológica se organiza en base a cinco etapas análogas a los objetivos específicos predefinidos.

□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□□□□

PEÑA MONNÉ (1997) destaca la importancia de los criterios hidrológicos y geomorfológicos en el estudio de las inundaciones. Para prevenir y evitar su ocurrencia se debe estudiar la cuenca hidrográfica (RIFFO, *op. cit.*) que es aquel territorio drenado por un sistema fluvial con individualidad propia (BORGEL, 1960). Los estudiosos de la materia han buscado relaciones para caracterizar la dinámica de los sistemas de drenaje, tomando propiedades de ellas y de las cuencas asociadas, cuantificando y combinando elementos en índices basados en datos cartográficos y aerofotográficos. Esto permite caracterizar las cuencas y los sistemas de drenaje lo suficiente como para establecer niveles de amenaza (FERRANDO, *op. cit. A*). Un aspecto elemental en la prospección de hoyas hidrográficas es el morfométrico el cual, junto con constituir y ordenar un criterio dentro de la investigación, entrega un cúmulo de información útil (BORGEL, *op. cit.*). Los factores de la energía de posición (componente de la erosividad) y que regulan los procesos fluviales, se representan a través de indicadores hidromorfométricos (FERRANDO, *op. cit. A*).

En base a estos criterios metodológicos se realiza una prospección de la cuenca del sistema Maipo-Angostura (área de estudio) considerando a la Geomorfología, Hidrogeología (suelos) e Hidrología, como los factores de mayor incidencia sobre el escurrimiento. La prospección se realiza con un sentido que va desde lo general a lo particular, basándose en tres niveles de resolución: regional, local y puntual. Para los niveles regional y local se definieron dos sub-unidades de análisis espacial, mientras que para el nivel puntual se consideraron únicamente, perfiles topográficos de los lechos fluviales.

Amenaza fluvial y Viabilidad de una Explotación de áridos en Valdivia de Paine, Comuna de Buin.

	□□□□□□□□□□	□□□□□□□□□□	□□□□□□□□	□□□□□□
Área de estudio	Área de generación	Cuenca superior y media del sistema Maipo-Angostura	33°03' - 34°15' Lat. S. 69°46' - 71°00' Long. W	Regional (1:500.000 – 1:100.000)
	Área-problema o de impacto	Valdivia de Paine y sectores aledaños	33°44' - 33°50' Lat. S. 70°48' - 70°54' Long. W.	Local (1:50.000 – 1:20.000)

El “área de generación” corresponde a la sección alta y media de la cuenca Maipo-Angostura, mientras que el “área-problema o de impacto” (Figura N° 2), corresponde a un territorio específico dentro del área de estudio, delimitado hacia el NW por el lecho del Río Maipo, hacia el SW por el lecho del Río Angostura, hacia el SE por la Ruta G-506 y finalmente hacia el NE por la línea férrea perteneciente a Codelco, División El Teniente.



Fuente: Elaboración propia en base al levantamiento fotográfico S.A.F. (Servicio Aéreo Fotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile) (1994), “Proyecto Fondef - Área de Melipilla”. Fotogramas 1:20.000 (escala original).

La delimitación del área-problema obedece a la concentración y recurrencia de las inundaciones por desborde, observadas hace más de 50 años.

En el ámbito regional se caracteriza la Geomorfología, Hidrogeología (suelos) e Hidrología del sistema Maipo-Angostura. La caracterización geomorfológica e hidrogeológica es aplicada específicamente a aquella fracción de la sección meridional de la Depresión de Santiago (ARAYA-VERGARA, 1985) asociada al área de estudio. En el ámbito local se caracteriza la Geomorfología, la Hidrogeología y los suelos del área-problema. Finalmente, en el ámbito puntual se entrega información morfométrica sobre 10 lugares específicos de ambos lechos fluviales, considerando una escala de análisis que varía entre 1:20.000 y 1:10.000.

□□□□□□ □□□□□□□□□□

- En primer lugar, se desarrolla una descripción regional de las tres macrounidades que estructuran el relieve de Chile central y la morfología asociada al sistema Maipo-Angostura; Cordillera de los Andes, Depresión intermedia y Cordillera de la Costa. De sus respectivas fisiografías se podrán deducir las causas generales que determinan los desbordes, pues según FERRANDO (*op. cit. A*) los factores de energía de posición corresponden a las características físicas del entorno.
- Se profundiza en la morfología del área delimitada por los cerros de Lonquén por el N, la Angostura de Paine por el S, el cordón de Los Ratones por el E y el cordón Yervas buenas por el W. Esta área se encuentra dentro de la sección meridional de la Depresión de Santiago (ARAYA-VERGARA, *op. cit.*), abarcando una superficie aproximada de 498 kms.² y contemplando en parte las secciones media y baja de las cuencas de los Ríos Maipo y Angostura, respectivamente. Sólo con fines prácticos, este espacio fue denominado “área meridional”, concentrándose en él gran parte de las variables explicativas a los procesos de desborde.
- Se elabora una carta geomorfológica del área meridional que según BORGEL (*op. cit.*) expresa la valoración cualitativa de la morfogénesis actuante. La carta contempla básicamente la representación de formas de acumulación en la base de las vertientes y en la depresión intermontana. La descripción de formas estructurales vinculadas a la morfotectónica de bloques o a los sistemas de vertientes, no fue abordada en este análisis taxonómico. Justifica lo anterior lo expresado por ARAYA-VERGARA (*op. cit.*) en referencia a la “ausencia de dislocaciones tectónicas importantes en esta sección de la Depresión central, junto con las características del macroambiente asociado a la depresión intermontana”. En el área meridional el desarrollo de la vegetación ha otorgado una relativa estabilidad a los sistemas de vertientes con tendencia erosional. Los signos cartográficos, comprenden las simbologías aplicadas por TRICART (1962), LE BURDIEC y OTTMAN (1963), TRICART y JOLY (1971) y ARAYA-VERGARA (*op. cit.*).
- Se profundiza en la morfología del área-problema descomponiendo el escenario local donde ambos ríos representan los principales agentes modeladores del paisaje. En el análisis local de las unidades no sólo se exponen las características físicas de un determinado taxón, sino también, de los procesos morfogenéticos asociados y su grado de actualismo. La caracterización contempla formas de contacto, de fondo de depresión, fluviales y la noción de balance de disección. Esta última es entendida como una relación de equilibrio entre dos tendencias morfogenéticas opuestas en un talweg;

la acumulación y la disección. Para TRICART (1978) “el balance de disección será positivo si el río – en su manifestación actual o reciente – puede evacuar los materiales del talweg y aun erosionar. El balance es negativo si el río no puede evacuar los sedimentos que son proporcionados al talweg, acomodando su canal a este mayor abastecimiento”. El estado de este balance puede deducirse mediante el patrón de canales que presenta el escurrimiento de un río. Según SCHUMM (1977), las corrientes de agua presentan una metamorfosis de lechos y canales es decir, experimentan un proceso de transformaciones del patrón del lecho y sus canales dentro de una secuencia evolutiva. Esta metamorfosis es determinada por la relación caudal-carga, la cual es consecuencia de los regímenes fluviales y estos a la vez, del factor morfoclimático dominante. El análisis de la metamorfosis de los lechos y canales se basa en la noción de continuum de Schumm.

- Se examina el lecho fluvial de ambos ríos dentro del área-problema a través de fointerpretación. Se considera que la topografía del lecho registra las variaciones del caudal en función de su frecuencia y que su modelado es una expresión directa del régimen hídrico. NOVOA (1987) señala que la clasificación morfodinámica de un cauce natural es un elemento de juicio para la evaluación de los desbordes e inundaciones. Según TRICART (1960) es posible identificar tres tipos de lechos fluviales jerárquicamente relacionados en función de características hidrológicas y morfodinámicas; lecho menor, lecho mayor periódico o estacional y lecho mayor episódico o excepcional.
- Se efectúan mediciones directas sobre los elementos que conforman el lecho fluvial de ambos ríos en el área de Valdivia de Paine, mediante el empleo de una estación total de topografía y cartogramas 1:10.000, encargados por la Comisión Nacional de Riego. Para CHRISTOFOLETTI (1981) la medición de determinadas variables en diversas secciones transversales a lo largo del río en la misma fase temporal, señala los cambios que ocurren en relación a la determinada frecuencia de un gasto.
- Se elaboran 13 perfiles topográficos de los cuales tres manifiestan la forma longitudinal de los cauces, antes y después del área de confluencia. Los 10 restantes, corresponden a levantamientos transversales sobre el lecho mayor de ambos ríos en sectores de interés hidromorfodinámico y de inundaciones históricas. Se entrega identidad morfológica a los perfiles (BORGEL, *op. cit.*), a partir de la valoración cualitativa de la morfogénesis actuante expresada en la carta geomorfológica.

Los perfiles topográficos permiten calcular dos elementos esenciales para el análisis de la amenaza de desborde. Estos son, la sección transversal inundable (sección mojada potencial) y la capacidad de evacuación del lecho menor. Tras asumir una velocidad promedio para un gasto que potencialmente inunde todo o gran parte del lecho menor, se estima la “capacidad de evacuación límite” para las secciones representadas por los perfiles. Este parámetro es equivalente al “umbral o caudal crítico” sobre el cual se producirían los desbordes desde el lecho menor. La capacidad límite resulta del producto entre el área de la sección transversal inundable y la velocidad del eventual caudal asociado. Para tales efectos, las velocidades medias estimadas en base a aforos realizados en el lecho menor, corresponden a 2 y 1,5 mtrs./seg., respectivamente.

- Se analiza el factor hidrogeológico a escala regional (área meridional) y local (área-problema). Se examina a través de estudios precedentes, la naturaleza y estructura del relleno sedimentario y se indica su incidencia sobre el escurrimiento superficial, subsuperficial, y sobre el nivel freático. Esta actividad se realiza exclusivamente en base a fuentes documentales de instituciones competentes al tema como el Servicio Nacional de Geología y Minería, y el Departamento de Geología de la Universidad de Chile, entre otras.
- Se representa la hidrología e hidrodinámica de las cuencas Maipo y Angostura mediante relaciones morfométricas. El área se calcula delimitando ambas subunidades sobre cartografía 1:100.000 y posteriormente empleando un Planix 5 para la medición de su superficie. Según JARDÍ (1985) la medida calculada no coincidirá con la medida real, ya que se trata del área de la proyección en el plano horizontal de la superficie de la cuenca. De todas formas, ante la complejidad que comporta el cálculo de la superficie real y la magnitud del error que se comete, se acepta como medida de la superficie la de su proyección.
- Se determina el grado de compacidad de ambas subcuencas para deducir un comportamiento erosivo torrencial o pasivo. ROCHÉ (1963) señala que el índice aceptado por los hidrólogos para representar esta característica es el Coeficiente de Compacidad de Gravelius, el cual fue calculado de la siguiente forma:

$$\text{Índice de Compacidad de Gravelius} = 0,28 \times \frac{\text{Perímetro}}{(\text{Área de la cuenca})}$$

Un alto valor del índice C, indica un perímetro superior al asociado a un círculo perfecto; es decir, indicará cuencas muy lobuladas (irregulares; con secciones curvas entrantes y salientes). El índice de Gravelius expresa valores entre 1 – cuenca perfectamente circular – y cercanos a 2 – perímetro doble al del círculo asociado - (JARDÍ, *op. cit.*). Mientras más cercano a 1 sea el valor del coeficiente, se entenderá que la cuenca presenta mayor compacidad, lo que trae como consecuencia, el que la reacción a eventos pluviales se manifieste a través de un escurrimiento rápido, torrentoso y erosivo.

- Se calcula la pendiente media de ambas cuencas como otro indicador de importancia para el entendimiento de la dinámica fluvial. El índice de HORTON (1945), corresponde al cociente del producto de la equidistancia por la sumatoria del largo total de las curvas de nivel, dividido por el área total de la cuenca. Su cálculo se efectuó tal como muestra la fórmula.

$$\text{Índice de Horton} = \frac{\text{Largo total de las curvas de nivel} \times \text{Equidistancia}}{\text{Superficie de la cuenca}}$$

- Se dimensionan y diferencian las superficies asociadas a distintos rangos altitudinales dentro de cada cuenca y se comparan con la altura de la línea de nieves estacional, como un procedimiento significativo para el pronóstico de crecidas originadas por eventos pluviales o fusión nival. La hipsometría junto con la definición de la línea de nieves estacional, permiten conocer y diferenciar los dos tipos de áreas geográficas (pluvial y nival) que alimentan al curso hídrico principal de una cuenca en un determinado momento. Se puede distinguir entre la proporción de precipitaciones sólidas y líquidas que caen dentro de la cuenca, deduciendo lo que escurrirá en el momento y lo que será capitalizado como nieve o hielo.
- Se cualifica otro factor que pondera la torrencialidad; el diseño de la red de drenaje. Esta configuración expresa la manera en que se organizan las aguas para escurrir y evacuar la cuenca ocurrido un determinado evento pluvial. En este sentido, conviene conocer las características de los drenes dentro del área aportante pluvial, ya que serán estos los que tendrán una participación más directa en la concentración y evacuación de las lluvias y en la torrencialidad del proceso. Una mayor sinuosidad de los drenes genera una menor velocidad del escurrimiento con respecto a drenes rectilíneos.
- Se determina la frecuencia de drenes por unidad de superficie, entendiendo que un mayor valor permite una más rápida organización y concentración del escurrimiento inicialmente laminar, lo cual conduce a una mayor prontitud en la evacuación de las aguas desde el área de captación de una cuenca (FERRANDO, *op. cit.* A). Según HORTON (*op. cit.*), la frecuencia del drenaje se define como el cociente entre la sumatoria total del número de drenes de una unidad hidroespacial y su superficie (ONGLEY, 1974).

$$\text{Frecuencia del drenaje} = \frac{\text{Número total de cursos de agua}}{\text{Superficie de la cuenca}}$$

- Se complementa la representación de los rasgos estructurales de ambas cuencas y de su sistema de drenes, con una caracterización sobre el grado de evolución de la red de drenaje. Los métodos de Jerarquización del sistema de drenes, asignan valores a los talwegs, partiendo desde los elementales hasta el dren principal, de acuerdo a las confluencias. El valor jerárquico resultante para el río principal en el exutorio, indica el grado de desarrollo de la red de drenaje, considerándose el método de Shreve como más representativo (FERRANDO, 1992).
- El tiempo de concentración (ROCHÉ, *op. cit.*) es otro indicador calculado por su relación con la velocidad de respuesta. Este parámetro se refiere al lapso de tiempo que requiere una partícula de agua en llegar al exutorio, desde su parte más alta y lejana (cabecera de la cuenca). Obviamente, una cuenca no siempre recibirá precipitaciones líquidas en su cabecera como parece suponer la lógica de este indicador, por tal razón, resulta más útil aplicarlo al área aportante pluvial por su contribución más directa a las crecidas. Estas superficies, son las que efectivamente alimentan a los ríos durante el desarrollo de las precipitaciones recibiendo la lluvia en forma directa y conduciéndola hacia el curso principal. Las precipitaciones sólidas que caen sobre la línea de nieves estacional permanecen como depósitos nivales que incrementarán el escurrimiento pero en forma retardada, en la medida que ascienda la isoterma 0° y se desarrolle la fusión nival.

Según Grunsky, el tiempo de concentración se obtiene mediante la siguiente expresión (GUERRA y OÑATE, *op. cit.*):

$$\text{Tiempo de concentración} = 0,1272 \times \left(\frac{\text{Área de la cuenca}}{\text{Pendiente media}} \right) \times 60$$

Existen otros métodos paramétricos como los formulados por Giandotti y por el Departamento de Conservación de Suelos de EE.UU. Ambos métodos reemplazan el valor de la pendiente media por diferencias altitudinales (relativa y máxima, respectivamente) y agregan la longitud del cauce mayor o principal a la estructura de la ecuación. No obstante, la ecuación de Giandotti entrega valores razonables en cuencas pequeñas (cordilleranas) con pendientes considerables. Por ello, se considerará un valor promedio entre los resultados arrojados por el método de Grunsky y del organismo estadounidense. Se debe tener presente que “en ningún caso, el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos”. El Departamento de Conservación de suelos de EE.UU. define la siguiente formulación (D.G.A. 1981):

$$\text{Tiempo de concentración} = 0,95 \times \left(\frac{(\text{Longitud del cauce principal})^3}{\text{Distancia entre el exutorio y la cabecera medida sobre el talweg principal.}} \right)^{0,385}$$

- Se caracterizan ambos ríos en función del régimen hídrico que alimenta y determina la variabilidad de sus caudales pudiendo ser de carácter simple o complejo (mixto). Esta característica se determina según el hidrograma de gastos medios mensuales durante un año hidrológico.

La Dirección General de Aguas (*op. cit. C*) aclara que en diferentes puntos de un cauce, el régimen de la cuenca puede ser de distintos tipos. Los regímenes simples pueden presentar un único máximo en el año hidrológico distinguiéndose los ríos de régimen glacial, nival y pluvial. Los dos primeros presentan pequeños caudales en invierno y crecidas de importancia en primavera y verano, diferenciándose sólo en la mayor regularidad interanual de los primeros, debido al origen de los aportes (glaciares). Los regímenes complejos, presentan en el hidrograma de gastos medios mensuales más de un máximo a lo largo del año hidrológico. Se pueden encontrar ríos de régimen pluvio-nival o nivo-pluvial, donde en general, la fuente dominante se indica en primer lugar (D.G.A. *op. cit. C*).

Para este propósito se analizó una estadística fluviométrica correspondiente al período 1970-1998, extraída del estudio “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho”, encargado por la Dirección General de Aguas en el año 2000. La singularidad de este análisis, está en que los caudales considerados representan el escurrimiento que debería presentar el Río Maipo luego de haber recibido las aguas del Río Clarillo. Se examina una situación más real al incorporar el aporte de este último (bastante significativo en invierno) pero también, una condición más natural del escurrimiento al no descontar las extracciones desde las bocatomas localizadas entre el sector de El Manzano y la afluencia del Río Clarillo. En conjunto, las captaciones bordean los 60 mtrs.³/seg. (R.E.G. INGENIEROS CONSULTORES, *op. cit.*) y corresponden a los volúmenes extraídos desde las bocatomas: Central Puntilla, Canal San Carlos, Aguas Andinas y Canal Eyzaguirre.

En el caso del Río Angostura, debido a la insuficiente data de la estación Angostura en Valdivia de Paine y a la exigua representatividad territorial de la estación Angostura en Angostura, los datos expuestos y analizados se obtuvieron de una sumatoria estadística sobre los caudales medios mensuales asociados a los afluentes: Estero Codegua, Río Peuco y Estero Paine. La estadística base utilizada en esta operación fue extraída del estudio “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho”, ejecutado por la Dirección General de Aguas en el año 2000. Paralelamente, el Estero Peralillo (emisario de la Laguna de Aculeo) no fue incorporado a esta sumatoria, puesto que no existen registros específicos sobre su aporte al Río Angostura. De todas formas, sus caudales no poseen gran incidencia sobre este río.

- o Finalmente, se caracteriza la variabilidad de los caudales medios anuales, asumiendo un nivel de generalización y un grado de inexactitud mucho mayor que en el procedimiento anterior. Este nivel resulta útil sólo para tratar de representar el comportamiento secular del escurrimiento. Su importancia aquí, no será mayor al que ofrece el análisis de los caudales medios mensuales.



Las fluctuaciones del ciclo hidrológico, constituyen una de las causas que provocan los desbordes e inundaciones (RIFFO, *op. cit.*). Dentro de este ciclo, la lluvia es el punto inicial (detonador) de la secuencia que puede terminar en ellas (VIGIL, 1986). La frecuencia, intensidad, duración y distribución espacial de las precipitaciones influyen en el volumen de la escorrentía (GUERRA y OÑATE, *op. cit.*) generando caudales extremos. Por lo tanto, la causa explícita para este problema serán las crecidas (FERRANDO, *op. cit. B*) junto al desequilibrio momentáneo entre la oferta y la demanda de cauce.

Las inundaciones presentan una alta recurrencia espacial y temporal (LATORRE y ROVIRA, 1986). Generalmente, “la historia vuelve a repetirse” en sectores que han sufrido inundaciones (FERRANDO, *op. cit. B*). Determinar la amenaza de desborde en un lugar frecuentemente inundado, requiere establecer la probabilidad de ocurrencia de aquellos gastos extremos que igualan o sobrepasan la “capacidad de evacuación límite” del lecho menor y que en consecuencia provocan desbordes. Estos gastos deben identificarse en una estadística de caudales máximos instantáneos. Muchas veces, las estadísticas requeridas para los pronósticos no alcanzan un período de 30 años. Por tal motivo, la estimación de los caudales máximos se puede realizar mediante una extrapolación gráfica sobre papel logarítmico, siendo un procedimiento sencillo y satisfactorio, pero no decisivo. La carencia de datos es la gran limitante de las abstracciones matemáticas que no pueden sustituir a la observación y los registros directos.

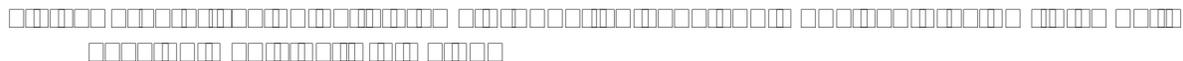
La persistencia y/o la intensidad elevada de las precipitaciones sobre un área de captación, suele constituir el factor desencadenante de las grandes crecidas y desbordes. Bajo este criterio, los pronósticos deben basarse en datos de precipitaciones y caudales máximos instantáneos por ser estos los que representan realmente los comportamientos extremos. Para GUERRA y OÑATE (*op. cit.*) es conveniente determinar las relaciones entre precipitaciones y caudales de crecida debido a lo impráctico que puede resultar el uso exclusivo de métodos de base fluviométrica. La relación entre las precipitaciones y los caudales, puede materializarse a través de un modelo que permita estimar caudales de crecida en función de las lluvias y otros elementos de la cuenca.

- El cálculo de la probabilidad asociada se obtuvo del cociente entre 100 y el respectivo valor de T. Los valores de caudal, precipitación y probabilidades se pueden traspasar a papel logarítmico-probabilístico, trazando una recta sobre el conjunto de puntos graficados con el fin de extrapolar fácilmente los valores no calculados. Obtenidos los resultados, se destacó aquellos valores cercanos a probabilidades de 1, 2 y 20% referidos a la ocurrencia de caudales máximos instantáneos y relacionados según TRICART (*op. cit. A*), a las inundaciones de los tres tipos de lechos fluviales.
- Se calculan los caudales máximos instantáneos (caudales de diseño) para cada río en el área-problema. Para tal efecto existen la Formula Racional de Grunsky y el método de Verni y King, entre otros. Sin embargo, el primero de ellos es utilizable sólo en cuencas pequeñas con áreas de hasta 3.000 hectáreas (M.O.P. 1981). El Método de VERNI y KING (1977) relaciona el caudal máximo instantáneo de una crecida con las precipitaciones líquidas acumuladas en las últimas 24 horas y con la superficie del área de alimentación pluvial a través de una relación de potencias. Las precipitaciones deben estar asociadas a un determinado período de retorno. Este modelo puede ser usado sin restricciones de tamaño, obteniéndose resultados satisfactorios. La fórmula queda descrita por la siguiente ecuación:

$$Q = 0,00618 \times (\text{Pps. max.} / 24 \text{ hrs.})^{1,236} \times (\text{Área aportante pluvial})^{0,882}$$

Los cálculos se orientan hacia los períodos de retorno de los caudales asociados a la inundación de los tres tipos de lecho fluvial vale decir, a los períodos de 5, 50 y 100 años. Los valores contemplados sobre precipitaciones máximas en 24 horas, fueron precisamente aquellos que presentaron los mismos tiempos de recurrencia. Por otra parte, considerando que la superficie del área aportante pluvial atribuida a las dos cuencas aludió a una condición promedio, pero que dentro del subsistema del Río Maipo su valor puede incrementarse mucho más que en la subsistema del Río Angostura (principalmente, por la variabilidad de su línea de nieves), se aplicó la formula de Verni & King contemplando áreas pluviales más extensas. Las superficies de estas áreas fueron reestimadas en 2.663,7 kms² para la cuenca del Río Maipo asumiendo una línea de nieves a 3.000 m.s.n.m., y en 1.441,1 kms² para la subcuenca del Río Angostura considerando una línea de nieves a 2.500 m.s.n.m.

- Se determina la espacialidad de la amenaza fluvial dentro del área-problema mediante el análisis del lecho mayor episódico el cual teóricamente, representa el área de proyección máxima de las inundaciones. Se entiende que este espacio no experimenta inundaciones homogéneas por lo tanto, su extensión y dinámica es diferenciada de acuerdo a la tipología de lechos fluviales planteada por TRICART (*op. cit. A*). Las áreas potencialmente inundables corresponden a los tres tipos de lechos reconocidos.



El concepto de sistema se utiliza en diversos campos de la investigación. HALL (1968) lo define como un conjunto de objetos con relaciones internas. REIF (*op. cit.*) agrega que este conjunto busca un objetivo global. Según BEER (1966) un sistema debe contar con una organización de partes y un objetivo o meta. CHADWICK (1971) distingue tres tipos de sistemas: sistemas de máquinas o mecánicos, ecosistemas o sistemas ecológicos y sistemas sociales.

Según HANDLER (1970), el análisis de un sistema conduce a la comprensión detallada de sus componentes e interrelaciones, y a la consideración de los fenómenos individuales internos en función de sus implicaciones para el sistema en su conjunto. REIF (*op. cit.*) señala que cuando nos enfrentamos a un sistema concreto debemos limitarnos al manejo de algunos atributos, aquellos que se consideren relevantes para el problema, el resto deberá ser ignorado. Al enfrentarnos a sistemas muy complejos conviene dividirlos en subsistemas más manejables. El mejor camino consiste en observar el funcionamiento del todo para después dividirlo en función de cualquier tipo de articulación estructural.

Todos los sistemas son de alguna manera sistemas de flujos, ya que son los flujos de información, energía y/o materia los que constituyen las relaciones (REIF, *op. cit.*). En función de la relación con el entorno, los sistemas se pueden clasificar en dos tipos: abiertos y cerrados. HALL (*op. cit.*) define al entorno como el conjunto de todos los objetos exteriores al sistema. La característica más importante de la interacción sistema-entorno, es que sus relaciones son direccionales; o el entorno actúa sobre el sistema, o el sistema actúa sobre el entorno, o la acción es recíproca. De esta manera las relaciones se pueden clasificar en dos tipos: las que afectan al sistema, denominadas entradas, y las efectuadas por el sistema, denominadas salidas.

□□□□□ □ □□□□□□□□□□

- Sobre esta base teórica, y frente a la diversidad de formas de explotación, se comienza por definir un “modelo o sistema tipo” de explotación industrial en lechos fluviales. Para ello se analizan documentos técnicos sobre la actividad económica, proyectos de extracción fluvial, diseño de plantas procesadoras e implicancias ambientales en la sección media del Río Maipo. En este sistema standard se identifica la estructura y el funcionamiento del sistema productivo asociado, describiendo su objetivo central, componentes, interrelaciones, flujos, entradas, salidas, subsistemas y características del entorno asociado.
- Se analizan en forma separada los dos subsistemas reconocibles dentro del sistema productivo general. Estos subsistemas son correspondientes a las etapas de extracción y de procesamiento de áridos. Su análisis contempla la misma descripción estructural del paso anterior pero con más detalle sobre los componentes, el funcionamiento interno y las relaciones con el entorno.
- Se describe el plan de excavación recomendado por las autoridades competentes en materia fluvial y se analizan los impactos negativos y propositivos relacionados al escurrimiento de los ríos y a un posible control de los desbordes.
- Finalmente, se realiza una visita a dos de las plantas procesadoras más grandes que actualmente operan en la sección media del lecho fluvial del Río Maipo; Constructora y comercializadora Fresno S.A. y Áridos Pétreos S.A. (filial de cementos Polpaico). Se visitó las áreas concesionadas en el lecho fluvial desde las cuales estas empresas se proveen de material integral.

- Se revisan estudios sobre factibilidad técnica e implicancias ambientales vinculadas a este tipo de actividad industrial con el objeto de identificar factores territoriales valorados por las empresas para la solicitud de concesiones sobre extracción de material en lechos fluviales.
- Finalmente, se revisa la teoría general sobre organización espacial y localización industrial y se consulta a especialistas en el tema sobre los factores deducidos en esta fase del trabajo.

□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□ □□ □□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□ □□□□□□□□□□ □□ □□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□ □□□□□□□□□□

GÓMEZ OREA (en SÁNCHEZ, 2001) plantea que el Medio físico corresponde al territorio y sus atributos, constituyendo el soporte de las actividades humanas y la fuente de los recursos naturales. No obstante, este medio es también el receptor de los residuos no deseados. Según SÁNCHEZ (*op. cit.*) el territorio y sus recursos naturales constituyen la base natural de la producción. El conocimiento de sus factores permitirá definir las potencialidades y las limitaciones de las diferentes unidades territoriales y, consecuentemente, sus roles. Por otra parte SARGANT (1964) señala que el grado de posibilidad de una industria (localización territorial) dependerá de sus propias características. Una vez conocidas se debe analizar el territorio en base a la existencia de las condiciones que estas requieren.

De acuerdo a la Teoría del coste comparativo (RICARDO, Siglo XIX), las ventajas comparativas se refieren a la abundancia de un determinado factor o factores productivos en un determinado lugar, en comparación con otros. Esta condición deriva en principio del medio físico, el cual determina mayormente la potencialidad económica de un territorio de acuerdo a las condiciones geográficas valoradas por una determinada actividad.

□□□□□□ □□□□□□□□□□□□

- Con este objeto, se examina el área de Valdivia de Paine en el contexto regional y local, utilizándose para ello cartografías 1:500.000, 1:100.000 y 1:50.000, junto con fotografías aéreas 1:20.000 con el propósito de identificar los elementos y las condiciones geográficas definidas como fundamentales para la implementación de un sistema tipo de explotación industrial.
- Se realizan especificaciones sobre los elementos y las condiciones geográficas de implementación industrial a través de cuantificación propia y parámetros entregados por diversos estudios técnicos sobre el tema.
- Finalmente, se elaboran matrices mediante las cuales se establece la correspondencia entre las condiciones geográficas requeridas para la implementación de un sistema tipo de explotación industrial y las características de los lechos fluviales y del espacio geográfico asociado al área-problema.



La sección andina del sistema Maipo-Angostura contempla unidades rocosas de distintas edades que van desde la época Oxfordiana hasta el Holoceno. Esta sección comprende básicamente, estratos volcánicos y sedimentarios (continentales y marinos) atravesados casi regularmente por cuerpos plutónicos. El Instituto de Investigaciones Geológicas (1980) estimó que el 85% del área representada en la Hoja o carta geológica de Santiago, corresponde a rocas estratificadas volcánicas y sedimentarias, y sólo el 8%, a rocas intrusivas. Este levantamiento geológico comprendió casi toda la sección andina del sistema Maipo-Angostura, con excepción de su extremo S, equivalente a un área inferior al 18% de la sección analizada.

Casi todas las estructuras mayores observadas en la sección andina muestran un rumbo general N-S. La morfoestructura transversal en cambio, presenta caracteres diferentes de W a E. Hacia el oriente se aprecia que las deformaciones de las unidades sedimentarias se acentúan y adquieren mayor complejidad, derivando a una tectónica de fuertes plegamientos y sobreescurrecimientos principales con el mismo sentido. Un perfil generalizado E-W, señala una secuencia de anticlinales y sinclinales cada vez más apretados y volcados hacia el E. En algunos casos, los flancos han llegado a fallarse producto del intenso estiramiento, provocando cabalgamientos principales hacia el E y dando lugar a una tectónica de “escamas”. No obstante, también es posible identificar fallas y pliegues fallados volcados hacia el W. Si bien el sector oriental concentra la mayor parte de las dislocaciones tectónicas, su desarrollo caracteriza a toda la sección andina de la cuenca Maipo-Angostura.

Dentro de la sección andina es posible diferenciar tres pisos estructurales (Figura Nº 3), sobrepuestos al zócalo hercínico y separados por discordancias angulares. Estos pisos son el resultado de tres procesos de deformación vinculados a dos episodios compresivos y a uno extensivo. Según THIELE (1980), sus características generales son las siguientes:

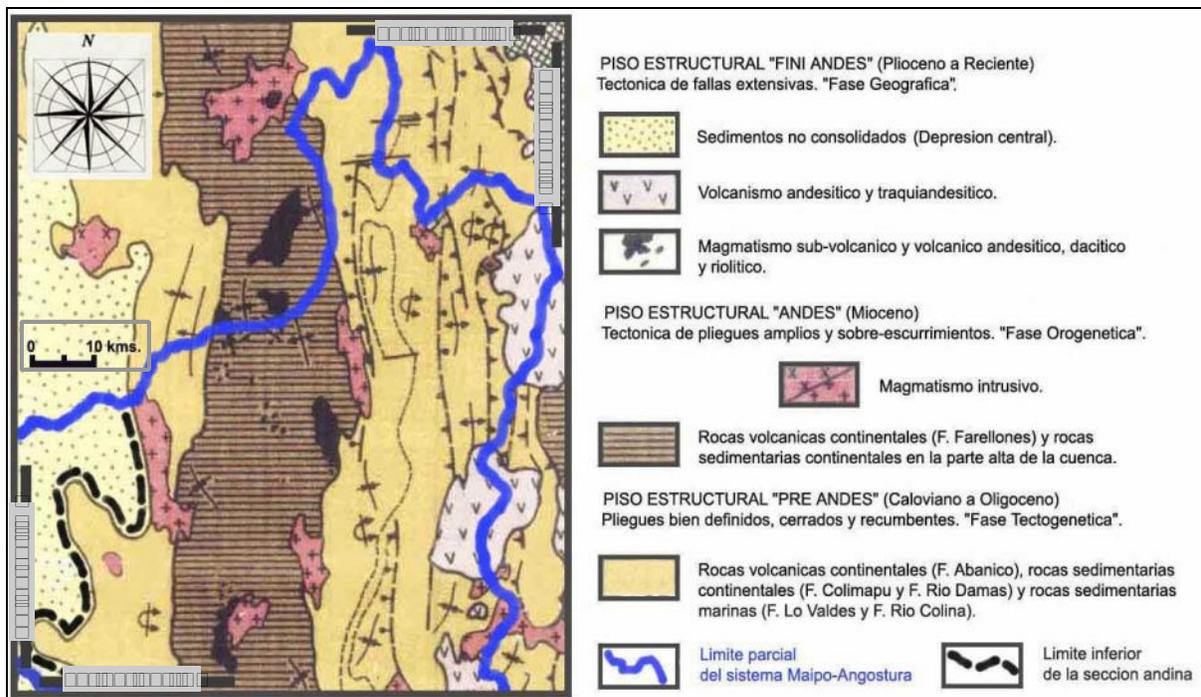
 Corresponde a la unidad más antigua del ciclo andino, constituida por las formaciones Río Colina, Río Damas, Lo Valdés, Colimapu y Abanico, de edades comprendidas entre el Jurásico Superior y el Oligoceno; caracterizado por pliegues bien definidos, amplios, recumbentes y fallados, y deformado por la fase Tectogenética fini-Oligoceno y posterior. Espacialmente, este piso se manifiesta a través de dos grandes unidades (altoandina y precordillerana), las que en conjunto abarcan más del 60% de la sección analizada.

 Unidad constituida por la Formación Farellones, de edad miocena. Caracterizada por pliegues amplios y sobreescurrecimientos, y deformada por la fase Orogenética mio-pliocena y posterior; acompañada de un intenso plutonismo. Su extensión territorial se restringe al eje central del cordón montañoso abarcando más del 30% de la sección analizada y encontrándose enmarcada por el piso “Pre Andes”.

 Unidad más joven, constituida por las rocas volcánicas postmiocenas (cuerpos volcánicos y subvolcánicos) y volcanes actuales. Estos elementos cubren alrededor del 10% de la sección analizada y son posteriores a toda tectónica compresiva. Paralelamente, este piso está caracterizado por una tectónica de fallas extensivas y deformadas por la fase Geográfica plio-cuaternaria. Se reconocen cuatro orientaciones principales de fracturamiento, atribuidas a esta fase. Fallas con direcciones

sensiblemente N-S, N 45°/70° E, N 20°/45° W y E-W, respectivamente. Las fallas con dirección N-S condicionan el borde del “graben” (Depresión Central) y la tectónica de “escamas” al oriente de la cuenca. El sistema N45°/70°E controla fundamentalmente, la intrusión de cuerpos filonianos y, junto a las fallas con dirección N 20°/45° W, la mineralización metálica. Finalmente, las fallas E-W muestran una componente con desplazamiento (rumbo) de importante valor regional. Según THIELE (*op. cit.*), esta etapa de la orogenia sería la más influyente en los rasgos geográficos que actualmente caracterizan a esta parte de la Cordillera. Por esta razón, VICENTE (1972) denominó al episodio de deformación asociado, “fase Geográfica”.

□□□□□□□□□□
 “Pisos estructurales en la sección andina de la Cuenca Maipo-Angostura”.



Fuente: I.I.G. (Instituto de Investigaciones Geológicas) (1980), “Carta geológica de Chile”. Hoja Santiago, 1:250.000 (escala original). Thiele R.

La significancia de los pisos estructurales en la sección andina del sistema Maipo-Angostura, reside en dos aspectos fundamentales. El primero se refiere a la influencia de la morfoestructura en la formación de talwegs y en el diseño de la red de drenaje, encargada de la concentración y de la evacuación hídrica de la cuenca. Este aspecto adquiere mayor importancia si se analiza dentro del área aportante pluvial, ya que la incidencia de esta superficie sobre el escurrimiento durante eventos pluviales extremos es prácticamente directa, a diferencia del área de capitalización nival. Una litología y morfoestructura susceptible a la formación de talwegs dentro del área pluvial, favorecerá el desarrollo de la red de drenaje, derivando en respuestas más torrenciales a las precipitaciones líquidas. El segundo aspecto se refiere a la relación entre el grado de plegamiento y/o fracturamiento de las estructuras rocosas, con la generación de detrito. Vertientes con abundantes caras libres, escaso desarrollo vegetacional y dominadas por un ambiente frío (periglacial), constituyen flancos de valle activos en cuanto a procesos de erosión y producción de sedimentos. Si ha esta sinergia se agregan altos valores de pendiente tanto para las laderas como para el talweg en el fondo del valle, la

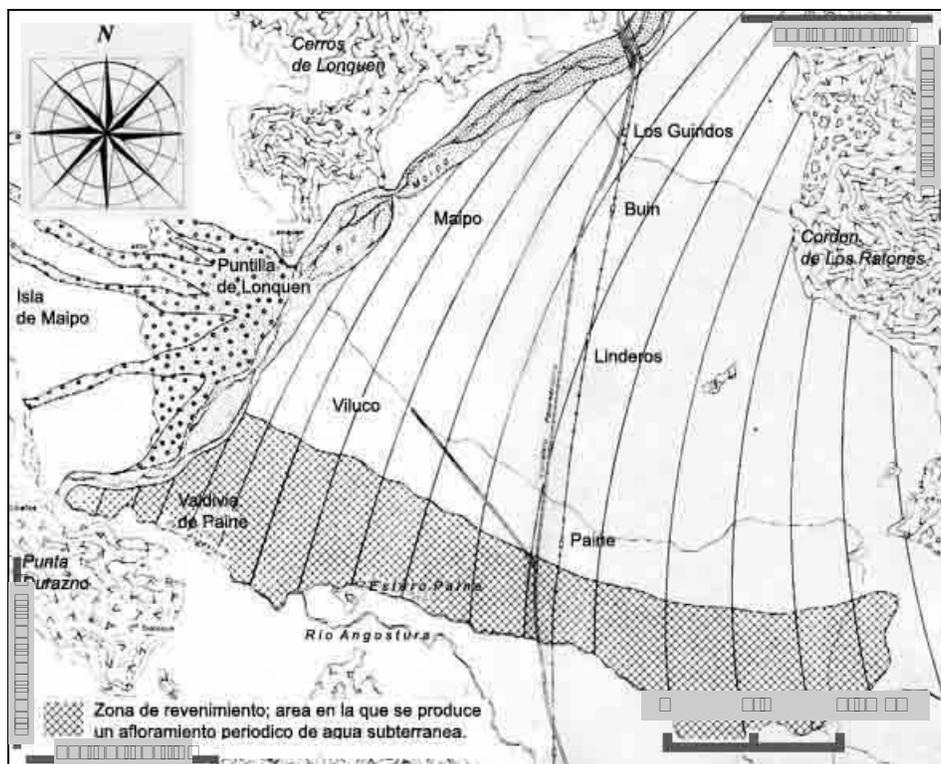
consecuencia será un alto grado de transporte hacia las secciones más deprimidas de la cuenca. Esta relación es característica del área aportante nival. En virtud de lo anterior, se entiende que la morfoestructura de la sección andina del sistema Maipo-Angostura, potenciará en gran medida la torrencialidad del escurrimiento, la generación de sedimentos y la depositación aluvial en el área de Valdivia de Paine.

□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□

En 1967 el Instituto de Investigaciones Geológicas (Sernageomin) confeccionó una carta geomorfológica preliminar (1:100.000) sobre las formas dominantes en la parte Sur de la cuenca de Santiago. Esta cartografía describe principalmente, la disposición de dos conos o abanicos aluviales vinculados a procesos de depositación del Río Maipo. El primero de ellos resalta por su gran extensión teniendo su vértice o ápice en las proximidades del Puente Los Morros, cerca del extremo N del Cordón de Los Ratones. Su sección terminal o basal se halla entre las localidades de Valdivia de Paine y Culitrín. Este primer cono es representado en la cartografía (Figura N° 4) por un conjunto de curvas yuxtapuestas que se flectan hacia el S. El segundo cono es menos extenso y fue cartografiado desde La Puntilla de Lonquén hacia el W (Isla de Maipo) siendo asociado a materiales aluviales más recientes.

□□□□□□□□□□

“Levantamiento geomorfológico de la parte Sur de la cuenca de Santiago”.



Fuente: I.I.G. (Instituto de Investigaciones Geológicas) (1967), “Estudio hidrogeológico del revenimiento periódico de los terrenos del área Viluco, Paine y Valdivia de Paine” (inédito). Cartografía del Levantamiento geomorfológico de la parte Sur de la cuenca de Santiago, 1:100.000 (escala original). Falcón E. y Sánchez J.

Al mismo tiempo en que se representó estas dos formas aluvionales, se indicó la ubicación y extensión de depósitos denominados “de piedemonte” contemporáneos a la

construcción de ambos conos. Estos depósitos se constituyen de material coluvial en forma casi exclusiva, dispuestos en la base de las vertientes mediante flujos de detrito con escasa componente hídrica (microcuencas de baja montaña). Según los principios geomorfológicos de TRICART (*op. cit. B*), estas acumulaciones corresponderían más bien a un “glacis coluvial”, y no depósitos de piedemonte. Sin embargo, otros autores señalan que el “piedmont” es una unidad morfológica que puede estar conformada por antiguos depósitos de movimientos en masa, conos de deyección torrenciales y depósitos coluviales (NARANJO y VARELA, 1996; FERRANDO, 2000).

En el ámbito local, el interfluvio sobre el cual se emplaza Valdivia de Paine, se ha desarrollado dentro de una depresión local ligeramente inclinada hacia el SW y abierta hacia el N, pero obstaculizada por los cerros de La Calera y de Lonquén constituidos por rocas andesíticas y graníticas altamente impermeables (FALCÓN y SÁNCHEZ, 1967). Topográficamente, esta depresión conforma el sector más bajo de la cuenca de Santiago, siendo denominada por algunos autores como la “fosa de Buin”.

Este trabajo sobre la Geomorfología de la parte Sur de la cuenca de Santiago es complementada en la actualidad por estudios que analizaron la naturaleza y edad de los sedimentos. Del estudio “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho” (D.G.A. *op. cit. D*), se obtuvo gran información sobre formas aluviales, coluviales y polifásicas asociadas al área meridional (Figura N° 5). Este estudio señala que los abanicos aluviales (grandes conos de deyección regular) se asocian a cauces de ríos y esteros, tienen su origen en épocas de crecidas o aludes y en procesos de migración natural de los cursos fluviales en tiempos geológicos recientes. Ellos resultan del arrastre fluvial de grandes volúmenes de sedimentos que se depositan cuando la corriente pierde capacidad de transporte en áreas de llanuras. Otra característica estructural de estas formas, es el desarrollo de una gradación en el tamaño de los sedimentos perdiendo grosor desde el ápice hacia la sección distal.

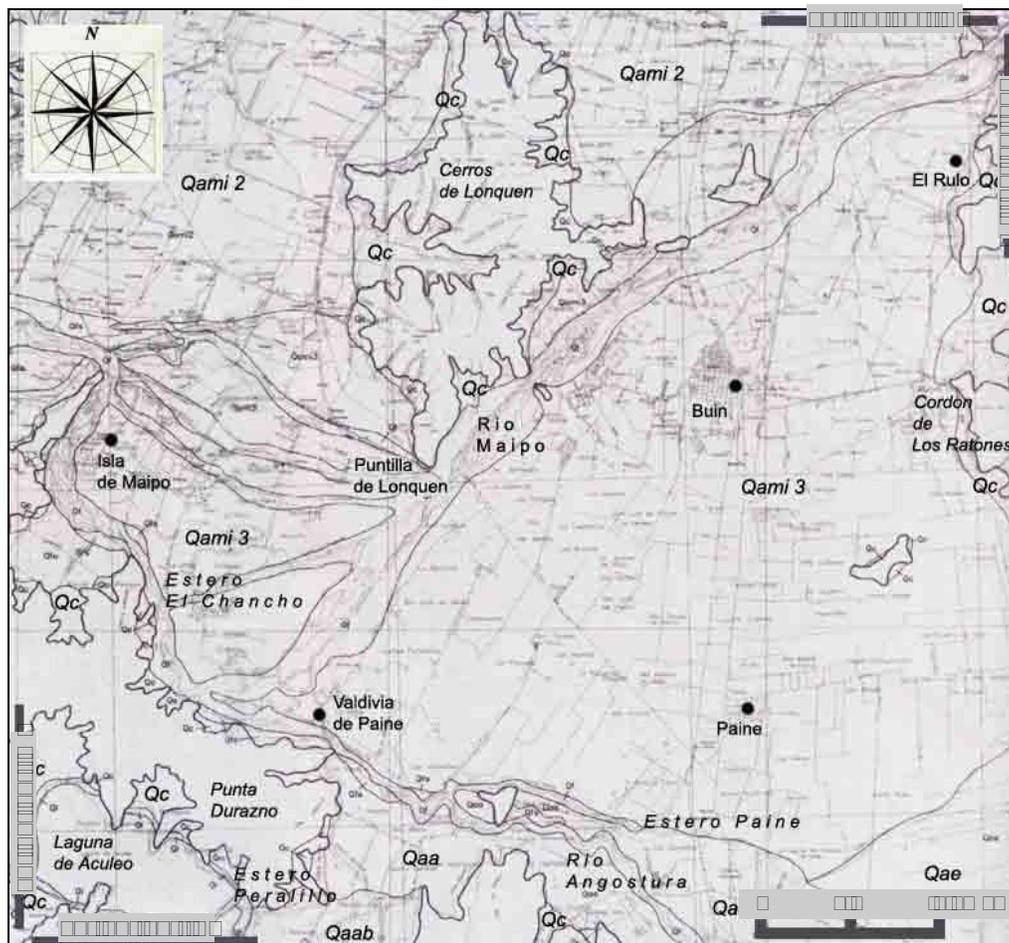
El Abanico aluvial o gran cono regular del Río Maipo constituye la geoforma más grande e importante emplazada dentro de la Depresión de Santiago ocupando casi toda su mitad S. Se le reconoce desde el Zanjón de la Aguada por el N (ARAYA-VERGARA, *op. cit.*), hasta el Estero Escorial de Paine por el S, y desde Las Vizcachas por el E, hasta El Monte por el W. Estos depósitos desarrollan una extensa acumulación en forma de abanico desde el sector de las Vizcachas (ápice del cono a 750 m.s.n.m.), donde el Maipo abandona Los Andes y entra en la Depresión Central perdiendo capacidad de transporte y depositando parte de su carga. La parte distal del abanico se encuentra alrededor de Talagante, a 340 m.s.n.m. Se han logrado reconocer tres subunidades separadas radicalmente respecto de la sección apical y de diferente edad. Estas subunidades se depositaron de acuerdo al siguiente orden a medida que el río fue migrando desde el N hacia el S.

El abanico antiguo denominado “Qami1”, es el más septentrional y se ubica al N del Río Maipo y al E de los cerros de Chena y del Cordón de Los Ratones, hasta el Zanjón de la Aguada. El Maipo deposita su carga originalmente en este sector, debido a los obstáculos mencionados. Luego de lograr traspasarlos, el río se encauzó por el lado N de los cerros de Lonquén dando origen al abanico intermedio. El abanico intermedio “Qami2”, se dispone al S de los cerros de Chena, pero al N de los cerros de Lonquén y al W del Cordón de Los Ratones. Finalmente, el río se encauza por el lado S de los cerros de Lonquén, originándose la subunidad Qami3. El abanico nuevo “Qami3” (Figura N° 5) es el más meridional y ocupa la porción S de la Depresión central. Esta subunidad, engrana hacia el S con los abanicos de los Ríos Clarillo (Qacl) y Angostura (Qaa), y del Estero

Escorial de Paine (Qae) (AYALA-CABRERA Y ASOCIADOS, 2000). Se reconocen además otros grandes conos regulares como el Abanico aluvial del Estero Escorial de Paine (Qae) ubicado en el extremo SE de la cuenca estudiada. El abanico es originado por los Esteros Escorial y Ajjal. Su extensión hacia el N está limitada por el Qami3 y hacia el W por el abanico del Estero Angostura (Qaa).

El Abanico aluvial del Río Angostura (Qaa) tiene su origen en el ingreso del río homónimo a la cuenca de Santiago. Su desarrollo hacia el N, queda limitado por el abanico de Estero Escorial (Qae) y el Qami3. Recoge los aportes del Río Peuco y del Estero Codegua, los que se ubican al S de la Angostura de Paine y desarrollan también abanicos aluviales, pero de menor extensión. La influencia de estos últimos en los desbordes sobre Valdivia de Paine no es mayor ni más directa que la ejercida por el Qae y Qaab. El Abanico aluvial del Estero Abrantes (Qaab) presenta una pequeña extensión. Esta unidad se posiciona en el sector de la Laguna de Aculeo hacia la Depresión central quedando obstruida por la influencia del abanico del Río Angostura (Qaa).

□□□□□□□□□□
“Geomorfología del relleno sedimentario en la zona Sur de la Depresión central”
(Diferenciación sedimentológica).



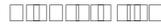
Fuente: M.O.P. Dirección General de Aguas (2000), “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho”. Cartografía sobre la Geomorfología del relleno sedimentario en la zona Sur de la Depresión central, 1:100.000 (escala original). Ayala-Cabrera y asociados.

extremos, salvo hacia el W en una primera dirección y luego hacia el NNW manteniéndose la potencia del centro. La localidad de Valdivia de Paine por su parte, se asienta en el extremo WSW del área meridional donde la potencia no supera los 200 mtrs.



Fuente: Falcón *et al.* (1970), "Espesor del relleno de la cuenca de Santiago". Cartografía de Isopacas, 1:250.000 (escala original).

Tres años antes (1967), la Subsecretaría del Ministerio de Agricultura solicitó al Instituto de Investigaciones Geológicas el "Estudio hidrogeológico del revenimiento periódico de los terrenos del área, Viluco, Paine, Valdivia de Paine", con el objeto de establecer los factores determinantes. Conceptualmente, el fenómeno corresponde al afloramiento periódico de agua subterránea que da origen a terrenos pantanosos. Para los lugareños, este fenómeno es conocido con el nombre de "revinición" y su ocurrencia se asocia al inicio del período estival. Tal como se aclaró en el capítulo anterior, la geoforma más extensa e importante del área meridional es el abanico reciente del Río Maipo (Qami3). Esta unidad ejerce una influencia indiscutida sobre el escurrimiento y las variaciones del nivel freático en el área. El levantamiento hidrogeológico realizado por FALCÓN y SÁNCHEZ (*op. cit.*) señala que los cortes naturales en la sección proximal del Qami3 (sector del Puente Maipo) dejan en evidencia que los materiales depositados (ripios gruesos con abundantes bolones en una matriz arenosa) presentan un espesor de a lo menos 15 mts. Estos materiales no se muestran consolidados lo que posiblemente se deba a una alta permeabilidad. En Valdivia de Paine en cambio (sección terminal del cono), se reconoció hasta una profundidad de 65 mtrs. de los cuales, los primeros 55 mtrs. presentan materiales de tamaño mediano a fino; arena y arcilla esencialmente, con muy poco ripio (Figura N° 7). En estos primeros metros la permeabilidad de los materiales sería baja y en los restantes, prácticamente nula debido a la abundancia de arcilla.



“Perfil y corte esquemático del relleno sedimentario entre el Puente Maipo y Valdivia de Paine”.

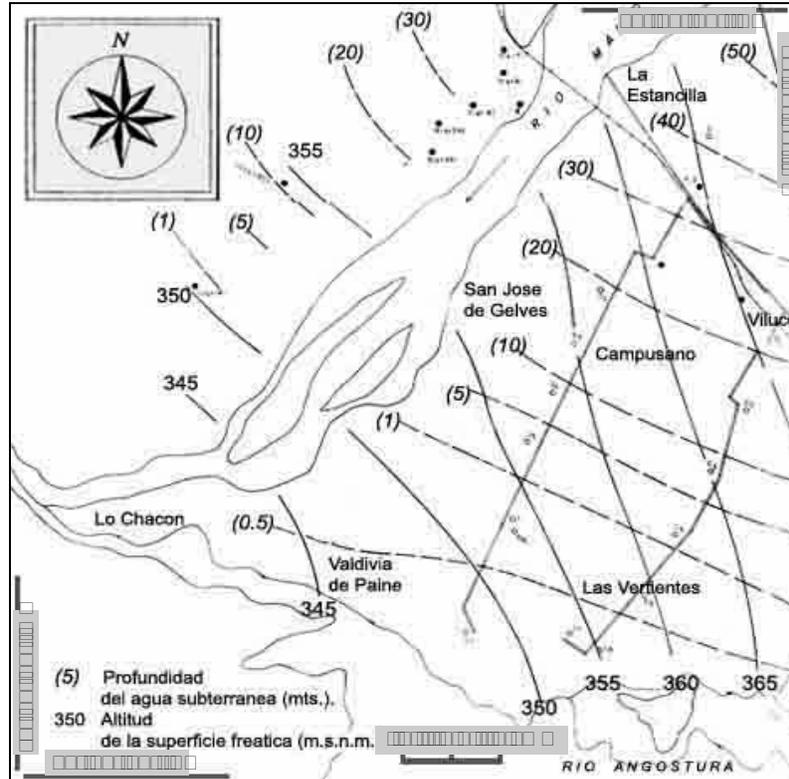


Fuente: I.I.G. (Instituto de Investigaciones Geológicas) (1967), “Estudio hidrogeológico del revenimiento periódico de los terrenos del área Viluco, Paine, Valdivia de Paine”. Perfil esquemático del abanico del Río Maipo. Falcón E. y Sánchez J.

A pesar de que el aporte cognitivo del perfil esquemático elaborado por estos autores se orienta básicamente a la estructura sedimentaria del relleno, el esquema logra representar con bastante detalle la silueta del Qami3 desde su vértice hasta la sección terminal. Junto con demostrar la normal disminución de la granulometría desde el ápice hasta la sección basal, el perfil ilustra la convexidad habitual de los conos de deyección. Sin embargo, se aprecia claramente una variación en la forma del perfil desde el sector de Viluco hacia el SW (Valdivia de Paine) desde donde la silueta comienza a perder convexidad para luego tornarse más rectilínea y finalmente, presentarse como una superficie débilmente cóncava. Esto podría indicar en una primera aproximación, el inicio de un glacis de derrame. Producto de estos rasgos hidrogeomorfológicos, existe una franja a lo largo de la sección terminal del gran cono del Maipo con serios problemas freáticos (Figura N° 4).

En el ámbito local, se aprecia que la napa se encuentra a muy poca profundidad y el escurrimiento subterráneo tiende a producirse en forma perpendicular a las curvas representativas de la superficie freática (Figura N° 8) es decir, desde Buin hacia el área de revenimiento donde se encuentra Valdivia de Paine. Este comportamiento local está fuertemente influenciado por la espacialidad del Qami3. Por otra parte, los flujos subterráneos en el extremo S del Qami3 presentan direcciones y sentidos coincidentes con las de corrientes superficiales del Estero Escorial y del Río Angostura. A diferencia del caso anterior, esta coincidencia está determinada por el cono regular del Río Angostura (Qaa). En los lugares cercanos a estos cursos fluviales el agua subterránea se encuentra a muy poca profundidad (< de 0,5 mtrs.). Según FALCÓN y SÁNCHEZ (*op. cit.*) en la parte adyacente al Estero Paine y al Río Angostura se hallan materiales de tamaño fino, mientras que hacia el N del área de revenimiento los materiales son más gruesos.

□□□□□□□□□□
“Altitud de la superficie freática y profundidad del agua subterránea”.

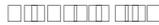


Fuente: I.I.G. (Instituto de Investigaciones Geológicas) (1967), “Estudio hidrogeológico del revenimiento periódico de los terrenos del área Viluco, Paine, Valdivia de Paine”. Cartografía sobre la Superficie freática y la profundidad del agua subterránea, 1:100.000 (escala original). Falcón E. y Sánchez J.

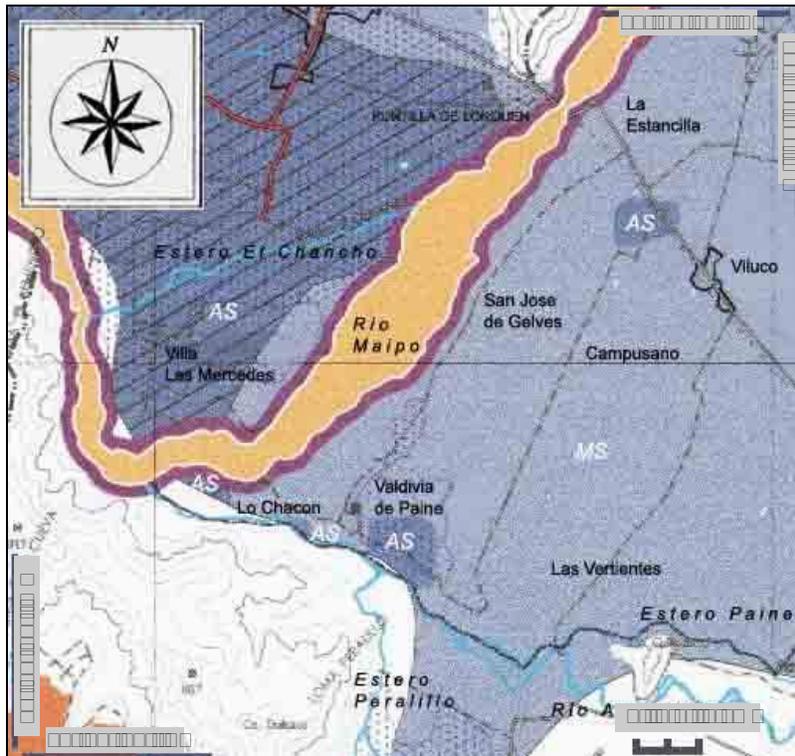
Para la Dirección General de Aguas (*op. cit. D*) los sedimentos identificados en pozos estudiados dentro del valle del Angostura indican la existencia de dos grandes niveles detríticos. El nivel inferior corresponde a un conjunto de sedimentos finos que se caracterizan por presentar abundantes cantidades de arcillas y limos, junto con fracciones menores de arenas y gravas. No existe conocimiento total sobre el espesor de esta unidad sedimentaria según lo citado, debido a que los sondajes realizados en el área no alcanzaron la roca basal sobre la cual descansarían estos materiales. Sin embargo, la permeabilidad media estimada para esta unidad se expresa en 0.0001 cms/seg. y su extensión adquiere un sentido tanto N-S como E-W. Probablemente, esta unidad se dispone a lo largo y ancho del valle del Angostura, llegando a acuñarse subsuperficialmente de sus vertientes. El nivel superior está referido a una unidad sedimentaria en cuya composición domina una fracción clástica de arenas gruesas y gravas dispuestas en una matriz de arenas medias a finas, con escasas proporciones de limos y arcillas. Su permeabilidad media se estima entre 0.01 y 0.001 cms./seg. y su espesor, entre 40 y 80 metros. Es muy probable que este nivel mantenga una continuidad a lo largo y ancho del valle del Angostura.

En 1998 el Gobierno Regional Metropolitano a través del proyecto O.T.A.S. entregó importantes antecedentes sobre la susceptibilidad del acuífero en el área. El proyecto determinó distintos grados de sensibilidad para el sistema-acuífero de la Región Metropolitana (Figura N° 9).

La sensibilidad fue definida a partir de un índice preliminar sobre vulnerabilidad y otro sobre aptitud del acuífero. Se establecieron espacios con diferentes grados de sensibilidad; alta (AS), media (MS) y baja (BS) encontrándose en el S de la Región Metropolitana, las áreas más sensibles producto de la poca profundidad del nivel freático.



“Sensibilidad del agua subterránea”.



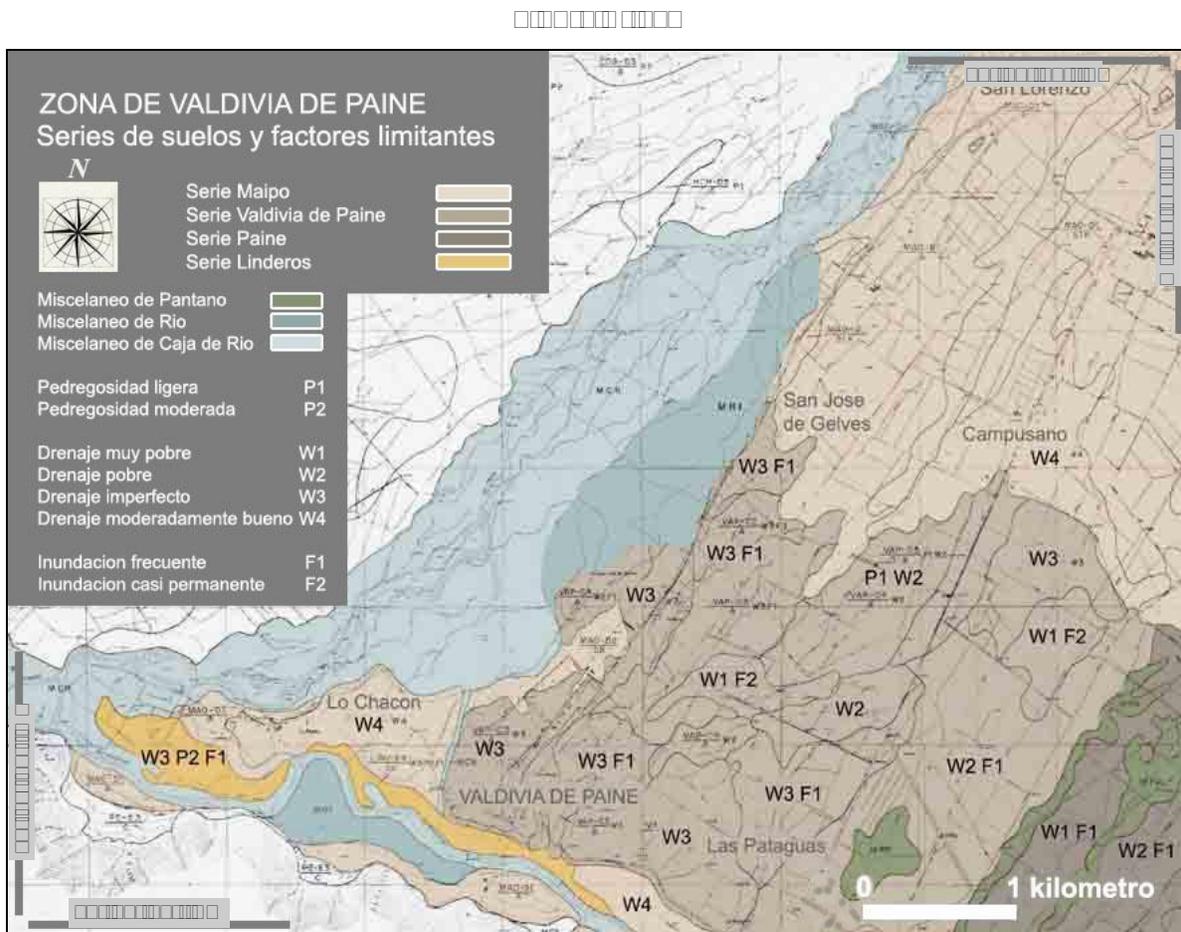
Fuente: G.O.R.E. (Gobierno Regional Metropolitano de Santiago) (1998), “Proyecto O.T.A.S.”. Cartografía sobre la Sensibilidad del agua subterránea, 1:100.000 (escala original). Sancha A., Espinoza C. y Castillo G.

Valdivia de Paine y sus alrededores presenta mayormente una condición de mediana sensibilidad del acuífero (MS) la que coexiste con lugares puntuales de alta sensibilidad (AS). Ambas condiciones muestran características endógenas o particulares en determinadas secciones de superficie que las representan. Así, una pequeña porción de terreno catalogada como de alta sensibilidad y localizada en lo que corresponde al sector de Lo Chacón, presenta un riesgo ecológico medio para las aguas subterráneas. De igual forma, una segunda porción altamente sensible y que yace justo en Valdivia de Paine se presenta como un área de alta permeabilidad.



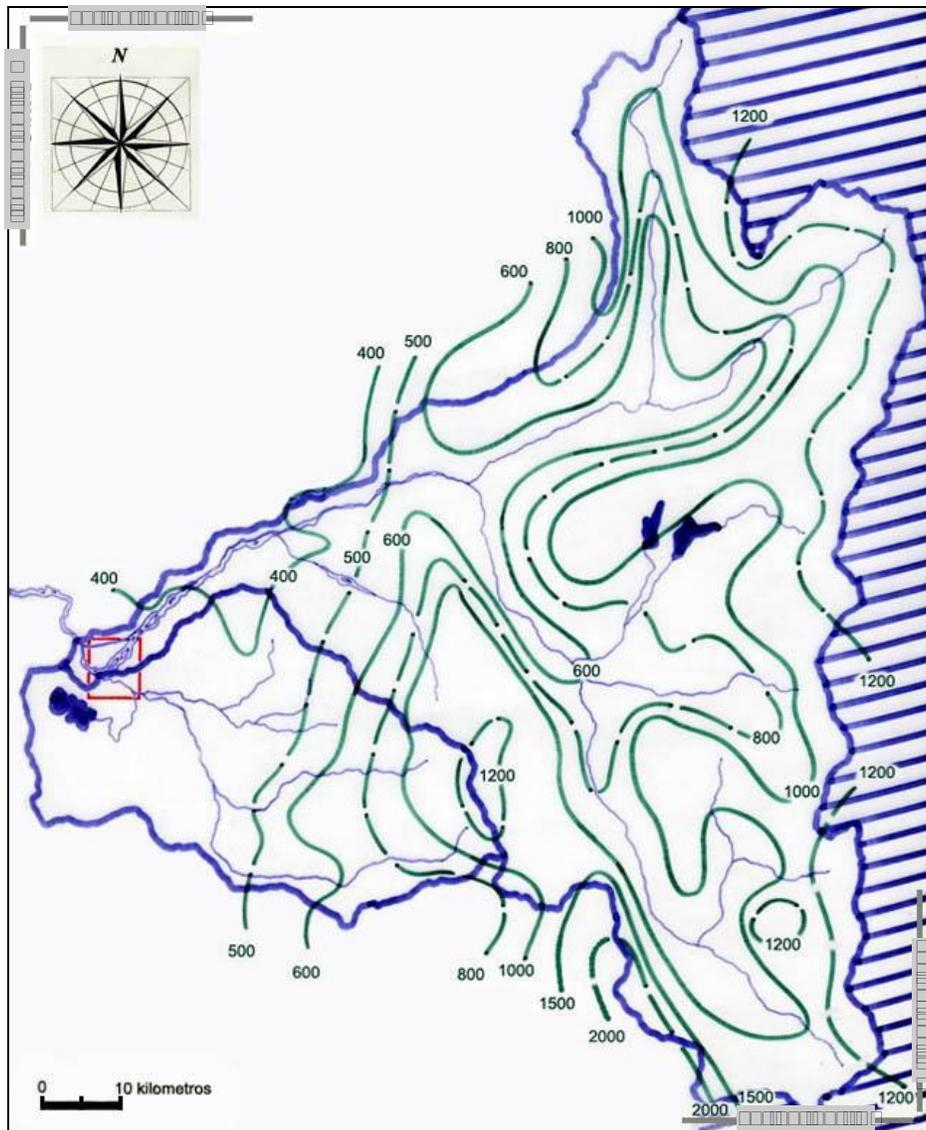
De acuerdo al estudio de suelos del Proyecto Maipo realizado por la Comisión Nacional de Riego (1981), el desarrollo del sustrato en el área de Valdivia de Paine está representado por 4 series (Figura Nº 10). Estas se dividen en numerosas subseries de las cuales sólo se ha considerado sus limitaciones específicas. Dentro del área-problema, la Serie Maipo perteneciente al orden Mollisol y de textura franca, comienza a perder competencia hacia el SW, desde los sectores de San José de Gelves y Campusano. Estos suelos profundos (60-150 cms.) y de permeabilidad moderadamente lenta,

reaparecen en el sector de Lo Chacón abarcando una superficie levemente mayor a 100 has. Ambas unidades se presentan discontinuas por la existencia de la Serie Valdivia de Paine, también asociada al orden Mollisol pero de textura franco limosa. Su profundidad varia entre 50 y 90 cms., y su permeabilidad también es moderadamente lenta. A diferencia de la Serie Maipo, presenta limitaciones considerables relacionadas al drenaje, al nivel freático y a inundaciones. En algunos sectores, esta serie presenta marcadas disecciones producto de antiguos cauces como el identificado en el sector de Lo Chacón el cual separa la Serie Maipo de la Serie Valdivia de Paine. Estrechamente asociada a esta unidad se encuentra la Serie Paine. Ubicada hacia el SE, también pertenece al orden Mollisol pero con una textura que se define como franco arcillo limosa. Estos suelos son de profundidad media (25-70 cms.), siendo 45 cms. la profundidad más representativa. Su permeabilidad es lenta y las limitaciones que presenta son las nombradas para la Serie Valdivia de Paine, pero en un grado más severo. El límite entre estas dos últimas series lo constituye un misceláneo de pantano, el cual reaparece algunos metros más hacia el SE. Finalmente, se reconoce una fracción adosada al margen NNE del Río Angostura y que corresponde a la Serie Linderos. A diferencia de las series anteriores, estos suelos se asocian al orden Inceptisol. Esta serie es de textura franca y se encuentra sobrepuesta a un substratum aluvial de piedras mixtas (hasta 25 cms. de diámetro) con intersticios arenosos. La profundidad varía entre 20 y 75 cms., y su buena porosidad le otorga una permeabilidad moderada a moderadamente rápida.



Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (Comisión Nacional de Riego) (1981), "Estudio de suelos del Proyecto Maipo". Cartografías sobre Series de suelos y factores limitantes, 1:20.000 (escala original). Agrolog Chile Ltda.

□□□□□□ □□□□□□
"Isoyetas anuales asociadas a un 50% de probabilidad de excedencia dentro del sistema Maipo-Angostura".



Fuente: Elaboración propia en base al estudio M.O.P. Dirección General de Aguas (2000), "Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho". Cartografía de Isoyetas anuales, 1:250.000 (escala original). Ayala-Cabrera y asociados.

Por otra parte, se observa que en esta cuenca la configuración de las isoyetas está fuertemente influenciada por el relieve montañoso, concretamente por la longitud de los valles cordilleranos y la profundidad de los talwegs. Sobresale en el caso de la cuenca superior y media del Río Maipo una irregularidad espacial de las isoyetas. La componente nival que caracteriza al sector alto de esta cuenca, es de gran importancia frente a la componente pluvial que caracteriza a los sectores medio y bajo (D.G.A., *op. cit. A*). La línea de nieve estacional alcanza en invierno alrededor de los 2.000 m.s.n.m. y en verano, cerca de los 3.700 mtrs. (D.G.A., *op. cit. C*). Este parámetro también ha sido estimado en 1.800 m.s.n.m., en relación a condiciones invernales medias (B.F. INGENIEROS CIVILES, *op. cit.*).



El análisis de los gastos medios mensuales interanuales del Río Maipo tras la afluencia del Río Clarillo (Tabla N° 1), entrega como primera característica un escurrimiento bastante irregular durante el año hidrológico. De acuerdo a los datos, la variabilidad de los caudales medios mensuales se da en promedio entre los 62 y los 263 mts.³/seg. Desde Mayo hasta Julio los caudales mensuales tienden a una relativa regularidad manteniendo un valor cercano a los 67,5 mts.³/seg. Es en el mes de Agosto cuando se presenta el gasto mínimo debido al debilitamiento de los frentes de mal tiempo y al predominio de bajas temperaturas en la alta y media montaña, lo cual retiene las precipitaciones sólidas. A partir de este mes, los valores experimentan un aumento exponencial hasta Octubre producto de las primeras fusiones de bancos nivales sobreexpuestos. Entre este último mes y Diciembre los caudales mensuales presentan el crecimiento más abrupto y sostenido dentro del año hidrológico. El solsticio de verano ha incrementado los deshielos para desplegar el máximo caudal durante este mes. Desde este peak, los gastos medios mensuales tienden ininterrumpidamente al descenso, primero sutilmente hasta Enero y luego de manera acentuada hasta el mes de Abril, indicando con ello el agotamiento parcial de las reservas de nieve.



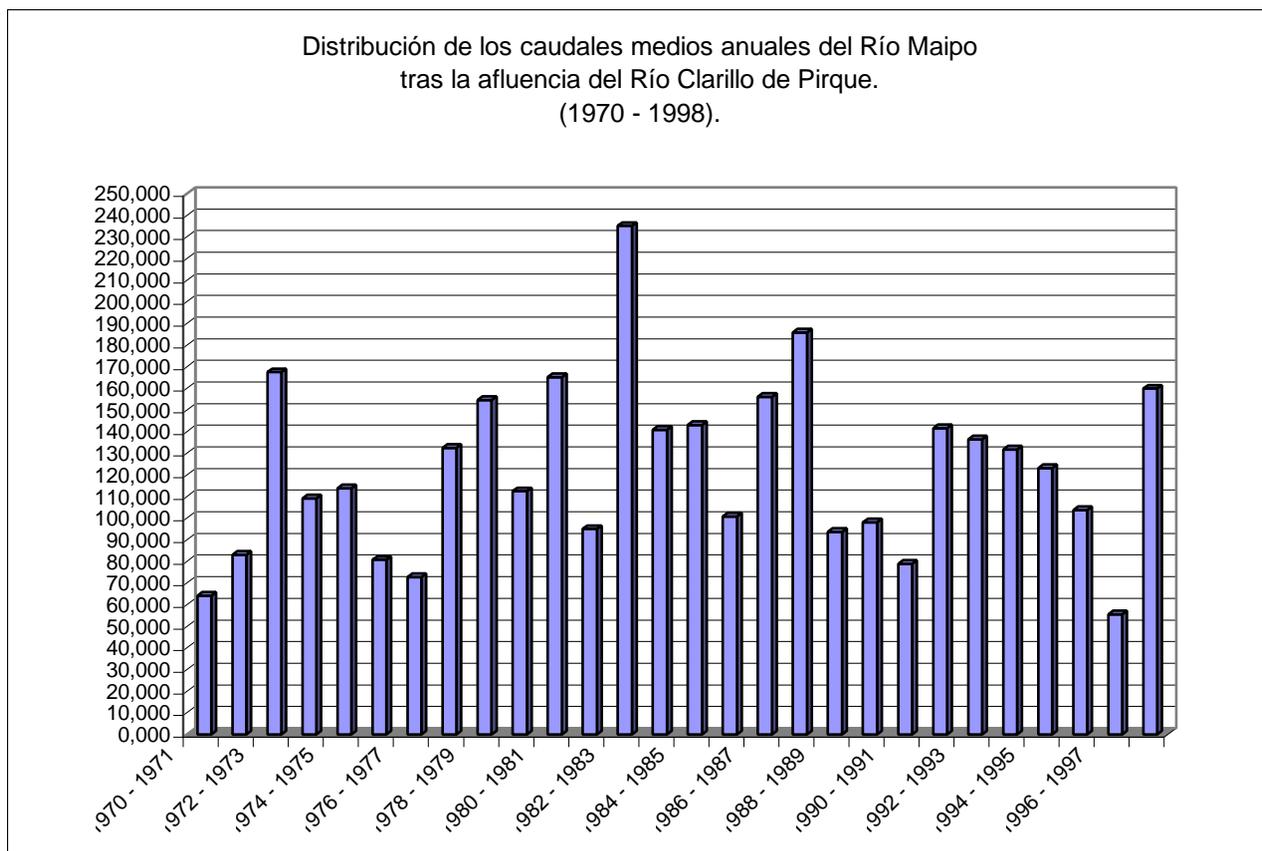
“Caudales medios mensuales interanuales (mts.³/seg.) asociados al Río Maipo tras la afluencia del Río Clarillo”. (1970-1998).

Meses	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Ab.
Qx mensual interanual	65,8	68,0	65,4	62,0	71,7	96,4	181,4	262,8	247,9	163,0	108,3	79,2

Fuente: Elaboración propia en base al estudio M.O.P. Dirección general de aguas (2000), “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho”. Estadística fluviométrica. Ayala-Cabrera y asociados. Los datos expuestos corresponden a una sumatoria entre los datos registrados en la estación Maipo en el Manzano y en la sección baja del Río Clarillo de Pirque.

Con respecto al desarrollo de caudales máximos instantáneos y en contraste con la caracterización anterior, los datos registrados por la estación fluviométrica Maipo en El Manzano durante un período de 22 años, indican que los mayores gastos instantáneos han ocurrido en la época invernal, preferentemente en el mes de Mayo y no durante los deshielos estivales. Esto se explica por una respuesta más instantánea a las precipitaciones líquidas que a la fusión nival. En definitiva, el régimen hidrológico del Río Maipo y de sus principales afluentes andinos es mixto, de allí que tenga fuertes crecidas en invierno, primavera y a comienzos del verano (D.G.A., *op. cit.* A).

En relación a los caudales medios anuales (Gráfico N° 1), el promedio interanual del período contemplado (1970-1998), alcanza los 161,4 mts.³/seg. El valor de la desviación standard indica que la dispersión de los datos es considerable, pues su valor representa casi el 40% del promedio. De los 28 datos anuales, 16 se encuentran bajo el promedio y 12 sobre él. El valor máximo de los caudales medios anuales corresponde a 344,4 mts.³/seg. y se asocia al año hidrológico 1982-1983, mientras que el gasto mínimo alcanzó los 65,9 mts.³/seg. y fue registrado el año hidrológico 1996-1997.



Fuente: Elaboración propia en base al estudio M.O.P. Dirección general de aguas (2000), "Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho". Estadística fluviométrica. Ayala-Cabrera y asociados. Los datos expuestos corresponden a una sumatoria entre los datos registrados en la estación Maipo en el Manzano y en la sección baja del Río Clarillo de Pirque.

Finalmente, una de las características sustanciales del Río Maipo que conviene resaltar, es que sus caudales exhiben una permanente y excesiva turbidez, a causa de la gran carga sólida en suspensión y al gran arrastre de fondo presentes desde la alta montaña. Esta propiedad deriva en la formación de múltiples bancos aluviales que dominan el lecho menor, en toda la sección media y baja de la subcuenca.



El Río Angostura drena la fracción S de la Depresión de Santiago comprendida en la Hoya del Río Maipo (Figura N° 1). Esta subcuenca se constituye en la sección alta por el Estero Codegua el cual, al recoger el aporte del Río Peuco pasa a llamarse Río Angostura recibiendo aguas abajo el aporte del Estero Paine, entre otros afluentes. Su tributación al Río Maipo se produce en las cercanías de Valdivia de Paine (B.F. INGENIEROS CIVILES, *op. cit.*). En algunas crecidas, el Estero Codegua suele variar su escurrimiento en función de las líneas de pendiente de su cono de deyección. Esto provoca ocasionalmente un escurrimiento hacia el Río Cachapoal, al interior de la Hoya del Río del Rapel (I.G.M., *op. cit.*). Una particularidad del Río Angostura está en que su cauce trasvasa importantes volúmenes de agua desde la cuenca de Rancagua hacia la de Santiago, drenando la sección preandina ubicada al oriente de San Francisco de Mostazal y Graneros.



En la subcuenca del Río Angostura, la distribución de las precipitaciones representadas por las isoyetas (Figura N° 11) describe una variación que se enmarca entre los 400 mm. en el fondo de la depresión, y valores cercanos a los 1.200 mm. en la cabecera de la subcuenca. En comparación con la cuenca superior y media del Río Maipo, las isoyetas en esta subunidad expresan una mayor regularidad espacial interrumpida por una débil inflexión derivada de los valles cordilleranos y de un progresivo aumento de las precipitaciones con sentido WNW-ESE.

No fue posible encontrar valores concretos sobre la línea de nieves estacional de invierno correspondiente a esta subcuenca. No obstante, sus condiciones climáticas debieran asimilarse más al clima de la Hoya del Río Rapel que a la del Maipo, debido a la influencia de los cordones transversales en la Angostura de Paine (biombo climático). Se estima que durante el invierno la línea de nieve en la subcuenca del Angostura, difícilmente superaría al valor calculado para la subcuenca del Maipo en 1.900 m.s.n.m. (D.G.A., *op. cit. B y C*). El área nival en el subsistema Angostura sería entonces menos relevante a la del subsistema Maipo, ya que su línea de nieves invernal definiría un área lluviosa mucho más extensa que la encargada de recepcionar las precipitaciones sólidas. De acuerdo a lo anterior y a los datos proporcionados por el estudio D.G.A. (*op. cit. B*), se estableció un valor promedio para el subsistema Angostura correspondiente a 1.750 m.s.n.m.



En relación al escurrimiento medio mensual del Río Angostura tras la afluencia del Estero Paine, el rasgo más evidente de la dinámica fluvial durante el año hidrológico es su irregularidad (Tabla N° 2). Los caudales medios mensuales interanuales varían dentro de un rango definido entre los 2,5 y los 10,2 mts.³/seg. Desde el comienzo del año hidrológico hasta el mes de Septiembre, se observa un incremento paulatino de los volúmenes mensuales seguramente relacionado al aumento de las precipitaciones. Entre Septiembre y Octubre los gastos mensuales decaen suavemente para luego incrementarse con fuerza hasta Noviembre donde el Río Angostura presenta su mayor flujo medio mensual. Entre este peak influenciado por la fusión nival y el mes siguiente, los caudales comienzan a debilitarse para finalmente replegarse en forma constante hasta el mes de Marzo. Entre este último y el mes de Abril, el Río Angostura y su respectiva cuenca comenzarán a recargarse.



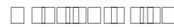
“Caudales medios mensuales interanuales (mts.³/seg.)
asociados al Río Angostura tras la afluencia del Estero Paine”.
(1970-1998).

Meses	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Ab.
Qx mensual interanual	3,1	4,7	4,8	5,4	7,3	6,8	10,2	9,8	6,0	3,3	2,5	3,0

Fuente: Elaboración en base al estudio M.O.P. Dirección general de aguas (2000), “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho”. Estadística fluviométrica. Ayala-Cabrera y asociados. Los datos expuestos corresponden a una sumatoria estadística entre los datos registrados en la estación Angostura en Angostura y en la sección baja del Estero Paine.

Por otro lado, el desarrollo de caudales máximos instantáneos en esta subcuenca se presenta retardado con respecto a la cuenca del Río Maipo. El análisis de los datos registrados por la estación fluviométrica Angostura en Valdivia de Paine durante un

período de 21 años, indican que los mayores gastos instantáneos tienden a desarrollarse en el mes de Julio (invierno) y no durante Mayo (otoño), mes en el cual se inicia normalmente la recarga hídrica. Según la D.G.A. (*op. cit. D*) estos antecedentes caracterizan al Río Angostura como un curso de régimen pluvial.

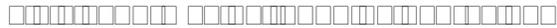


Fuente: Elaboración en base al estudio M.O.P. Dirección general de aguas (2000), "Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho". Estadística fluviométrica. Ayala-Cabrera y asociados. Los datos expuestos corresponden a una sumatoria estadística entre los datos registrados en la estación Angostura en Angostura y en la sección baja del Estero Paine.

Con respecto a los caudales medios interanuales del período 1970-1998 (Gráfico N° 2), se determinó que el valor promedio asociado al Río Angostura alcanza los 5,8 mts.³/seg. El valor de la desviación standard representa el 62,5% de este promedio indicando una alta dispersión de los datos con respecto a la media. De los 28 datos analizados, 19 se encuentran bajo el promedio y 9 sobre él. El máximo de los caudales medios anuales corresponde a 14,4 mts.³/seg., y se asocia al año hidrológico 1982-1983 al igual que el máximo de la cuenca del Río Maipo. En el otro extremo, el caudal mínimo anual de la estadística fue registrado durante el año hidrológico 1996-1997 (coincidente con el Río Maipo), y correspondió a 1,3 mts.³/seg.

Una característica que comparte el Río Angostura en relación al Maipo, es la marcada turbidez de sus aguas a causa de los materiales finos en suspensión. Sin embargo, esta característica es menor a la presentada por el Río Maipo, acentuándose en el tramo asociado a la sección terminal del Qami3. La turbidez de las aguas incide en la formación de bancos aluviales centrales y laterales en el lecho menor del Río Angostura, sobre todo en la sección baja próxima a la confluencia.

Las microcuencas mencionadas deyectaron materiales que posteriormente dieron origen a glacis de derrame como los ubicados al E de la localidad de Alto Jahuel y al ESE del cerro La Sanchina. Ambas unidades muestran una extensión levemente mayor que los glacis observados en las cercanías de la Laguna de Aculeo. En tales sectores, los glacis de derrame se orientan casi paralelamente hacia el ENE.



En el área meridional de la Depresión de Santiago, las geoformas dominantes corresponden a grandes conos de deyección regular. Se logran reconocer seis unidades asociadas a ríos y esteros. El mayor emplazamiento dentro del área examinada lo representa el cono regular o abanico Qami3 del Río Maipo. Su ápice se encuentra aproximadamente en el extremo S del Puente Los Morros, junto al cordón de Los Ratones (sector de El Rulo). Este cono cubre la parte central del área meridional mostrando una inclinación hacia el SW de un 1%. Es delimitado hacia el NW por el complejo Cerros de Lonquén y sus respectivos glacis coluviales, para luego dar origen a un cono menor desde La Puntilla de Lonquén hacia el poniente. En su extremo NE y E, se encuentra delimitado por el cordón de Los Ratones y sus respectivos glacis coluviales y de derrame.

En su sección basal o terminal, el Qami3 es interceptado por tres conos de menor extensión asociados al Estero Escorial y al Río Angostura. Tales acumulaciones se disponen en forma contrapuesta y transversal al eje central del Qami3. Como consecuencia del contacto entre estos conos aluviales, se deducen diversas depresiones locales. Así, el sector de La Rana ubicado al N de la localidad de Huelquén, se halla sobre lo que correspondería a una depresión periférica entre las secciones terminales del Qami3 y del cono Qae del Estero Escorial. Igualmente, sectores bajos de la comuna de Paine ubicados al S y SE como la localidad de Champa, se encontrarían sobre depresiones periféricas entre las secciones terminales de los conos: Qami3, Qae y Qaa.

Tras su ingreso a la Depresión de Santiago, el Río Angostura luego de recorrer unos 17,8 kms. hacia el NW y presionado por el Qami3, genera un nuevo cono pocos metros antes de recibir las aguas del Estero Paine. Este pequeño cono (Qaa) tiene su ápice entre el Cerro Cullipeumo y las lomas que se hallan inmediatamente hacia el S. Desde este lugar, el Qaa engrana hacia el W configurando una depresión periférica entre su borde N y la sección terminal del Qami3. Esta depresión es ocupada básicamente por el lecho fluvial del Río Angostura existiendo también pequeños asentamientos como Cullipeumo bajo, El Vínculo, Peralillo y Las Tazas en la ribera S del Angostura. Cerca de estos sectores (hacia el WNW) se encuentra la depresión periférica distal del Qami3, la cual es delimitada en su extremo SSW por los glacis coluviales del cordón Punta Durazno. Dentro de esta depresión se emplaza la localidad de Valdivia de Paine y los sectores de Lo Chacón (hacia el WNW), Las Pataguas y Las Vertientes (ambas hacia el ESE).

Otro cono que se logra reconocer en el área de Valdivia de Paine, es el asociado al Estero Abrantes. Este cono es denominado Qaab (D.G.A. *op. cit. D*) y se dispone hacia el SE de la Laguna de Aculeo. Sobre él, escurren las aguas de dos canales resultantes de la bifurcación del Estero Huiticalán. Este cono engrana hacia el NNE y configura una depresión periférica distal con el pequeño cono Qaa, la cual contiene el escurrimiento del Estero Abrantes.

Finalmente, se observa que el pequeño cono asociado al Río Maipo pero con ápice en el sector de La Puntilla de Lonquén, define un singular microrelieve que influye con fuerza sobre este río a su paso por Valdivia de Paine. El Qami3 propiamente tal y la subunidad mencionada, configuran la única depresión interconsecuente del área meridional, incidiendo con fuerza en el escurrimiento del Río Maipo. En la actualidad, este curso es prácticamente obligado a ocupar la depresión que resulta del contacto entre el margen E del Qami3 y todo el borde SE del pequeño cono de Lonquén. Sin embargo, la depresión interconsecuente que coincide con el lecho mayor del Río Maipo en este sector, no se presenta como una sección fuertemente deprimida acompañada de bruscos cambios de pendiente, sino como una sección relativamente plana. La condición señalada es mucho más notoria en el sector de San José de Gelves (Perfil MT3) donde el escarpe de la ribera SE o el borde de la terraza principal, prácticamente no existe.

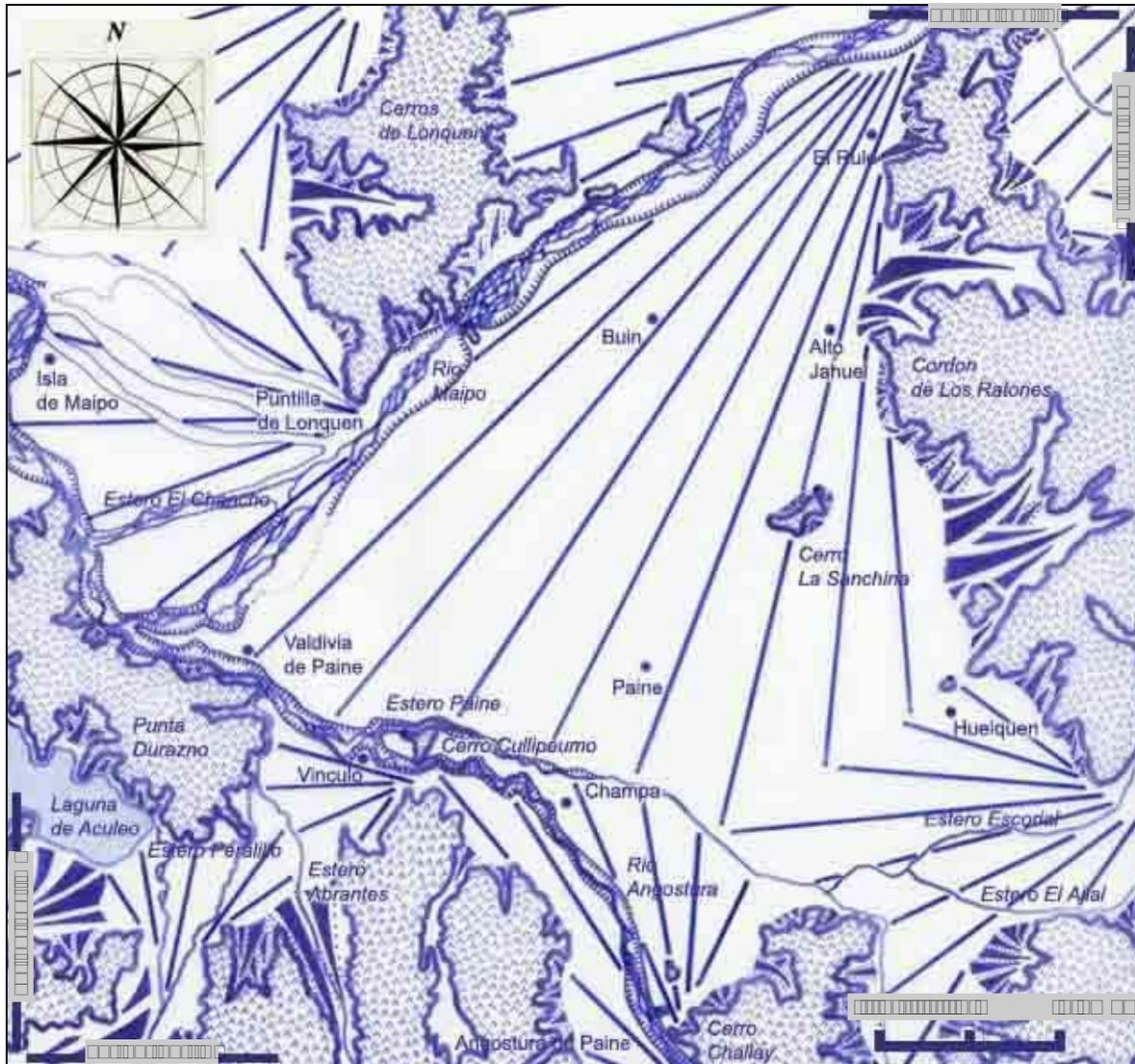


Dentro del área meridional, el sector de San José de Gelves es el único lugar donde se interrumpe el continuum de riberas que delimita el lecho mayor del Río Maipo. Pocos metros aguas abajo del Puente Los Morros, el Río Maipo luego de ingresar al área estudiada comienza a cambiar su patrón de escurrimiento de tipo concentrado a uno trezado y anastomosado. A pesar de que su escurrimiento presenta una marcada dirección NE-SW, la escasa pendiente del lecho y la gran carga de sedimentos en relación con los volúmenes de agua que evacua, dificultan la concentración del flujo en un solo cauce o canal. El patrón de canales anastomosados acusa un balance de disección negativo.

El cauce del Río Angostura a diferencia del Río Maipo, presenta límites bastante claros los cuales se expresan a través de marcados escarpes y desniveles. El Río Angostura desde su ingreso a la sección meridional de la Depresión de Santiago, se presenta como un curso bien encauzado pero con una marcada tendencia meándrica, aguas abajo del sector de Champa. Paralelamente, se reconoce una leve anastomosis tras la afluencia del Estero Paine. Desde la localidad de Champa la presencia de bancos aluviales centrales y laterales se hace frecuente hasta el sector de confluencia con el Río Maipo sin embargo, su escurrimiento se muestra preferentemente concentrado en un sólo cauce o canal. El Estero Paine por su parte, después de cruzar la Ruta 5 Sur, también muestra una tendencia meándrica pero menor a la presentada por el Río Angostura.

Como producto del análisis geomorfológico del área meridional, se elaboró una cartografía (Figura N° 12) sobre las principales unidades que configuran el territorio analizado. Los mecanismos morfogenéticos y su dinamismo actual son tratados en el capítulo sobre “análisis de resultados”.

“Geomorfología del relleno sedimentario en el área meridional de la Depresión de Santiago”.



- | | | | | | |
|--|----------------------|--|---------------------------|--|---|
| | Estructura orogénica | | Cono de deyección caótico | | Lecho fluvial irregular |
| | Glacis coluvial | | Cono de deyección regular | | Borde y escarpe de terraza fluvial |
| | Glacis de derrame | | Lecho fluvial calibrado | | Canales anastomosados |
| | | | | | Difluencias con bancos medios y laterales |

Fuente: Elaboración propia en base a los estudios: G.O.R.E. (1999), “Proyecto O.T.A.S”. Cartografía base, 1:100.000; M.O.P. Dirección General de Aguas, 2000), “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho”. Carta geomorfológica del relleno sedimentario en la zona sur de la Depresión central, 1:100.000; I.I.G. (1967), “Estudio hidrogeológico del revenimiento periódico de los terrenos del área Viluco, Paine y Valdivia de Paine” (inédito). Cartografía del Levantamiento geomorfológico de la parte Sur de la cuenca de Santiago, 1:100.000; y Araya-Vergara (1985), “Carta geomorfológica de la cuenca del Mapocho”, 1:100.000. Simbología sobre formas de base de vertiente o de contacto y formas fluviales.

□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□ □□ □□□□□□□□□□□□□□

□ □□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□ □□□□□□□□ □□□□□

El área atribuida a las secciones superior y media de la cuenca del Río Maipo, alcanza los 5.579,2 kms.² (Cuadro N° 2) correspondiendo al 78,1 % de la superficie total del sistema Maipo-Angostura (área de estudio). El índice de pendiente media se aplicó hasta el punto de confluencia con el Río Angostura resultando un valor de 21,15° (47%).

□ □□□□□□□ □□□□

“Indicadores morfométricos básicos para la cuenca superior y media del Río Maipo”.

N°	Parámetro	Valores
1	Área total (Kms. ²)	5.579,2
2	Perímetro (Kms.)	443,1
3	Pendiente media	21,15° (47%)
4	Coefficiente de Gravelius*	1,66
5	Línea de nieve invernal (m.s.n.m.)	1.900
6	Área aportante pluvial (Kms. ²)	1.056,44
7	Línea de nieve estival (m.s.n.m.)	3.700
8	Área aportante nival (Kms. ²)	1.381,26

* Parámetro expresado en un valor adimensional.

Fuente: Elaboración propia en base a los estudios: M.O.P. Dirección General de Aguas (1987), “Investigación de sistemas de alerta de crecidas fluviales, regiones V, VI, VII y R.M.”; M.O.P. Dirección General de Aguas (1999), “Variación de la línea de nieves como elemento de modelación y pronóstico de cuencas nivoglaciaras de Chile central” y G.O.R.E. (1999), “Proyecto O.T.A.S.”. Cartografía base de la Región metropolitana, 1:100.000. Sobre esta última se desarrollaron mediciones planimétricas y curvimétricas, y se aplicaron diversas ecuaciones morfométricas.

Los resultados anteriores se complementan con la diferenciación areal de la cuenca, según pisos altitudinales (Cuadro N° 3). Estructuralmente, el área que abarcan las secciones alta y media de esta cuenca se concentra entre los 2.000 y los 4.000 metros de altitud, alcanzando un 64,9% de la superficie total. Sobre los 4.000 m.s.n.m., el área asociada es levemente inferior al 15% de la superficie total.

El valor atribuido a la línea de nieve anual, corresponde a un promedio entre los valores presentados en el capítulo sobre análisis de antecedentes. Durante el año, la precipitación sólida dentro de estas secciones caería en promedio sobre los 2.700 m.s.n.m. Los valores altitudinales medios asignados a la línea de nieves estacional, expresan que durante el invierno el escurrimiento del Río Maipo es alimentado por un área aportante pluvial relativamente pequeña (Figura N° 13) cuya extensión corresponde al 18,93% de la superficie asociada a las secciones media y alta.



“Hipsometría de la cuenca superior y media del Río Maipo”.

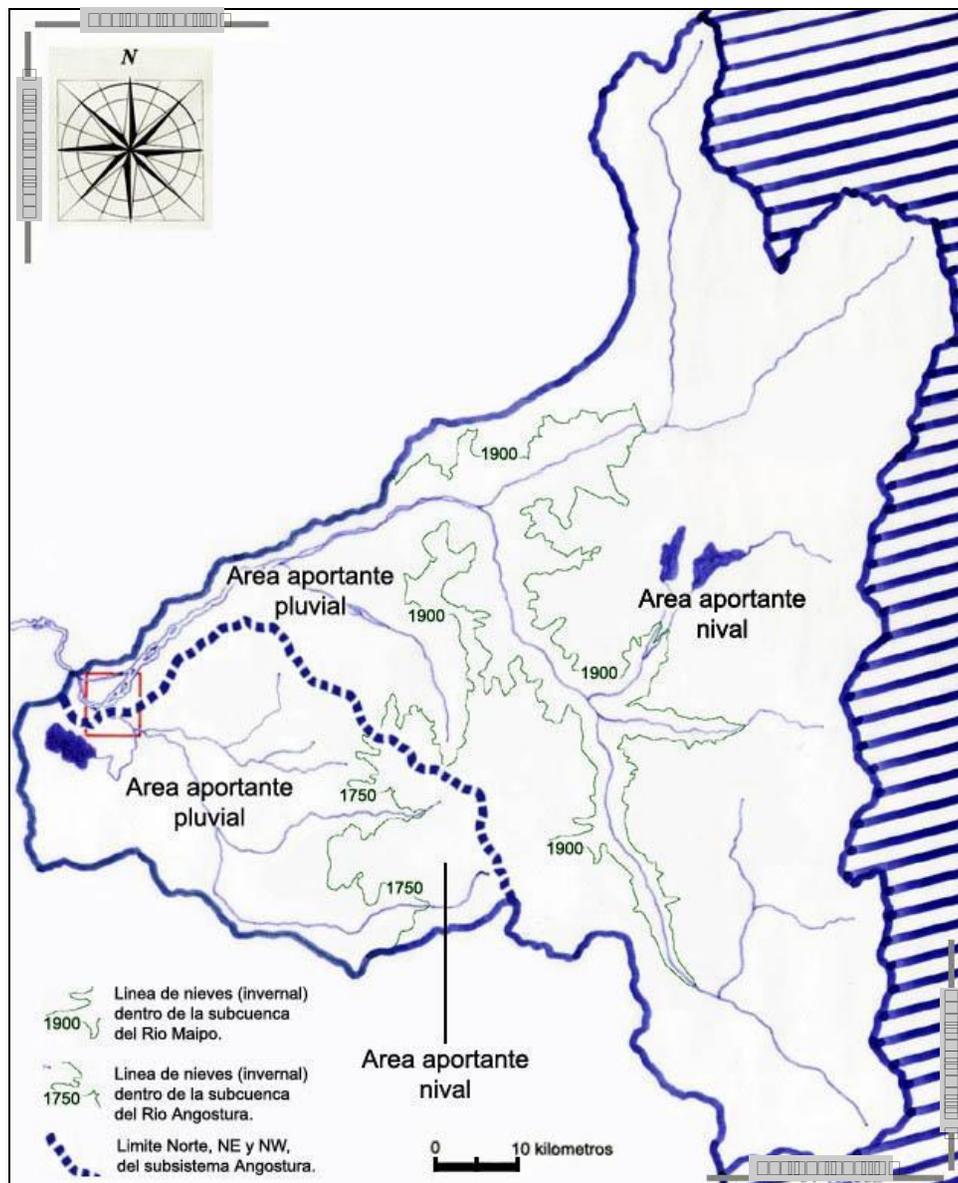
N° del rango	Rango de elevación (m.s.n.m.)	Área parcial		Área acumulada descendente	
		(kms. ²)	(%)	(kms. ²)	(%)
1	5500 - >	31,1	0,6	5579,2	100,0
2	5000 - 5500	83,1	1,5	5548,1	99,5
3	4500 - 5000	200,9	3,6	5465,0	98,0
4	4000 - 4500	494,0	8,9	5264,1	94,4
5	3500 - 4000	953,6	17,1	4770,1	85,5
6	3000 - 3500	1152,8	20,7	3816,5	68,4
7	2500 - 3000	875,8	15,7	2663,7	47,8
8	2000 - 2500	638,4	11,4	1787,9	32,1
9	1500 - 2000	465,3	8,3	1149,5	20,6
10	1000 - 1500	315,5	5,7	684,2	12,3
11	500 - 1000	280,2	5,0	368,7	6,6
12	0 - 500	88,5	1,6	88,5	1,6

Fuente: Elaboración propia en base a los estudios: M.O.P. Dirección General de Aguas (1999), “Variación de la línea de nieves como elemento de modelación y pronóstico de cuencas nivoglaciaras de Chile central” y G.O.R.E. (1999), “Proyecto O.T.A.S.”. Cartografía base de la Región metropolitana, 1:100.000. Sobre esta última se desarrollaron mediciones planimétricas.

De acuerdo a los antecedentes recopilados, el área pluvial máxima durante el invierno difícilmente excedería el piso altitudinal de los 2.500 metros de altitud, lo que significa que sobre esta cota las precipitaciones serían siempre sólidas, exceptuando eventos extraordinarios. Las precipitaciones medias anuales dentro del área aportante pluvial varían entre los 400 y los 1.000 mm. (Figura N° 11). No obstante, en el extremo S de la sección altoandina (área aportante nival), las precipitaciones pueden alcanzar los 2.000 mm.

En cuanto al diseño de la red de drenaje (Figura N° 14), el patrón que domina dentro del subsistema del Río Maipo, es el patrón rectangular. Este dominio se concentra preferentemente en la sección altoandina de la cuenca, coincidiendo en forma relativa con el área de recepción nival durante el invierno. El diseño rectangular suele predominar en las subcuencas principales y secundarias de un área altamente tectonizada, pero no representa la situación de los drenes menores cuyo control principal lo determina la pendiente. Bajo la línea de nieves invernal (1.900 m.s.n.m.), la red de drenaje presenta un diseño preferentemente dendrítico, coincidiendo con la sección más alta y lluviosa del área pluvial. En la sección baja de la cuenca predomina un diseño artificializado que en este trabajo se ha denominado de “riego”.

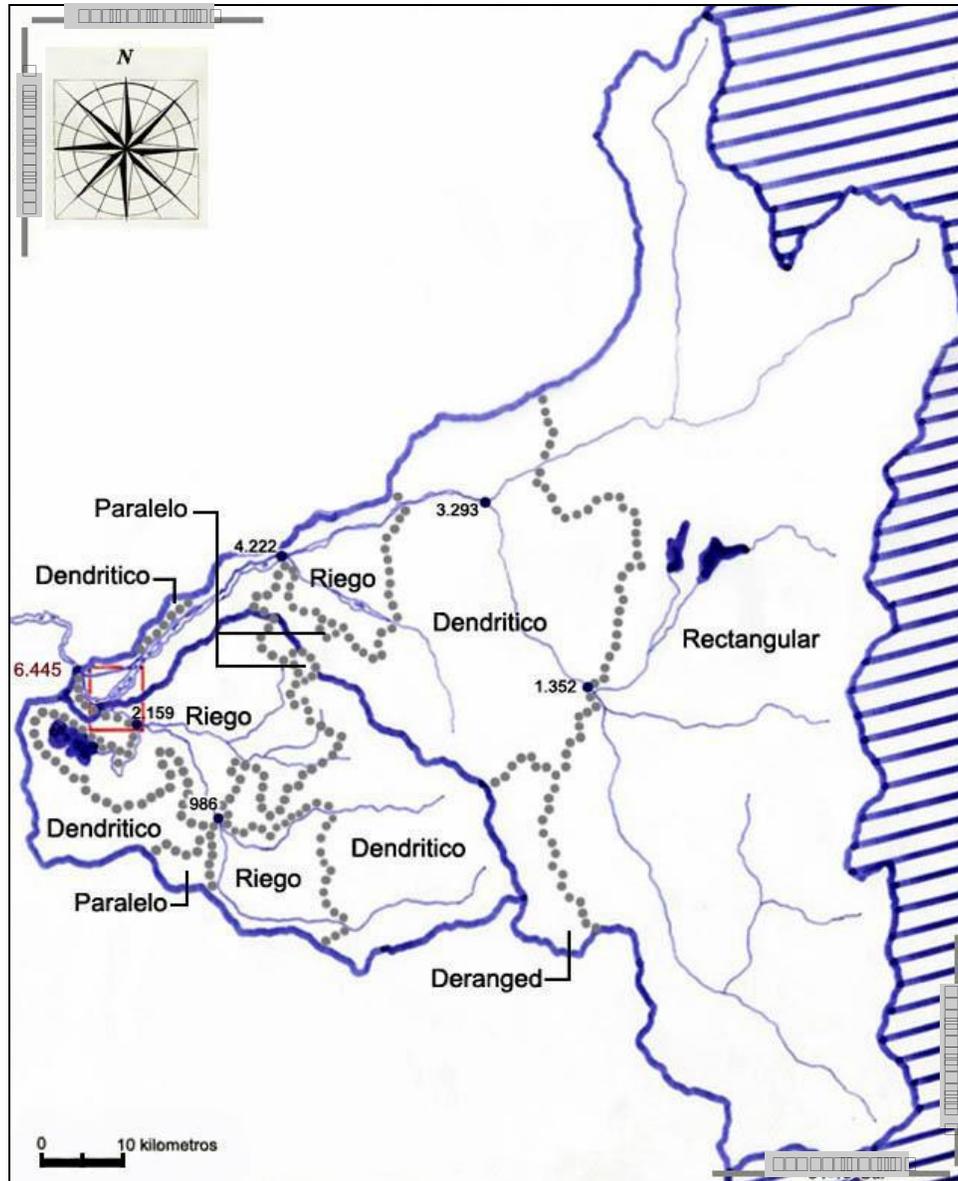
□□□□□□□□□□
 “Altitud de la línea de nieves invernal y diferenciación de las áreas aportantes dentro del Sistema Maipo-Angostura”.



Fuente: Elaboración propia en base a los estudios: M.O.P. Dirección General de Aguas (1987), “Investigación de sistemas de alerta de crecidas fluviales, regiones V, VI, VII y R.M.”; M.O.P. Dirección General de Aguas (1999), “Variación de la línea de nieves como elemento de modelación y pronóstico de cuencas nivoglaciaras de Chile central”. y G.O.R.E. (1999), “Proyecto O.T.A.S.”. Cartografía base de la Región metropolitana, 1:100.000.

La frecuencia del drenaje calculada para las secciones alta y media de la cuenca, alcanza los 0,75 drenes / km.². La aplicación del método de Shreve a este subsistema entregó un valor final de 4.260 drenes, lo que representa el número total de drenes elementales. Este valor fue calculado hasta el sector de La Estancilla, en la ribera SE del Río Maipo dentro de la comuna de Buin. En la Figura N° 14, aparecen algunos puntos del sistema Maipo-Angostura, sobre los cuales se expresan los correspondientes valores jerárquicos.

□□□□□□ □□□□
"Diseño y Jerarquización de la red de drenaje
dentro del Sistema Maipo-Angostura".



Fuente: Elaboración propia en base a: Strahler A. (1979), "Geografía Física". y al estudio G.O.R.E. (1999), "Proyecto O.T.A.S.". Cartografía base de la Región metropolitana, 1:100.000. Sobre esta última también se aplicó el método de Jerarquización de Shreve (en Ferrando F., 1994).

Con respecto al tiempo de concentración de las precipitaciones dentro del área pluvial, se determinó que el tiempo que demoraría la partícula de agua más alejada de la confluencia Maipo-Angostura (salida del sistema) en llegar a este punto, sería equivalente a 10,5 horas.

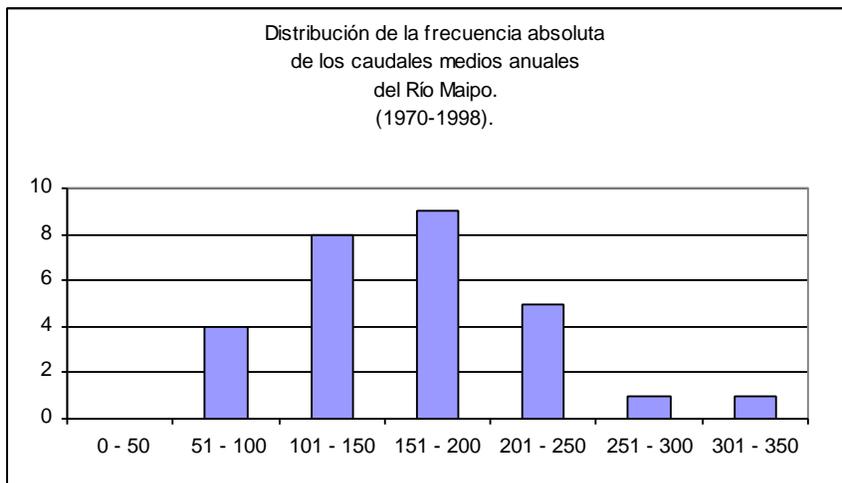


“Distribución de la frecuencia de los caudales medios anuales del Río Maipo tras la afluencia del Río Clarillo.”
(1970-1998).

Intervalo	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
0 - 50	0	0
51 - 100	4	14,3
101 - 150	8	28,6
151 - 200	9	32,1
201 - 250	5	17,9
251 - 300	1	3,6
301 - 350	1	3,6
Totales	28	100,0

Fuente: Elaboración propia en base al estudio M.O.P. Dirección General de Aguas (2000), “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho”. Estadística fluviométrica. Ayala-Cabrera y asociados.

El histograma sobre caudales medios anuales (Gráfico N° 3) elaborado en base a los datos del Cuadro N° 4, muestra una distribución bastante irregular de las frecuencias y señala a los caudales de mediana magnitud (101-200 mts.³/seg.) como los de mayor ocurrencia dentro del período 1970-1998. Los caudales correspondientes a los rangos 51-100 y 201-250 mts.³/seg. tuvieron una ocurrencia de 4 y 5 veces respectivamente, dentro de los 28 años. Tales valores se presentan en una frecuencia que no es la mayor del período pero tampoco la menor. Por último, los caudales medios anuales de menor frecuencia corresponden a aquellos cuyos valores oscilan entre los 251 y 350 mts.³/seg., es decir, los máximos promedio.



Fuente: Elaboración propia en base al estudio M.O.P. Dirección General de Aguas (2000), “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho”. Estadística fluviométrica. Ayala-Cabrera y asociados.



La superficie abarcada por esta subcuenca fue estimada en 1.564,0 kms.² (Cuadro N° 5). Este valor representa el 21,9% de la superficie total del sistema Maipo-Angostura. Según el índice de HORTON (1945), la subcuenca del Río Angostura presenta una pendiente promedio de 11,25° (25%).



“Indicadores morfométricos básicos, para la subcuenca del Río Angostura”.

N°	Parámetro	Valores
1	Área total (Kms. ²)	1564,0
2	Perímetro (Kms.)	198,0
3	Pendiente media	11,25° (25%)
4	Coef. de Gravelius*	1,40
5	Línea de nieve invernal (m.s.n.m.)	1750
6	Área aportante pluvial (Kms. ²)	1232,4
7	Línea de nieve estival (m.s.n.m.)	p/nc
8	Área aportante nival (Kms. ²)	p/nc

* Parámetro expresado en un valor adimensional.

Fuente: Elaboración propia en base a los estudios: M.O.P. Dirección General de Aguas (1987), “Investigación de sistemas de alerta de crecidas fluviales, regiones V, VI, VII y R.M.”; M.O.P. Dirección General de Aguas (1999), “Variación de la línea de nieves como elemento de modelación y pronóstico de cuencas nivoglaciaras de Chile central” y G.O.R.E. (1999), “Proyecto O.T.A.S.”. Cartografía base de la Región metropolitana, 1:100.000. Sobre esta última se desarrollaron mediciones planimétricas y curvimétricas, y se aplicaron diversas ecuaciones morfométricas.

De acuerdo al análisis hipsométrico (Cuadro N° 6), la cota máxima de esta unidad hidrológica no sobrepasa los 4.000 m.s.n.m. (cumbre tripartita de las cuencas Maipo, Cachapoal y Codegua a 3.805 m.s.n.m.). La hipsometría da cuenta de una mayor concentración de superficie bajo los 1.000 m.s.n.m. representando el 61% del área total. Entre los 1.000 y los 2.500 m.s.n.m. el área asociada llega a representar el 31,1% de la superficie total. Sobre esta cota, el porcentaje alcanzado no supera el 8%.



“Hipsometría de la subcuenca del Río Angostura”.

N° del rango	Rango de elevación (m.s.n.m.)	Área parcial		Área acumulada descendente	
		(kms. ²)	(%)	(kms. ²)	(%)
1	5500 - >	r/ss	r/ss	r/ss	r/ss
2	5000 - 5500	r/ss	r/ss	r/ss	r/ss
3	4500 - 5000	r/ss	r/ss	r/ss	r/ss
4	4000 - 4500	r/ss	r/ss	r/ss	r/ss
5	3500 - 4000	3,5	0,2	1564,0	100,0
6	3000 - 3500	34,6	2,2	1560,5	99,8
7	2500 - 3000	84,8	5,4	1525,9	97,6
8	2000 - 2500	125,4	8,0	1441,1	92,1
9	1500 - 2000	166,7	10,7	1315,7	84,1
10	1000 - 1500	194,7	12,4	1149,0	73,5
11	500 - 1000	469,6	30,0	954,3	61,0
12	0 - 500	484,7	31,0	484,7	31,0

r/ss : rango sin superficie

Fuente: Elaboración propia en base a los estudios: M.O.P. Dirección General de Aguas (1999), “Variación de la línea de nieves como elemento de modelación y pronóstico de cuencas nivoglaciaras de Chile central” y G.O.R.E. (1999), “Proyecto O.T.A.S.”. Cartografía base de la Región metropolitana, 1:100.000. Sobre esta última se desarrollaron mediciones planimétricas.

La estimación cuantitativa de la línea de nieves invernal correspondiente a esta subcuenca derivó de un promedio entre los valores asignados a las cuencas de los Ríos Maipo y Rapel, los cuales fueron extraídos del estudio D.G.A. (*op. cit. B*). En definitiva, esta operación definió que la línea de nieves invernal para la subcuenca del Angostura, bordearía los 1.750 m.s.n.m. El valor de la variable, configura inmediatamente un área aportante pluvial de 1.232,4 kms.² (Figura N° 13). Esta superficie representa el 78,79% de la superficie total de la subcuenca lo que señala una gran influencia de la componente pluvial en el escurrimiento invernal del Río Angostura.

En cuanto al diseño de los drenes, el patrón que domina es el dendrítico, alcanzando una representatividad superior al 50% y repartiéndose entre las secciones alta y media (Figura N° 14). Otro patrón reconocible dentro del subsistema Angostura es el paralelo asociado a los glaciares coluviales de los cordones Los Ratones y Agua santa. Este se encuentra intervenido por obras de riego como embalses y canales distributarios. Su presencia dentro de la subcuenca alcanza aproximadamente, el 5% del área total. La aplicación del método de Shreve entregó un valor final de 2.183 drenes (Figura N° 14). En relación a la frecuencia del drenaje, el número de talwegs por unidad de superficie fue calculado en 1,39 drenes / km.².

El método de GRUNSKY (en GUERRA y OÑATE, 1980) arrojó un tiempo de concentración igual a 9,31 horas. Por su parte, el método del organismo estadounidense entregó un valor de 8,18 horas encontrándose 1,13 dígitos bajo el resultado del primer método. En consecuencia, el valor promedio relativo a este parámetro y asociado a la subcuenca del Río Angostura, se expresa en 8,75 horas.



“Distribución de la frecuencia de los caudales medios anuales del Río Angostura tras la afluencia del Estero Paine.”
(1970-1998).

Intervalo	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
0 - 2	1	3,6
2,1 - 4	11	39,3
4,1 - 6	5	17,9
6,1 - 8	6	21,4
8,1 - 10	2	7,1
10,1 - 12	0	0,0
12,1 - 14	1	3,6
14,1 - 16	2	7,1
Totales	28	100,0

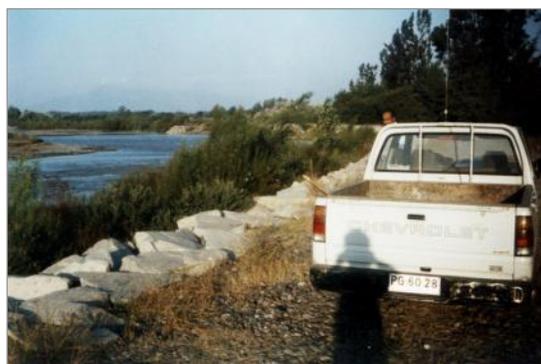
Fuente: Elaboración propia en base al estudio M.O.P. Dirección General de Aguas (2000), “Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho”. Estadística fluviométrica. Ayala-Cabrera y asociados.

□□□□ □□□□(Orientación NE). Río Maipo aguas arriba del Puente Lonquén en el sector de La Estancilla. Estado del margen SE del lecho menor, bancos aluviales medios (izquierda) y viviendas construidas sobre la terraza T1' (derecha). Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).



A la altura de los sectores de San José y el Bosque, el lecho menor del Maipo alcanza su mayor amplitud sobrepasando los 1.500 metros entre sus márgenes para luego comenzar a angostarse en el sector de Lo Chacón (Foto N° 4). En el sector de Punta Lo Chacón cercano a la confluencia, reaparecen las riberas marcadas que definen claramente el lecho habitual del río y que han experimentado un considerable retroceso hace varias décadas, producto de la erosividad generada por las grandes crecidas y a la vulnerabilidad derivada de la falta de obras fluviales en este sector específico.

□□□□ □□□□(Orientación ESE). Río Maipo en el sector N de Lo Chacón. Margen SW del lecho menor y estado de los muros de contención en su último tramo antes del área de confluencia próxima al sector de Punta Lo Chacón. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

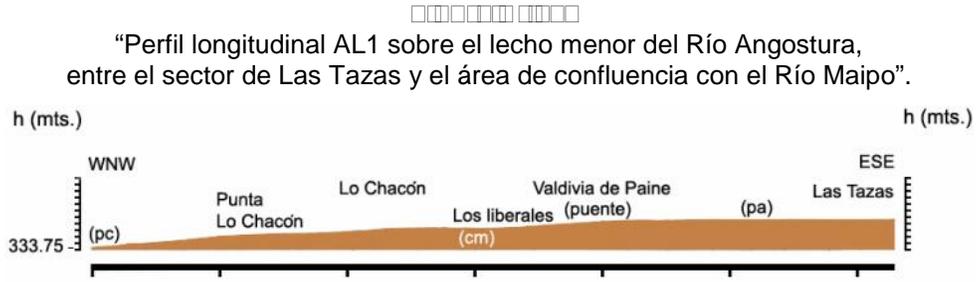


En relación al escurrimiento, entre los sectores de La Estancilla y Casas Viejas de Gelves, las aguas del Maipo escurren a través de diversos canales en un patrón trenzado que tiende a ocupar el borde SE del lecho menor. La mayor acumulación de materiales en el borde NW y la consecuente pendiente hacia el margen SE estimada en aproximadamente 3° (Foto N° 5), inciden en la concentración del escurrimiento hacia esa ribera.



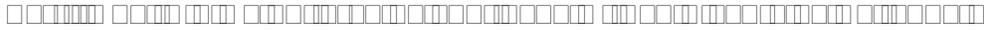
□□□□ □□□□(Orientación SW). Río Maipo aguas abajo del Puente Lonquén en el sector de La Estancilla. Estado del margen SE del lecho menor y uso agrícola de la terraza T1' (izquierda). Disposición de bancos aluviales medios y difluencias del patrón trenzado. Se observa una leve inclinación de aproximadamente 3° hacia el SE del lecho mayor periódico (derecha) producto de la mayor sedimentación en su borde NW. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

con curvatura hacia el N. Pasada la sección meándrica y dentro de los próximos 500 metros aproximadamente, la pendiente se incrementa a $0,16^\circ$, pero muy pronto decae nuevamente para permanecer en $0,06^\circ$ hasta el sector Punta Lo Chacón. Desde aquí, el gradiente muestra su mayor valor ($0,17^\circ$) el cual se mantiene como promedio hasta el punto de confluencia con el Río Maipo. Tal como mencionamos en la interpretación del perfil ML1, el ángulo vertical de confluencia que presenta este río, muestra una diferencia negativa de un 21% con respecto al del Río Maipo.



(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 2 y 1000 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:25.

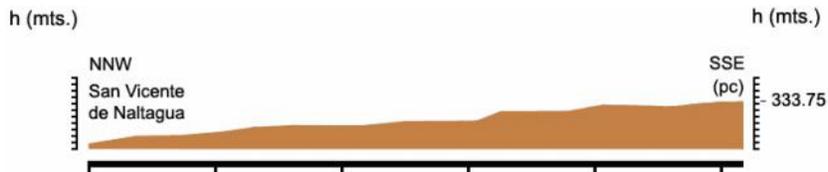
Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.



Los extremos que definen el perfil longitudinal ML2 (Figura N° 18) se encuentran separados por 5.130 metros y su diferencia altitudinal alcanza los 13,7 metros. Al igual que el lecho del Río Angostura pero aguas abajo del área de confluencia, el Río Maipo escurre siguiendo la depresión distal del Qami3 pero más exactamente, aquella que se asocia a la subunidad o pequeño abanico aluvial formado por el Maipo desde el sector de La Puntilla de Lonquén hasta la localidad de San Vicente de Naltagua. Tal unidad, a diferencia del Qami3 propiamente tal, se orienta hacia el W pero su extensión se encuentra igualmente limitada por los cerros del Cordón Yervas buenas (Cordillera de la Costa). Sin entrar en mayores detalles sobre los diferentes gradientes que adopta esta sección del lecho menor del Río Maipo, la caracterización general de este segmento la entrega una pendiente media de $0,14^\circ$. Tal valor, no alcanza a representar el 25% de la pendiente media calculada para el perfil ML1, pero se asimila bastante al valor promedio de la inclinación que presenta el Río Angostura, de acuerdo al perfil anterior.

□□□□□□□□□□

“Perfil longitudinal ML2 sobre el lecho menor del Río Maipo, entre el área de confluencia con el Río Angostura y la localidad de San Vicente de Naltagua”.

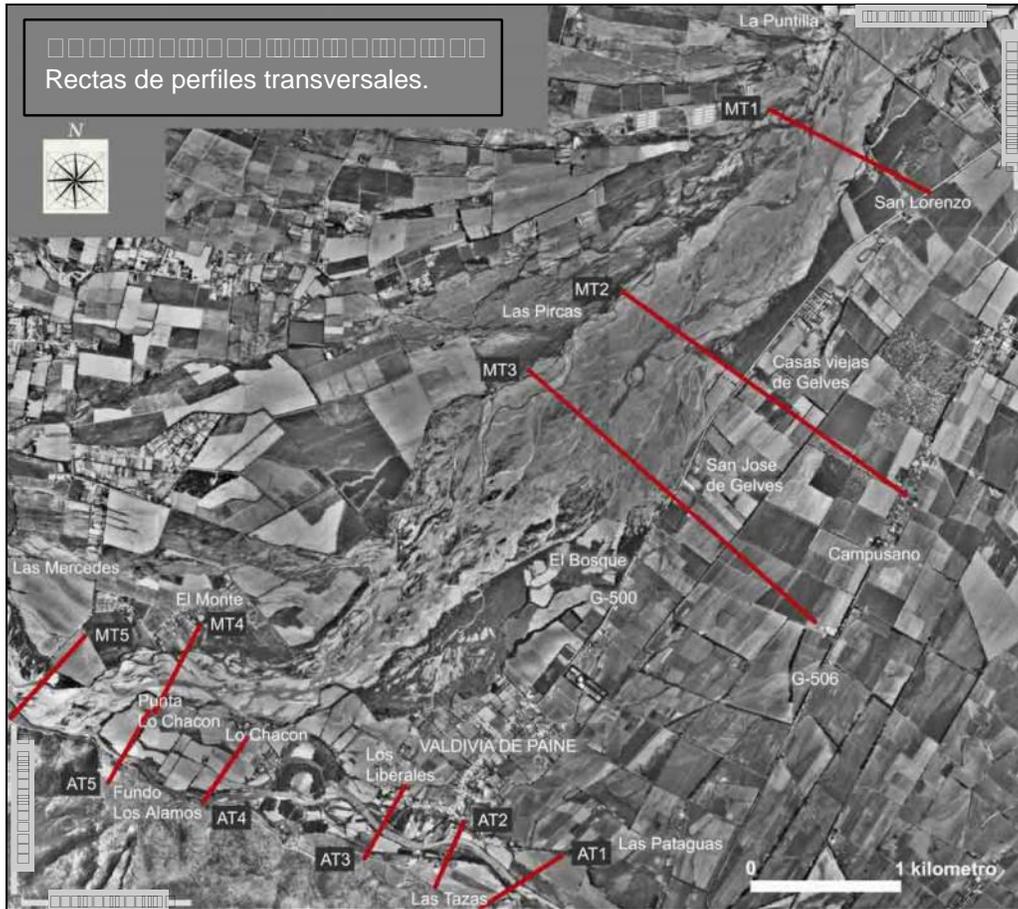


(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 2 y 1000 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:25.

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.



Las mediciones transversales efectuadas sobre el lecho fluvial de los Ríos Maipo y Angostura en el área de Valdivia de Paine y la posterior confección de los perfiles topográficos asociados, se realizó en base a las rectas predefinidas en la Figura N° 19.



Fuente: Elaboración propia en base al levantamiento fotográfico S.A.F. (1994), "Proyecto Fondef - Área de Melipilla". Fotogramas 1:20.000 (escala original), y al estudio C.N.R. (Comisión Nacional de Riego) (1980), "Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo". Hojas 1:10.000 (escala original).



Esta primera representación transversal del lecho del Río Maipo (Figura N° 20), contempla una longitud de 1.489,6 metros y una diferencia altitudinal de 11,2 metros. A primera vista, resalta la irregularidad topográfica que caracteriza a esta sección del lecho mayor, existiendo dos niveles dominantes. El primero de ellos corresponde a una terraza fluvial T1 cuyo punto más alto alcanza los 401 m.s.n.m. Esta T1, termina en un escarpe natural (En) de 5 metros de altura (Foto N° 7) para luego dar paso al segundo nivel donde las aguas ejercen un mayor dominio.

□□□□ □□□□(Orientación E). Estado del escarpe que delimita la terraza T1 en el sector de San Lorenzo de Gelves. El escarpe natural se encuentra detrás del matorral (zarzamora) y alcanza una altura aproximada de 5 metros. Su presencia delimita en forma neta el lecho mayor periódico del Río Maipo. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).



El permanente escarpe natural (En) que caracteriza a la ribera SE del Río Maipo desde la Comuna de Pirque, comienza a perder altura en esta sección del lecho, llegando prácticamente a desaparecer en las cercanías de San José de Gelves.

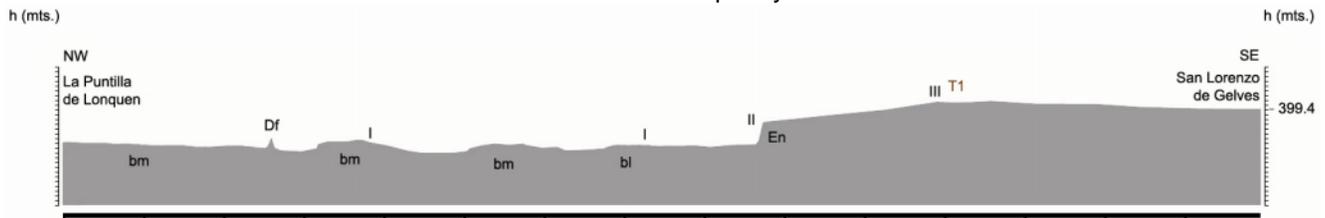
En el nivel más bajo que describe este perfil (Foto N° 8), se pueden identificar depósitos aluviales que corresponden a bancos medios (bm) y laterales (bl). Estos depósitos se presentan dentro de todo el lecho menor (I), interviniendo fuertemente en el escurrimiento. La delimitación del lecho menor (I), mayor periódico o estacional (II) y mayor excepcional (III) es irregular en esta sección del río, pues sólo el primero de ellos muestra límites claros en ambos costados del curso de agua.



□□□□ □□□□(Orientación SSW). Perspectiva del lecho mayor periódico del Río Maipo (centro y derecha) y del escarpe que lo delimita (izquierda) en el sector de San Lorenzo de Gelves. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

De acuerdo a este perfil y a las observaciones en terreno, el Río Maipo estaría efectivamente ocupando los puntos más bajos del lecho menor (I). Este escurrimiento se desarrolla en forma relativamente concentrada, a través de dos canales con secciones inundables de aproximadamente, 165,3 y 112 mtrs.².

“Perfil transversal MT1 sobre el lecho mayor del Río Maipo, entre los sectores de La Puntilla de Lonquén y San Lorenzo de Gelves”.



(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 1 y 100 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:2.

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.

Esta representación (Figura N° 21) es una de las que abarca mayor extensión dentro del análisis morfométrico. La distancia entre sus extremos llega a 2.970,7 metros y la diferencia altitudinal entre el punto más bajo y el de mayor altitud, es de 4,4 metros. En comparación con el perfil anterior, la topografía descrita se presenta más regular no obstante, es posible distinguir dos niveles dominantes. Tal como ocurría en la sección anterior, coexisten aquí dos llanuras separadas por un desnivel simbolizado como escarpe natural (En) (Foto N° 9). Seguramente, este rasgo topográfico corresponde al escarpe que delimitó la antigua terraza T1' (Foto N° 10) y que debió ser modificado para el desarrollo de cultivos y para la construcción del camino transversal que comunica con el río. Con respecto a estas formas polifásicas, la T1 que representaba el nivel de mayor altura en el perfil anterior, no es reconocible dentro de lo representado aquí. La diferencia altitudinal en este perfil no alcanza el 50% de lo que muestra el MT1.



Desnivel artificial que representa el antiguo escarpe de la terraza T1' en el sector de Casas Viejas de Gelves. Este desnivel define el margen SE del lecho mayor periódico del Río Maipo. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas). Vivienda de adobe construida en el costado NW de la Ruta G-500 a 30 metros de distancia. El terreno podría corresponder al nivel de una antigua terraza T1'. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

Asociando este sector al perfil longitudinal ML1, se aprecia que la pendiente del lecho menor comienza a aumentar desde este lugar. Sin embargo, el nivel altitudinal que se desarrolla en forma transversal desde la localidad de Campusano hasta el sector de Casas viejas, se caracteriza por una relativa homogeneidad con algunas depresiones locales y una leve inclinación hacia el NW. Entre el camino que comunica Buin con Valdivia de Paine (Ruta G-500) y el desnivel mencionado (En), se produce una inclinación más pronunciada del terreno. Desde este último hacia el NW (Foto N° 11), el terreno muestra las mayores depresiones de la sección, las cuales serán interrumpidas por la presencia de obras de defensa fluvial (Df).

□□□□ □□□□□□ (Orientación NW). Perspectiva del lecho mayor periódico del Río Maipo desde la terraza T1 en el sector de Casas Viejas de Gelves. El lecho menor y las defensas fluviales se encuentran a más menos 350 metros hacia el NW, avanzando por el camino. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

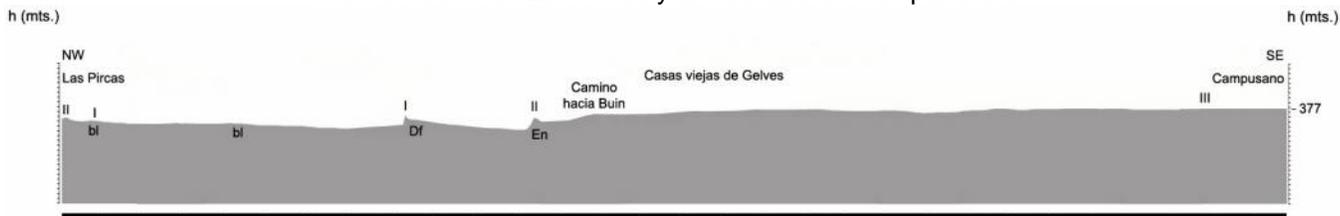


En este perfil fue posible reconocer los límites SE y NW del lecho menor y del mayor periódico, pero no del mayor excepcional. Este último fue representado exclusivamente en la ribera que pertenece a la comuna de Buin. Durante los trabajos de terreno se observó que las aguas del Maipo estaban ocupando principalmente, el canal o cauce que se encuentra entre la defensa fluvial (Df) y el banco lateral más cercano a ella.

El lecho menor (I) en esta sección transversal del Maipo, posee un ancho de 740 metros y una profundidad media estimada en 1,23 metros. Con tales datos, se calculó una sección inundable (sección mojada potencial) de 910,2 mtrs.². La profundidad del agua medida en las cercanías del muro de contención justo en un acceso al lecho menor, no sobrepasó los 80 cms. a una distancia transversal de 1,5 metros desde el borde de la defensa. La diferencia entre el nivel del agua y la altura del camino de acceso sobre la defensa, no es superior a 1,5 metros.

□□□□□□ □□□□□□

“Perfil transversal MT2 sobre el lecho mayor del Río Maipo, entre el sector de Las Pircas y la localidad de Campusano”.



(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 1 y 100 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:2.

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.

□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□ □□ □□□□□□□□□□□□

El perfil MT3 (Figura N° 22), corresponde a la sección transversal más extensa que se describe en este análisis morfométrico. La longitud abarcada es de 3.472 metros. Sin embargo, en este mismo sector se encuentra la menor diferencia altitudinal, no tan sólo del lecho mayor del Río Maipo sino también del Río Angostura. En general y según esta representación gráfica, el terreno presenta la mayor regularidad topográfica del área-problema y una leve inclinación hacia el NE. Tales características la califican como el lugar más plano de todo el lecho mayor del Río Maipo en el área de estudio. Siguiendo hacia el NW, es posible visualizar que el terreno presenta notorias y continuas depresiones desde el sector de San José de Gelves. Sobre una de ellas, tal vez la de menor altitud, se encuentra la Ruta G-500 existiendo una diferencia aproximada de 3,5 metros entre la calzada y el fondo de la depresión. En este sector, los grandes escarpes han desaparecido y los niveles de terraza no son reconocibles. Los accidentes topográficos que dominan el sector, corresponden a depresiones locales consecutivas que aparecen con mayor notoriedad desde San José de Gelves hacia el límite SE del lecho menor (I), a unos 300 metros de la ruta G-500.

Durante la primera mitad de la década de los 80, este sector resultaba frecuentemente inundado por las aguas del Maipo. Los desbordes comenzaban a producirse desde el sector de Casas Viejas para luego inundar consecutivamente las depresiones laterales del lecho menor (I) y mayor periódico (II). En el sector de San José, estas depresiones son más pronunciadas y se disponen a mayor cercanía del camino y de las construcciones. La recurrencia de estos procesos que inundaban gran parte de la Ruta G-500, terrenos agrícolas y viviendas del sector, terminó por catalogarlo como crítico. Actualmente, la existencia de obras de defensa fluvial desde San Lorenzo de Gelves ha mitigado los graves efectos de los desbordes, pero no el drenaje superficial hacia las depresiones laterales que se hallan entre los muros de contención y el relleno sobre el cual se reconstruyó la Ruta G-500 (Fotos N° 12 y 13).



□□□□ □□□□□□ (Orientación SE). Ruta G-500 a la altura del sector de San José de Gelves. Vivienda de materiales ligeros construida en el costado NW del camino a 6 metros de la calzada. El lugar corresponde a un sector crítico debido a los efectos del drenaje superficial desde el lecho menor del Río Maipo en períodos de fusión nival. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas). □□□□ □□□□□□(Orientación W). Terreno ubicado en el sector de San José de Gelves frecuentemente inundado por las aguas drenadas desde el lecho menor del Río Maipo en época estival (deshielos). Entre los meses de Diciembre y Enero la profundidad del agua puede alcanzar los 40 cms. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

Amenaza fluvial y Viabilidad de una Explotación de áridos en Valdivia de Paine, Comuna de Buin.

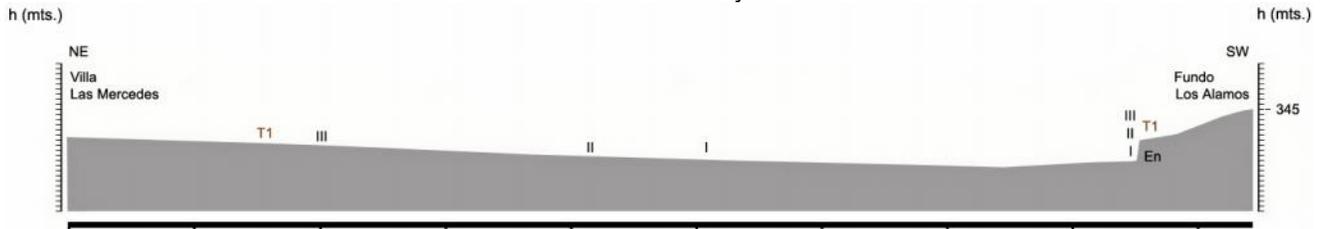
□□□□ □□□□□□ (Orientación SE). Escarpe en el área de confluencia Maipo-Angostura. Este escarpe alcanza una altura de aproximadamente 5 metros y se asociada a la terraza T1 del Río Maipo. Constituida por materiales aluviales y coluviales ha experimentado un rápido retroceso desde 1994. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).



En general, el lecho mayor excepcional (III) y mayor periódico (II) muestran una pendiente hacia el SW que incide en el escurrimiento. Junto a ello, el escaso gradiente longitudinal del lecho menor y el ángulo horizontal de confluencia, derivan en un defectuoso contacto hidrodinámico con las aguas del Río Angostura. Finalmente, la capacidad de evacuación que presentaría el Maipo en esta sección y específicamente en su lecho menor, deriva de una sección inundable (sección mojada potencial) estimada en 325,85 mtrs.². Este valor representa el 56,1% de la capacidad calculada en la sección anterior.

□□□□□□ □□□□□□

“Perfil transversal MT5 sobre el lecho mayor del Río Maipo, entre el sector de Villa Las Mercedes y el Fundo Los Álamos”.



(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 1 y 100 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:2.

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.

Los lechos mayor periódico o estacional (II) y mayor excepcional (III) describen una mayor extensión hacia el extremo NE de la sección representada debido a lo plano de esos terrenos. En ellos el agua se desbordaría y expandiría con mayor facilidad. La cercanía del lomaje Puntilla Los Huillis, estaría influyendo en la leve pero mayor inclinación de los terrenos con respecto a las terrazas de la ribera NE. Tal como se indicó en los párrafos anteriores, los terrenos adaptados para el cultivo de frutales donde antiguamente existió un banco lateral, podrían ser inundados por las aguas de crecida en forma casi simultánea al nivel de la T1`. Para estos terrenos (I'), se calculó una sección inundable específica equivalente a 20,1 mtrs.².

□□□□ □□□□□ (Orientación E). Lecho menor del Río Angostura algunos metros aguas abajo de la afluencia del Estero Peralillo (50 mts. aproximadamente). La sección mojada en este punto del lecho menor alcanza los 66,99 mtrs.². Este valor determina parcialmente el umbral por sobre el cual ocurrirían los desbordes en el sector. Febrero del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).



Finalmente, en el sector donde se levantó este perfil el lecho menor del Río Angostura se muestra rectilíneo, sin bancos aluviales y con una pendiente de 0,011°, la menor del tramo analizado.



(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 1 y 100 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:2.

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.

□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

La extensión abarcada por el perfil AT2 (Figura N° 26) alcanza los 674,9 metros de longitud. La diferencia máxima entre sus cotas llega a los 10,65 metros ocupando la segunda posición en cuanto a diferencia altitudinal entre las secciones que representan el lecho mayor de este río. La regularidad topográfica no es la característica principal de esta sección. El lecho menor original (I) ha sido suprimido para rectificar el cauce del río, evitar los desbordes sobre la ribera N y proteger el puente que comunica a las localidades de Peralillo y Valdivia de Paine (Foto N° 18).

El Río Angostura deberá escurrir por un colector artificial (I_3) definido por dos muros de contención (Df) uno de ellos construido sobre un banco lateral (bl). La sección inundable de este colector alcanza los 127,37 mtrs.². Este valor es mayor al que habría presentado el lecho menor original (I) cuyo valor fue estimado en 110,0 mtrs.². Es muy probable que este encauzamiento resulte ineficaz frente a las crecidas extremas del Río Angostura.

□□□□ □□□□□□ (Orientación WNW). Perspectiva del cauce artificial del Río Angostura aguas arriba del Puente Valdivia de Paine. La obra alcanza una longitud aproximada de 600 metros y posee un muro de contención (derecha) que reviste parte del margen NNE al costado este del puente. La capacidad de evacuación en este sector es la mayor del tramo Peralillo-Maipo. Febrero del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

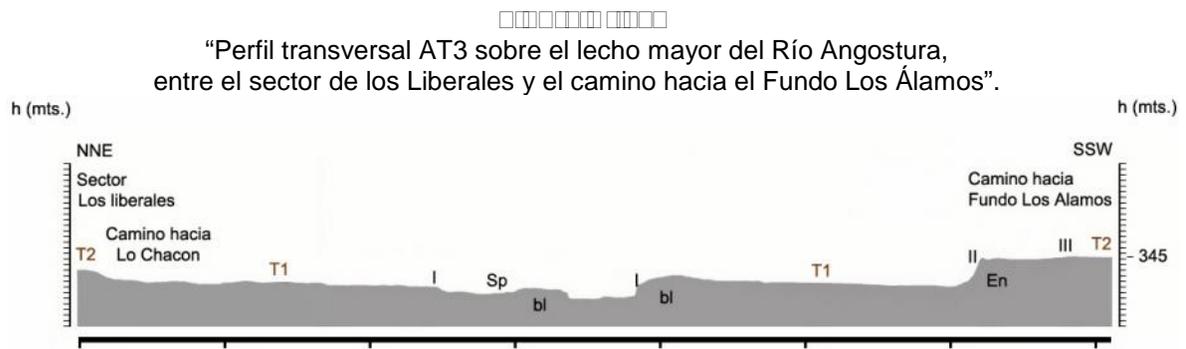


Las formas polifásicas en esta sección transversal se presentan como niveles relativamente planos pero reconocibles. Sobre las terrazas de la ribera N (T1 y T2) residen familias de pequeños agricultores. Con seguridad estas labores han alterado el estado natural de los escarpes y de las terrazas. Hacia el extremo SSW, las terrazas fluviales también se presentan como terrenos relativamente planos (Foto N° 19). La altitud promedio de la T2 y de la T1 llegan a los 346,0 y 342,9 m.s.n.m., respectivamente. La altitud aproximada del fondo del cauce artificial llegaría a los 336,35 m.s.n.m.

□□□□ □□ □□□□ (Orientación NW). Levantamiento topográfico en el sector del Puente Valdivia de Paine (Fundo Huertos de Peralillo) mediante el uso de una estación total de topografía. El aparato se encuentra posicionado sobre la terraza T1 del margen SSW. Febrero del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).



Los límites de los tres lechos fluviales (I, II y III) advierten un mayor desarrollo de sus áreas hacia el extremo SSW. La sección destacada como I', corresponde a terrenos adaptados recientemente para el cultivo de frutales. La sección inundable asociada a estos terrenos alcanzaría los 129,3 mtrs.². En el sector donde se levantó este perfil, el lecho menor original del Río Angostura muestra una leve curvatura y una pendiente de 0,011°, la misma del tramo anterior.



(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 1 y 100 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:2.

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.



La extensión alcanzada por el perfil AT4 (Figura Nº 28) llega a los 663,68 metros y la diferencia altitudinal entre la cota más alta y la más baja de la sección, se expresa en 8,15 metros. La topografía representada en este perfil señala una superficie relativamente uniforme con presencia de suaves desniveles que indican las formas polifásicas del lecho. Estas formas corresponden a las terrazas T2 (344,95 m.s.n.m.), T1 (339,6 m.s.n.m.) y T1' (337,8 m.s.n.m.). En la base del desnivel que delimita a la T1 de la ribera NNE, se aprecia un sector deprimido y pantanoso (sp) en cuya formación probablemente ha incidido más el drenaje superficial desde el lecho menor del Río Maipo que la del Río Angostura. La cota promedio asociada al cauce del Río Maipo en su sección más cercana al sector representado (200 metros de distancia) tiene un valor de 342,2 m.s.n.m. La cota del terreno pantanoso descrito en este perfil alcanza los 339,0 m.s.n.m. y la atribuida al fondo del lecho menor del Río Angostura, a los 336,8 m.s.n.m.

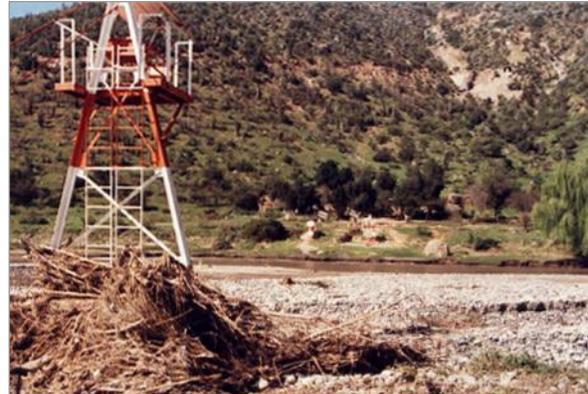
Las únicas riberas que se destacan en esta sección son las que definen el lecho menor (I) del Río Angostura. De acuerdo a las mediciones en terreno su altura no sería mayor a 1 metro. Hacia la ribera NNE se reconoce un banco lateral constituido básicamente por gravas y gravillas, en abundantes arenas finas (Fotos Nº 20 y 21).



□□□□ □□□□□□(Orientación WNW). Lecho menor del Río Angostura y banco lateral (derecha) en el sector de Lo Chacón. La estación fluviométrica Angostura en Valdivia de Paine se encuentra aproximadamente a 90 metros aguas abajo de esta posición. El angostamiento y la poca profundidad del lecho en esta sección, comienzan a adquirir una condición crítica. Febrero del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

En cuanto a los tres tipos de lechos fluviales (I, II y III), sus límites se describen casi totalmente dentro del perfil. Al igual que en la sección anteriormente descrita, estos lechos presentan un mayor desarrollo de sus áreas de influencia hacia la ribera NNE del río.

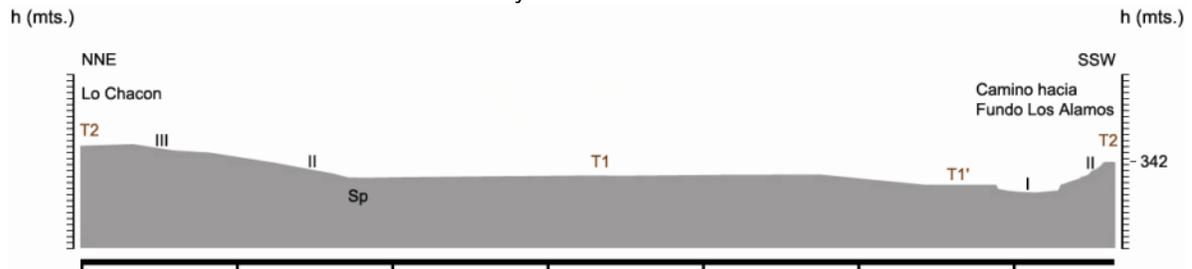
□□□□ □□□□□□ (Orientación SSW). Estado de la estación fluviométrica Angostura en Valdivia de Paine (sector de Lo Chacón) tras los caudales invernales de 1987. (Foto BF Ingenieros civiles).



La sección transversal inundable atribuida al lecho menor fue calculada considerando un ancho de 41 metros y una profundidad media de 0,84 metros. El valor resultante alcanza los 34,44 mtrs.² representando el 36,7% de la sección mojada del perfil anterior. La incapacidad para conducir los grandes caudales de crecidas invernales sin desbordarse es evidente en esta sección del Río Angostura. La pendiente promedio estimada para el tramo longitudinal sobre el cual fue levantado este perfil transversal, alcanza los 0,06°. Pocos metros aguas arriba de este lugar (200 metros, aprox.) el gradiente del lecho menor alcanza los 0,16°, el segundo más alto del segmento Peralillo-Maipo.

□□□□□□ □□□□□□

“Perfil transversal AT4 sobre el lecho mayor del Río Angostura, entre el sector de Lo Chacón y el camino hacia el Fundo Los Alamos”.



(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 1 y 100 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:2.

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.



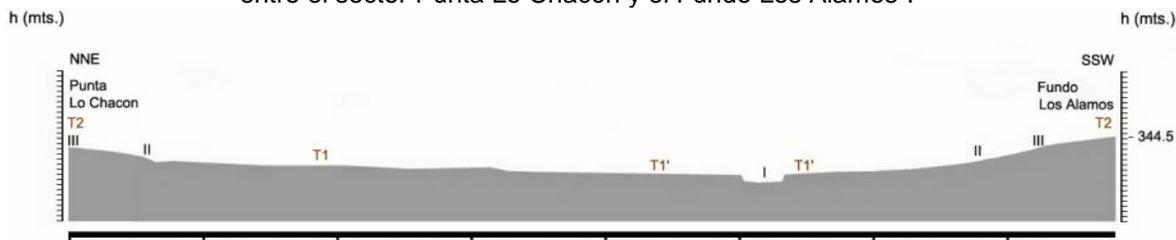
El perfil AT5 (Figura N° 29) es el último de los perfiles transversales levantados sobre el lecho mayor del Río Angostura. La transecta describe una sección de 779,2 metros de longitud dentro de la cual la máxima diferencia altitudinal corresponde a 9 metros. De los perfiles levantados sobre el lecho del Río Angostura, este es el que representa el sector más uniforme del segmento Peralillo-Maipo. La silueta señala una concavidad semisimétrica considerando centro, el eje del lecho menor. El cauce habitual muestra un mayor acercamiento hacia el margen SSW del lecho mayor.

Dentro del lecho mayor son reconocibles las terrazas T2, T1 y T1' sin embargo, al igual que lo observado en el perfil AT4, la terraza T1 parece haberse desarrollado exclusivamente en la ribera NNE. La altitud promedio atribuida a la T2, T1 y T1' dentro de esta sección, es de 344,5 m.s.n.m., 339,1 m.s.n.m. y 337,5 m.s.n.m., respectivamente. La cota del lecho menor bordea los 335,5 m.s.n.m y su profundidad no supera los 1,8 metros. Las únicas riberas denotadas dentro del lecho mayor son las que definen el cauce habitual del Río Angostura, las cuales alcanzan una altura no mayor a 1 metro. Los accidentes topográficos que delimitan las terrazas descritas corresponden a desniveles del terreno. No se identifican depresiones sobre las terrazas y tampoco bancos aluviales centrales o laterales dentro del lecho menor (I).

Los tres tipos de lechos fluviales: menor, mayor periódico y mayor excepcional, se describen completamente en este perfil a través de los niveles o límites superiores (I, II y III) que alcanzarían los caudales asociados. Nuevamente, se advierte un mayor desarrollo hacia el NNE de las áreas inundables atribuidas a cada tipo de lecho. La sección inundable asociada a este perfil, corresponde a 40,92 mtrs.². En su cálculo se consideró un ancho de cauce igual a 33 metros y una profundidad promedio de 1,24 metros. Este parámetro presenta un valor mayor que el estimado en el perfil anterior mas su capacidad de evacuación sigue siendo insuficiente para el escurrimiento del río. La pendiente dominante en este lugar alcanza apenas los 0,06°.



“Perfil transversal AT5 sobre el lecho mayor del Río Angostura, entre el sector Punta Lo Chacón y el Fundo Los Álamos”.

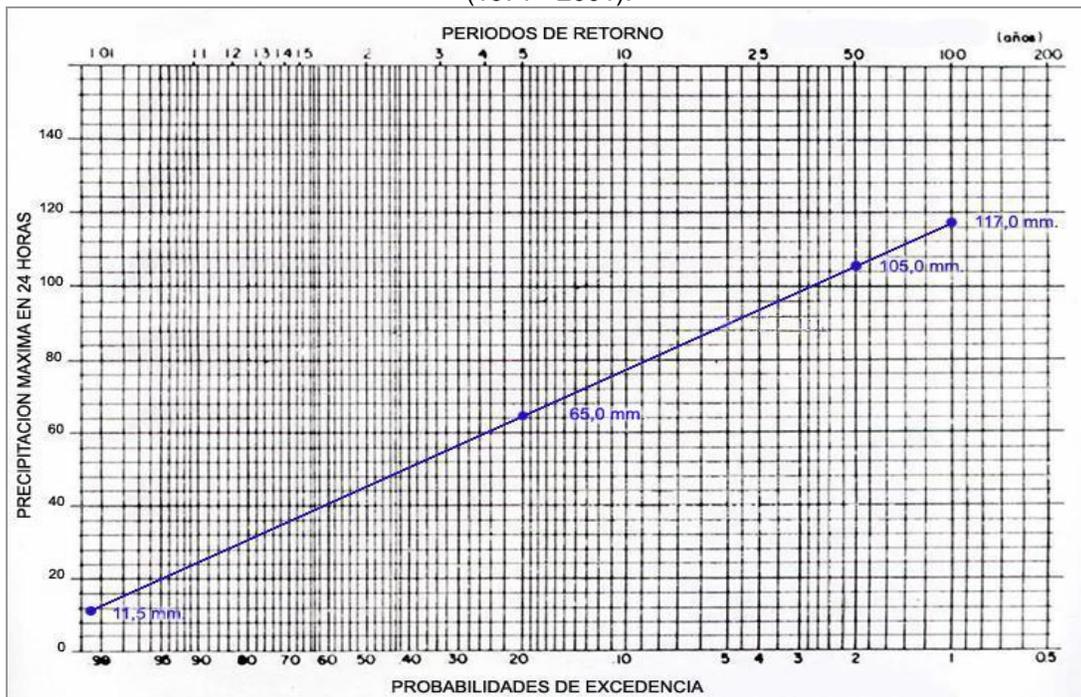


(*) La equidistancia entre los puntos de la escala vertical y horizontal es de 1 y 100 metros, respectivamente. La exageración de la escala vertical con respecto a la horizontal es de 1:2.

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.N.R. (1980), “Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo”. Hojas 1:10.000. Paralelamente se realizaron mediciones sobre el lecho fluvial mediante una estación total de topografía.

Debido a que las precipitaciones acumuladas durante el 24 de Junio de 1982 y las registradas el 22 de Agosto de 1989 no se asocian estrictamente a los períodos de retorno requeridos, se realizó una extrapolación gráfica (Figura N° 30) para la obtención de estos parámetros y para la posterior estimación de los caudales extremos.

Proyección gráfica de períodos de retorno y probabilidades para precipitaciones máximas/24horas registradas en la estación pluviométrica San José Retén (950 m.s.n.m.). (1971 - 2001).



Fuente: Elaboración propia en base a datos pluviométricos de la Dirección General de Aguas del M.O.P. y a la aplicación del Método probabilístico de Allen Hazen (en Castañer, 1966).

Tras la aplicación del método probabilístico a una estadística de 25 años (1978-2002) sobre precipitaciones máximas anuales en 24 horas registradas en la estación pluviométrica Rancagua Endesa - la de mayor estadística disponible -, los resultados asociados a la subcuenca del Río Angostura son los correspondientes a la Tabla N° 4. La situación que se presenta en esta estadística y en los resultados generados a partir de ella, no es muy diferente a la descrita en el caso anterior. Nuevamente, el método probabilístico no entregó con exactitud los parámetros requeridos para la estimación de los caudales de crecida que teóricamente inundarían los tres tipos de lechos fluviales. En el año 1987, las precipitaciones máximas acumuladas en 24 hrs. expresan un período de retorno igual a 50 años, ofreciendo con precisión el valor de una de las variables requeridas por la ecuación de VERNI y KING (*op. cit.*). No obstante, las precipitaciones cuya frecuencia temporal se asocia a 5 y a 100 años, no son reconocibles con exactitud. Por este motivo, se realizó una extrapolación gráfica (Figura N° 31) sobre papel logarítmico.



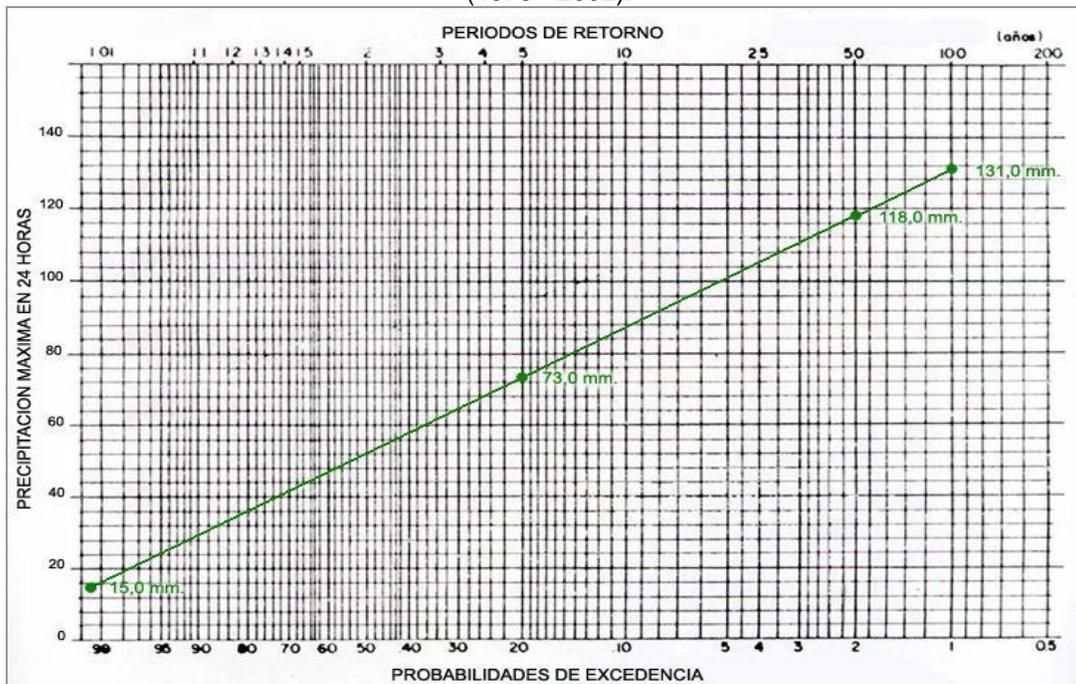
“Períodos de retorno y probabilidades para precipitaciones máximas anuales (mm./24horas) registradas en la estación pluviométrica Rancagua Endesa (500 m.s.n.m.)”.
(1978 - 2002).

Numero de orden	Año	Día y mes	Precipitación (mm./24 horas)	Período de retorno (años)	Probabilidad % (en 100 años)
01					
02	2002	25/05	95,5	16,7	6
03	2000	09/09	85	10	10
04	1982	26/06	78,8	7,1	14
05	1981	11/05	69	5,6	18
06					
07	1986	27/05	64,5	3,8	26
08	1984	04/07	63,1	3,3	30
09	1979	26/07	60,1	2,9	34
10	2001	18/07	60	2,6	38
11	1980	29/09	56	2,4	42
12	1994	26/04	52,5	2,2	46
13	1997	19/06	52,5	2	50
14	1990	16/07	51,9	1,9	54
15	1983	18/06	51,4	1,7	58
16	1996	13/06	45,5	1,6	62
17	1999	20/08	44,5	1,5	66
18	1989	25/07	44,2	1,4	70
19	1995	09/06	44	1,4	74
20	1993	01/07	42,7	1,3	78
21	1991	19/06	34,3	1,2	82
22	1985	02/07	26,6	1,2	86
23	1988	10/03	24	1,1	90
24	1978	16/11	16,8	1,1	94
25	1998	05/06	16	1,0	98

Fuente: Elaboración propia en base a datos pluviométricos de la Dirección General de Aguas del M.O.P. y a la aplicación del Método probabilístico de Allen Hazen (en Castañer, 1966).



Proyección gráfica de períodos de retorno y probabilidades para precipitaciones máximas/24horas registradas en la estación pluviométrica Rancagua Endesa (500 m.s.n.m.)
(1978 - 2002).



Fuente: Elaboración propia en base a datos pluviométricos de la Dirección General de Aguas del M.O.P. y a la aplicación del Método probabilístico de Allen Hazen (en Castañer, 1966).

El método de VERNI y KING (op. cit.) entregó los siguientes resultados para esta cuenca:

El método de VERNI y KING (op. cit.) entregó los siguientes resultados para esta cuenca:

Considerando como constante un área pluvial extrema de 2.663,7 kms²., el método de VERNI y KING (op. cit.) entregó los siguientes resultados para esta cuenca:

- Para una precipitación máxima instantánea de 117 mm./24 hrs. con una probabilidad de ocurrencia de un 1% y un período de retorno de 100 años, se obtuvo un caudal extremo de 1.170 m³/s. Este caudal se asocia a la inundación total o parcial del lecho mayor episódico, en el área de Valdivia de Paine.
- Para una precipitación máxima instantánea de 105 mm./24 hrs. con una probabilidad de ocurrencia de un 2% y un período de retorno de 50 años, se obtuvo un caudal extremo de 1.050 m³/s. Este caudal se asocia a la inundación del lecho mayor periódico, delimitado en el área-problema.
- Para una precipitación máxima instantánea de 65 mm./24 hrs. con una probabilidad de ocurrencia de un 20% y un período de retorno de 5 años, se obtuvo un caudal extremo de 650 m³/s. La evacuación de este caudal se asocia al lecho menor, en el área-problema.

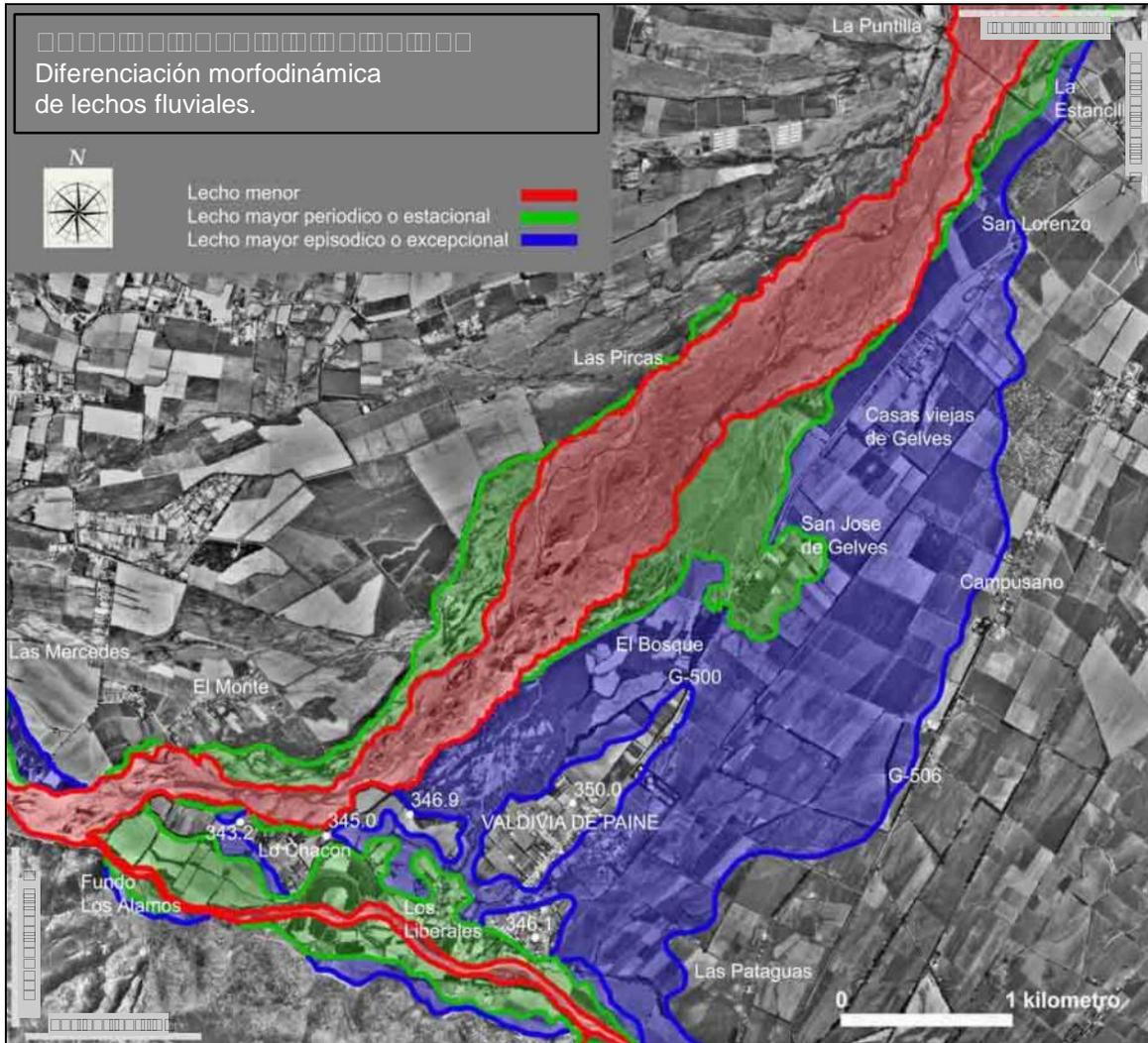
El método de VERNI y KING (op. cit.) entregó los siguientes resultados para esta subcuenca:

Considerando como constante un área pluvial extrema de 1.441,1 kms²., el método de VERNI y KING (op. cit.) entregó los siguientes resultados para esta subcuenca:

- Para una precipitación máxima instantánea de 131 mm./24 hrs. con una probabilidad de ocurrencia de un 1% y un período de retorno de 100 años, se obtuvo un caudal extremo de 1.310 m³/s. Este volumen se asocia a la inundación total o parcial del lecho mayor episódico, en las cercanías de Valdivia de Paine.
- Para una precipitación máxima instantánea de 118 mm./24 hrs. con una probabilidad de ocurrencia de un 2% y un período de retorno de 50 años, se obtuvo un caudal extremo de 1.180 m³/s. Este caudal se asocia a la inundación del lecho mayor periódico, delimitado al interior del área-problema.
- Para una precipitación máxima instantánea de 73 mm./24 hrs. con una probabilidad de ocurrencia de un 20% y un período de retorno de 5 años, se obtuvo un caudal extremo de 730 m³/s. La evacuación de este caudal se asocia al lecho menor o cauce habitual, dentro del área-problema.



De acuerdo a la tipología de lechos fluviales propuesta por TRICART (*op. cit. A*), los procesos de desborde e inundación junto a sus respectivos períodos de retorno, estarían funcional y espacialmente relacionados a los tres tipos de lechos fluviales. Por lo tanto, la dinámica y expresión territorial de las inundaciones en el área-problema, puede establecerse de manera general a través de la identificación de los tres tipos de lechos fluviales asociados a los Ríos Maipo y Angostura (Figura N° 32).

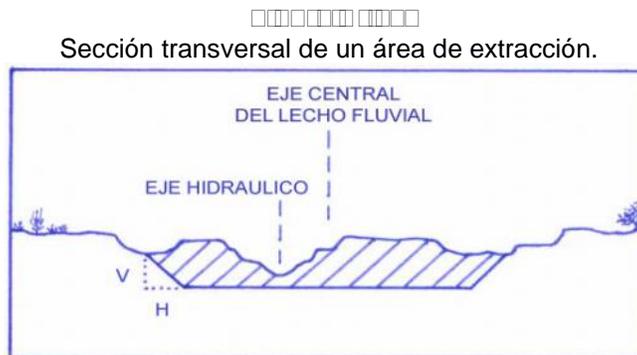


Fuente: Elaboración propia en base al Levantamiento fotográfico S.A.F. (1994), "Proyecto Fondef - Área de Melipilla". Fotogramas 1:20.000 (escala original), y a los estudios: M.I.N.V.U. (1987), "Áreas de riesgo por inundación"; M.O.P. Dirección General de Aguas (1987), "Investigación de sistemas de alerta de crecidas fluviales"; G.O.R.E. (1999), "Carta de riesgos naturales. Inundación", y S.E.R.N.A.G.E.O.M.I.N. (2002), "Remociones en masa e inundaciones en la cuenca de Santiago, R.M.". Finalmente se revisaron los registros de la Oficina de emergencias de la I. Municipalidad de Buin y se delimitaron los tres tipos de lechos fluviales definidos por Tricart (1960).



□□□□□□□□□□(Orientación SE). Lecho menor del Río Maipo en el sector de La Vara, Comuna de San Bernardo. Este lugar funcionó hasta hace poco tiempo como área de extracción para la planta procesadora “Pétreos S.A.” (filial de Cementos Polpaico S.A.), localizada al costado poniente del Puente Maipo. La hidrodinámica del río junto a la planificación de las excavaciones, han permitido la recuperación del nivel original que presentaba el lecho menor antes de ser explotado. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).

La proyección de este espacio también es vertical, mostrando una sección tipo con una profundidad específica que permite la cubicación del material a extraer. La rasante del área proyectada conserva la pendiente media del cauce principal y se ubica sobre las cotas de fundación de las obras fluviales existentes con el objeto de no activar procesos erosivos. En los proyectos de extracción, la sección transversal presenta forma trapezoidal con taludes laterales que no sobrepasan los 45° de inclinación (Figura N° 33).



Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.D.T. (Corporación de Desarrollo Tecnológico) (2001), “La Industria del árido en Chile”. Conjuntamente se revisaron las normas y criterios técnicos de la Dirección General de Obras Públicas del M.O.P., y diversas declaraciones ambientales sobre proyectos de extracción desde cauces naturales.

Los elementos mecánicos del subsistema de extracción corresponden a maquinaria pesada como bulldozers, retroexcavadoras de ruedas y orugas, cargadores frontales y camiones tolva con y sin acoplado. El componente humano está representado básicamente por sus operadores. Las interacciones se materializan mediante flujos de materia e información. El objetivo y funcionamiento del subsistema se basa en un plan de excavación, carga y transporte de materia prima hacia el subsistema de procesamiento.



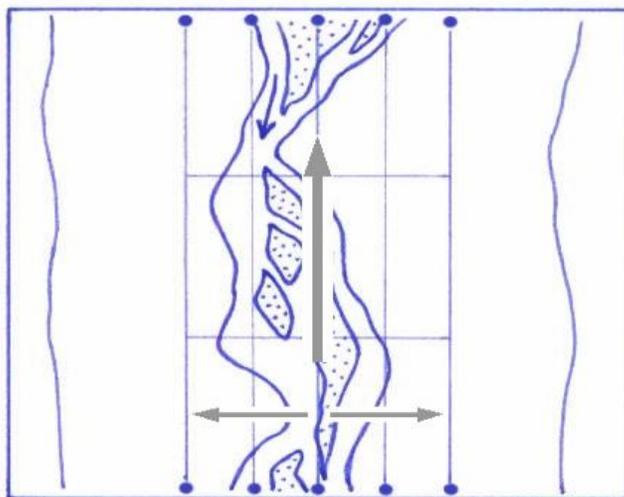
Al ejecutarse el plan de extracción ingresa al sistema productivo su principal entrada, el material pétreo integral. De acuerdo a este plan, las excavaciones se orientan hacia la configuración de un canalón artificial con mayor capacidad hidráulica para facilitar la evacuación de las crecidas en el futuro.

Para ordenar y facilitar la explotación del material integral, el área de extracción se divide longitudinal y transversalmente en dos o más franjas dando origen a varias secciones rectangulares. En el área de extracción el sentido de las excavaciones mostrará dos vectores: primero desde la parte más baja del lecho hacia la más alta (aguas arriba); luego desde el centro del lecho hacia las riberas (Figura N° 34). Se debe explotar toda una franja longitudinal antes de comenzar con la siguiente, siempre desde el eje hacia los bordes. Una vez finalizadas las faenas de extracción, las aguas del río se reconducen hacia el centro del lecho fluvial para ocupar en forma definitiva el canal artificial ya terminado. Las dimensiones de este canal dependerán tanto del proyecto de explotación, como del déficit de cauce que se pretende corregir.

En función de la humedad en los yacimientos, la excavación podrá corresponder a un proceso seco o húmedo. La explotación en seco puede contemplar el desvío temporal de las aguas a través de maquinaria bulldozer. En un proceso seco, lo que se extrae habitualmente es el material depositado en las depresiones del lecho o aquel constituyente de bancos aluviales. Estas actividades se llevan a cabo luego de remover la vegetación y el material estéril que pueda estar cubriendo los yacimientos.



Método de extracción: secciones y vectores.



Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.D.T. (Corporación de Desarrollo Tecnológico) (2001), "La Industria del árido en Chile". Conjuntamente se revisaron las normas y criterios técnicos de la Dirección General de Obras Públicas del M.O.P., y diversas declaraciones ambientales sobre proyectos de extracción en cauces naturales.

En las faenas de extracción, la retroexcavadora es la maquina más empleada. Ella permite darle forma trapezoidal a la excavación y cargar directamente los camiones (Foto N° 23). Los bancos aluviales se pueden tratar con un bulldozer para remover y acopiar momentáneamente el material. Luego, este podrá ser depositado sobre las tolvas de los camiones mediante un cargador frontal. El encauzamiento artificial que configurará el cauce principal del río y la restitución del escurrimiento hacia el canalón central se materializará con el mismo tipo de máquina (Foto N° 24).



□□□□□□□□(Orientación SW). Lecho menor del Río Maipo a la altura del sector de San León, Comuna de San Bernardo. En el lugar, se explota un área concesionada a la “Constructora y comercializadora Fresno S.A.” Las faenas de extracción se ejecutan mediante dos retroexcavadoras que retiran una capa superficial de material integral. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas). □□□□□□□□(Orientación WSW). Cauce habitual del Río Maipo a la altura del Puente homónimo (Ruta 5 Sur). En esta sección del cauce un bulldozer del Ministerio de Obras Públicas, modifica el escurrimiento incrementado por los deshielos para la protección de los pilares del viaducto. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).

En un proceso húmedo, los materiales también se pueden extraer con una retroexcavadora. No obstante, existe una máquina denominada dragadora que extrae material en sectores inundados más profundos y menos accesibles. Una vez cargadas las tolvas, los camiones se desplazarán hacia la planta de procesamiento mediante caminos construidos dentro del lecho fluvial. Estas cargas representan la principal salida hacia el subsistema de procesamiento. Emisiones de ruido, polvo, gases, residuos mecánicos y vegetación removida, también constituyen salidas pero dirigidas hacia el entorno.

□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□

□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□

Tal como en la extracción del material integral, los componentes de este subsistema son de orden humano, mecánico y territorial. Sin embargo, la variedad de sus elementos e interacciones es notablemente mayor. Aquí, el objetivo central es la selección de los áridos naturales y el procesamiento de los que requieren transformación mecánica.

Este subsistema se estructura sobre un elemento territorial denominado área de procesamiento. Generalmente, este espacio se delimita en el margen externo del lecho mayor y abarca una superficie de 1,5 hectáreas. En su interior se monta la planta de procesamiento (Foto N° 25). Los elementos mecánicos corresponden por una parte a maquinaria pesada como cargadores frontales y camiones tolva. La otra parte la conforman equipos fijos como tolvas precribadoras, harneros, chancadores, aspersores, tornillos lavadores, cintas transportadoras y piscinas decantadoras y de acumulación.

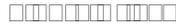
Otro componente es el asociado a las edificaciones. Las plantas procesadoras cuentan con oficinas, casino y servicios higiénicos que normalmente se agrupan en un solo edificio. El componente humano está representado no tan sólo por los operadores sino también, por el personal administrativo que desde la planta controla el funcionamiento del sistema general. Las interacciones se constituyen por flujos de materia, energía e información.

□□□□□□□□□□(Orientación SW). Planta primaria de la empresa "Pétreos S.A.", localizada al poniente del Puente Maipo en la Comuna de San Bernardo. Esta Planta fue montada sobre el límite NW del lecho mayor episódico del Río Maipo. Los equipos e instalaciones configuran una planta compacta orientada exclusivamente a la selección de arena y gravilla natural. El cerro Lo Herrera constituye un cerco orográfico que aísla parcialmente a este subsistema de los terrenos agrícolas adyacentes. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).

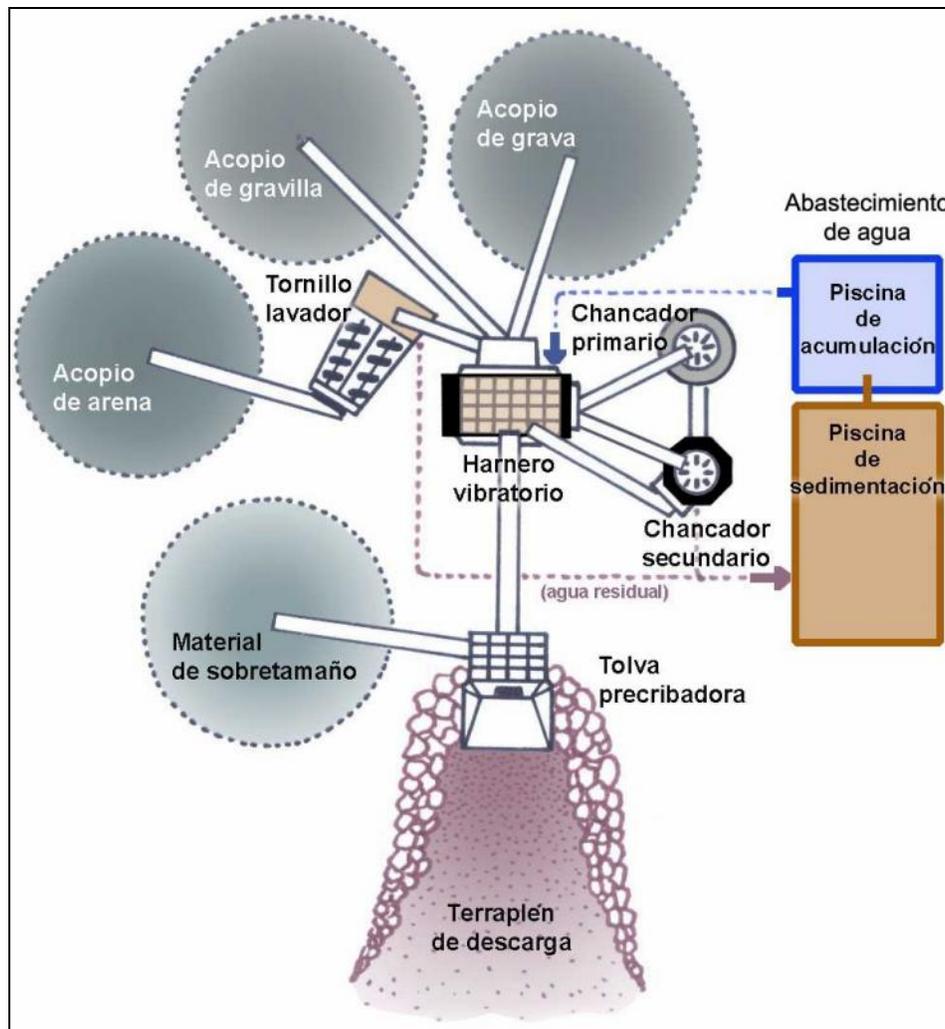


□□□□□□□□ □□□□□□

El funcionamiento de este subsistema se desarrolla sobre un circuito productivo cuya principal entrada o estímulo son los materiales provenientes del área de extracción. Junto a ellos, también son importantes la energía eléctrica, los combustibles fósiles y el agua. Esta última tiene la particularidad de poder reingresar al circuito, luego de haberlo recorrido. Al igual que en el subsistema anterior, el procesamiento puede realizarse en seco o en húmedo. La configuración de la planta estará en función de ello y del producto final. La organización más frecuente se basa en un modo húmedo con trituración primaria y secundaria (Figura N° 35).



Subsistema de procesamiento tipo.
Proceso húmedo con trituración primaria y secundaria.



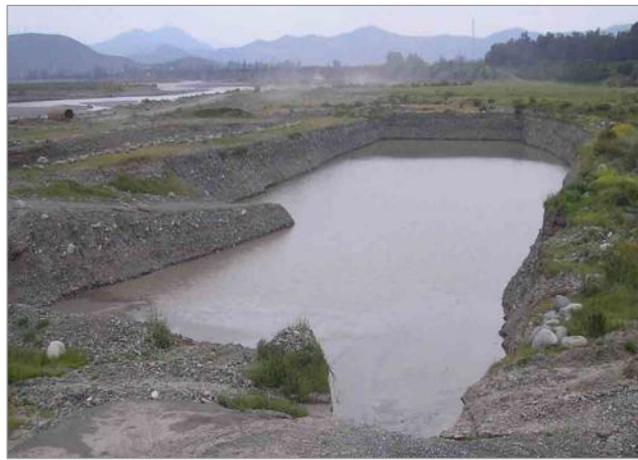
Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.D.T. (Corporación de Desarrollo Tecnológico) (2001), "La Industria del árido en Chile" y a diversos proyectos sobre explotación industrial de áridos.

El circuito se activa con la descarga de material integral desde los camiones provenientes del yacimiento, a una "tolva precribadora", la cual margina del proceso al material de sobretamaño o de rechazo (sobre 10"). El material que traspasa las placas de esta tolva, cae a una "cinta transportadora" la cual alimenta a un "harnero vibratorio", el cual retiene momentáneamente el material con diámetro inferior a 4". Los áridos sobre esta medida pasan desde la primera bandeja del harnero a un "chancador de cono", y los de la segunda bandeja a un "segundo chancador". Ambos equipos reducirán el tamaño del material que posteriormente retornará al harnero vibratorio a través de cintas transportadoras para ser reclasificado y seguir en proceso (Foto N° 26). Una importante fracción del material pasante desde las primeras bandejas vibratorias, será captado por cintas transportadoras de salida que formarán "pulmones de acopio" de grava ($\frac{3}{4}$ " a $1 \frac{1}{2}$ ") y gravilla ($\frac{3}{8}$ " a $\frac{3}{4}$ "). Estos pulmones se formarán por la caída libre y permanente de los áridos desde "cintas fijas o móviles" (Foto N° 27).



□□□□□□□□(Orientación NE). Planta secundaria de la empresa “Pétreos S.A.”, localizada al poniente de la Planta primaria en la misma propiedad. En este subsistema los procesos poseen un verdadero carácter industrial al modificar la materia prima para agregarle mayor valor. El circuito productivo incorpora el uso de chancadores verticales y de cono, para la producción de arena, gravilla y grava artificial. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas). □□□□□□□□(Orientación SW). Acopio de arena chancada en un sector específico de la Planta secundaria, a través de una cinta transportadora móvil. Los pulmones de material procesado, permanecen al aire libre con altos niveles de humedad. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).

El material que sale de la última bandeja del harnero vibratorio (bajo $\frac{3}{8}$ ”) pasa a un “tornillo lavador de roscas sin fin” que lava la arena y la separa de la arcilla (Foto N° 28). Luego, el producto lavado cae a una cinta transportadora de salida para formar el pulmón de arenas finas. Paralelamente, el agua empleada en el lavador de arenas sale para ser captada por un recolector que la conduce hacia una piscina de sedimentación (Foto N° 29). En el fondo de esta piscina decanta todo el material fino en forma de lodo. Finalmente, el agua tratada pasa a una piscina de acumulación para ser reutilizada.



□□□□□□□□(Orientación NE). Planta procesadora de la “Constructora y comercializadora Fresno S.A.”, localizada en la franja de transición entre el lecho mayor periódico y el lecho mayor episódico del Río Maipo. La planta se encuentra aproximadamente a 2.500 mtrs. aguas abajo del Puente Los Morros, en la Comuna de San Bernardo. El procesamiento de los materiales involucra el uso de un equipo denominado “tornillos de roscas sin fin”, el cual lava y separa las arenas de la arcilla y del limo. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas). □□□□□□□□(Orientación WSW). Piscina excavada para la decantación de los finos suspendidos en las aguas empleadas para el lavado de las arenas. En el extremo más profundo de la piscina, el agua acumulada pierde carga sólida pudiendo ser bombeada hacia la planta procesadora para su reutilización. Los finos sedimentados pueden comercializarse como materiales de compactación. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).



“Correspondencia entre el lecho fluvial del Río Angostura en el área-problema y las condiciones geográficas de implementación industrial”.

Ancho superior a 500 metros		Situación presente en casi todo el lecho fluvial, salvo en los sectores de Lo Chacón y Las Tazas.
Topografía regular		La regularidad topográfica no es un rasgo característico de este lecho fluvial.
Vegetación herbácea y arbustiva dispersa		Característica parcial, excluyendo las superficies cultivadas.
Proximidad a centros de consumo urbano		El distanciamiento de la periferia urbana de Santiago. puede variar entre 27 kms. por Buin y 48 kms. por Lonquén.
Uso silvoagropecuario de los terrenos circundantes		Condición frecuente pero no absoluta. Lo Chacón, Los Liberales y Valdivia de Paine se hallan dentro de este lecho.
Cercanía a puentes carreteros		Existencia del Puente Angostura con dos vías para uso vehicular. Apto para la actividad industrial.
Existencia de caminos internos		Existencia de caminos de tierra en ambas riberas, compactados y de dos vías. Aptos para la actividad.
Cercanía a la red de distribución eléctrica		Condición existente en la mayoría de los sectores.
Cercanía a la red de canales para riesgo		Situación visible, prácticamente en todo el área-problema.
Ancho superior a 150 metros		Condición muy restringida, observable dentro de los últimos 350 metros (aprox.) aguas arriba del Puente Angostura.
Riberas abruptas con escarpes sobre 1 mt. de altura		Rasgo visible en todo el lecho menor, pero debilitado aguas abajo del sector de Los Liberales.
Pendiente media inferior a 1,5°		La pendiente máxima del lecho menor alcanza los 0,17° entre el sector de Punta Lo Chacón y la confluencia con el Río Maipo.
Patrón de canales trenzado o anastomosado		El escurrimiento se expresa a través de un canal meándrico con algunas difluencias.
Presencia de bancos aluviales		Existencia de bancos aluviales centrales y laterales en algunos puntos del lecho menor.
Clastos con diámetro inferior a 30 cms.		Abundancia de clastos con diámetro inferior a 15 cms.
Balance de disección negativo		Tendencia a la depositación (estado negativo).
Capacidad de transporte de sedimentos		Proceso deducido del embancamiento central y lateral.

Fuente: Elaboración propia en base a análisis cartográficos y aerofotogramétricos del área-problema, y a observaciones en terreno.

□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□

□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□

La disposición sedimentaria que presenta el área meridional, constituye en gran parte a una expresión del factor morfoclimático dominante en la sección andina del sistema Maipo-Angostura durante el último período geológico. CHARRIER (1973) señala que toda la Depresión intermedia está cubierta por depósitos cuaternarios. En esta depresión el desarrollo vegetacional ha otorgado una relativa estabilidad a los sistemas de vertientes con tendencia erosional limitando su aporte detrítico al fondo de la depresión. Según ARAYA-VERGARA (*op. cit.*) en la media montaña y en los relieves bajos, la estructura de las vertientes no es tan definitiva en la explicación de los fenómenos externos (erosión y aporte de sedimentos) como en la alta montaña. Ello se debe a razones morfoclimáticas y por lo tanto, bióticas. En la media montaña hay poca o nula influencia del frío y las formaciones superficiales cubren mejor las morfoestructuras.

En relación a la amenaza fluvial, el área meridional representa el escenario físico donde se halla la mayor parte de los factores morfológicos asociados a la energía de posición (GONZÁLEZ, 1992) la cual controla los desbordes dentro del área-problema. Según los planteamientos de FERRANDO (*op. cit.*) A las características físicas del entorno regulan la energía de los procesos naturales. En el área-problema, los glacis coluviales fueron identificados como superficies levemente inclinadas y ligeramente cóncavas dispuestas en la base de las vertientes y proyectándose hacia el fondo de la depresión. De acuerdo a ARAYA-VERGARA (*op. cit.*) los glacis son elaborados por una “arroyada difusa” alcanzando normalmente una pendiente que varía entre 1 y 2°, pudiendo alcanzar los 5 o 10°. Esta forma mantiene un estrecho contacto con la vertiente, la cual a suministrado directamente los materiales, sin mediación de cuencas importantes de drenaje concentrado. Los glacis de derrame también fueron reconocidos como superficies planas con muy poca pendiente y ligera concavidad. El mismo autor señala que estas formas también resultan de la “arroyada difusa” aguas abajo de un cono de deyección. Su pendiente es comúnmente menor que la del glacis coluvial y notoriamente menor que la del cono de deyección asociado. El material del glacis de derrame es en general fino, con arenas y limos abundantes y proviene tanto de la cuenca de drenaje asociada al cono de deyecciones como del lavado selectivo de este último, por el sistema de canales anastomosados y las aguas subterráneas asociadas.

De acuerdo a los antecedentes y a observaciones en terreno, los glacis de derrame cercanos a la Laguna de Aculeo se ubican en la base de vertientes inestables desde las cuales podrían desarrollarse deslizamientos de detritos. La situación caracteriza a estos sectores como microzonas de mayor dinamismo en comparación a los glacis de derrame ubicados en la vertiente W del Cordón de Los Ratones. La incidencia sobre el escurrimiento superficial sería considerable si llegasen a producirse flujos de detritos acumulados en quebradas y desencadenados por precipitaciones intensas. VILLARROEL (2001) destaca al sector del Estero Abrantes como uno de los más susceptibles de sufrir deslizamientos de detritos. Esta eventualidad, podría modificar considerablemente el patrón de canales sobre los glacis de derrame del sector de Aculeo y con ello, las actuales condiciones en que las microcuencas del área evacuan sus aguas hacia el Río Angostura.

En el fondo de la depresión y a pesar de la supremacía del Qami3, se denota una fuerte competencia por el espacio en la parte S del área meridional. Esta condición es advertida por el desarrollo y concentración de variados conos de deyección que engranan en diversas direcciones y que resultan de una estrecha territorialidad morfogénica. Específicamente, dentro del cajón de Aculeo por donde escurre el Estero Peralillo (emisario de la laguna) se observa el desarrollo de varios conos de deyección que alcanzan importantes extensiones (D.G.A., *op. cit. D*). En la zona S de Valdivia de Paine, esta coyuntura entre unidades morfológicas se presenta como un factor local ponderante del afloramiento periódico de aguas subterráneas conocido como revenimiento. Por otra parte, el pequeño cono aluvial asociado al Qami3 con ápice en la Puntilla de Lonquén y orientado hacia el W, define la única depresión interconsecuente del área-problema y que obliga al Río Maipo a configurar su lecho dentro de su dominio territorial.

En este trabajo, el concepto de balance de disección es considerado como la relación de equilibrio entre dos tendencias morfogénicas opuestas, la disección y la acumulación de materiales en el fondo del lecho fluvial. Constituye un proceso de autorregulación en el relleno aluvial del lecho. El análisis de esta variable concluyó que la propensión de los Ríos Maipo y Angostura dentro del área meridional es hacia la depositación, especialmente en su dinámica local. Para TRICART (*op. cit. C*) un balance de disección es negativo cuando el río no puede evacuar los sedimentos que son proporcionados al talweg, acomodando su canal a este mayor abastecimiento. FERRANDO (*op. cit. B*) indica que un efecto de esta tendencia es la sedimentación progresiva del cauce. Esta condición ha obligado al Río Maipo a repartir sus aguas en varios canales dentro del lecho menor, desarrollando un patrón de canales trenzados y anastomosados (SCHUMM, *op. cit.*).

En 1998, un estudio encargado por el M.O.P. determinó que la producción promedio anual de áridos por parte de la cuenca del Maipo y según una estadística de 33 años, alcanzó los $3,5 * 10^6$ mts.³/año. Hasta aquel año, el Río Maipo llegó a acumular un superávit a lo largo de su cauce, principalmente entre los sectores de Lonquén y Melipilla en volúmenes importantes (R.E.G. INGENIEROS CONSULTORES, *op. cit.*). Precisamente, este antecedente explica el mayor desarrollo del patrón anastomosado y la frecuencia de desbordes, especialmente aguas abajo del sector de Casas Viejas de Gelves.



La potencia del relleno sedimentario en el área meridional se puede entender parcialmente por la estructura geológica preexistente a la depositación, siendo determinante las características de los valles sepultados. La profundidad de estos con respecto a una determinada cota representa su capacidad de acumulación, por lo que se establece una relación directa entre ambas variables y el espesor del relleno. En virtud de esta relación, la mayor potencia del relleno se habría desarrollado en aquellos lugares donde los antiguos valles presentaron mayor profundidad. En el caso de Valdivia de Paine, el relleno sedimentario muestra magnitudes inferiores a los 200 metros debido a una menor profundidad de la roca fundamental a causa de la cercanía del cordón Yervas buenas. La configuración orográfica preexistente a la depositación, es un factor de base subsuperficial que puede incidir con fuerza en el comportamiento freático como ocurre dentro del área-problema. Así lo determinaron FALCÓN y SÁNCHEZ (*op. cit.*), estimando un área de 6.500 hectáreas afectada por el fenómeno del revenimiento.

El corte esquemático elaborado por los autores sobre el relleno del área meridional, entrega un importante aspecto morfológico. En él, se aprecia una clara variación en la topografía longitudinal del Qami3 desde el sector de Viluco hacia Valdivia de Paine donde la silueta comienza a perder convexidad para luego tornarse más rectilínea y finalmente cóncava. Esta característica delata la probable existencia de un glacis de derrame. Esta unidad habría resultado del relave o deslave de los materiales del cono, desarrollándose aguas abajo de este y constituyéndose por arenas y abundantes limos. Precisamente, estos materiales son comunes en Valdivia de Paine y sus alrededores. ARAYA-VERGARA (*op. cit.*) expresa que en forma contemporánea a los procesos de deyección que van dando estructura al cono, se produce una sobresaturación hídrica en la sección distal que provoca la arroyada difusa o “sheet wash” y que se manifiesta a través de una red de hilos de agua anastomosados con fuerte carga de sedimentos finos. Un glacis de derrame dentro del área-problema representa un factor negativo para la habitabilidad humana y para las labores agrícolas. Terrenos relativamente planos con estratos de limos y arcillas a poca profundidad, reducen la permeabilidad del suelo, su capacidad de infiltración y favorecen la permanencia de las aguas en la superficie luego de eventuales desbordes.

Las lluvias intensas y persistentes o la infiltración desde los ríos hacia sectores deprimidos, también pueden incrementar seriamente el nivel de las aguas subterráneas si la permeabilidad de los terrenos es deficiente. En el área de Valdivia de Paine, la supremacía de los caudales del Maipo sobre los demás cursos, genera periódicamente un ascenso del nivel freático. Durante los meses de invierno, las precipitaciones contribuyen a saturar parcialmente los materiales. A principios del verano cuando el Maipo alcanza su mayor caudal, la recarga aportada por este río completa la saturación de los sedimentos, elevando el nivel del agua subterránea y produciendo el revenimiento. Es posible entonces, advertir una estrecha relación entre los períodos de revenimiento y los caudales máximos del Río Maipo. Estos volúmenes, suministran una recarga de agua subterránea desde el Río Maipo, hacia la zona de revenimiento (FALCÓN y SÁNCHEZ, *op. cit.*). En definitiva y con respecto al flujo subterráneo asociado al Qami3, tal como su extensión es muy amplia, su influencia en el comportamiento del nivel freático en el área poniente de la cuenca comparte la misma característica (D.G.A. *op. cit. D*).

La capacidad de renovación o de recarga del recurso hídrico subterráneo, es un elemento que debe considerarse en el ordenamiento del territorio. SANCHA, ESPINOZA y CASTILLO (1998) proponen que áreas con una alta tasa de renovación y de alta calidad hídrica, debieran ser protegidas para preservar los recursos disponibles dentro de la cuenca hidrográfica. En relación al acuífero, uno de los principales focos de contaminación lo constituyen las aguas servidas que no presentan tratamiento antes de su disposición a cursos fluviales. Así mismo, la actividad agrícola también genera productos que pueden percolar profundo y alcanzar los acuíferos, sobre todo en aquellos sectores donde la cobertura del suelo permeable permite el transporte de sustancias contaminantes



Una cuenca de drenaje tiene como función interceptar las aguas que precipitan desde la atmósfera en forma líquida o sólida, posteriormente recogerlas y transformarlas en escurrimiento y finalmente, conducir las hacia el exutorio o salida del sistema. En este rol, los rasgos estructurales de la cuenca revisten un factor fundamental al condicionar la dinámica con que las aguas evacúan la unidad.

En términos pluviométricos, el tiempo de concentración es el lapso que transcurre entre el fin de la lluvia eficaz vale decir, aquella que produce o incrementa el escurrimiento, y el reestablecimiento del estado inicial (caudal base u original). Su conocimiento resulta fundamental para el diseño de sistemas de alerta de crecidas.

Cerca de la localidad de Isla de Maipo, existió hasta el año 1967 la estación limnigráfica Maipo en el Rosario. La estación se localizó pocos metros aguas abajo de la confluencia Maipo-Angostura y controló una cuenca aportante de 7.340 kms.² Según un estudio de la D.G.A. (*op. cit. B*), el desfase entre los caudales peak observados en las estaciones de El Manzano y El Rosario, corresponde en promedio a 10 horas. Sin embargo, el mismo estudio determinó que en crecidas de magnitud importante, este desfase debiera estar comprendido entre 5 y 10 horas. De acuerdo a este trabajo, el valor promedio para el parámetro alcanza las 10 hrs. y 30 mints. En la medida en que el tiempo de concentración sea mayor, la energía, torrencialidad y erosividad de las aguas, también lo será.

Según el estudio D.G.A. (*op. cit. A*), las precipitaciones medias anuales dentro de la hoya del Río Maipo pueden variar entre los 300 y los 400 mm. en las secciones media y baja de la cuenca, mientras que hacia la sección altoandina pueden aumentar hasta los 1.500 mm. Estudios más recientes del mismo departamento (D.G.A. 1988 y 2000) han llegado a atribuir un valor de 2.000 mm. a las precipitaciones medias anuales registradas en la parte alta de la cuenca específicamente, en las vertientes de sotavento próximas al volcán Maipo (Figura Nº 11). Sobre la base de las curvas de variación estacional de las precipitaciones, se advierte que las lluvias son esencialmente invernales, concentrándose más del 85% de la precipitación anual entre los meses de Mayo y Septiembre (D.G.A. *op. cit. A*). A escala nacional y durante el año 2001, las precipitaciones registradas entre la tercera y octava región, fueron superiores a los valores promedios asociados al período 1961-2000. Según la D.G.A. (*op. cit. E*) esta tendencia se ha mantenido entre el 2000 y el 2002, siendo el invierno de este último año claramente más lluvioso que los anteriores. Este exceso ha sido especialmente mayor desde la III Región a la Región Metropolitana.

Los caudales medios mensuales registrados durante el año 2002, también resultaron superiores al promedio estadístico 1961-2000. Esta tendencia se presentó entre la III y la VII región (D.G.A. *op. cit. E*). El análisis de los caudales medios mensuales interanuales permite afirmar que en la cuenca superior y media del Río Maipo existe un predominio del régimen nival, ya que los datos vinculados al período estival duplican a los valores asociados al invierno. Según NIEMEYER y CERECEDA (1984) el análisis de los componentes nival y pluvial permite afirmar que existe primacía del régimen nival. Sin embargo, los máximos caudales instantáneos del Río Maipo registrados en el Manzano desde el año 1980 se han presentado durante el período invernal, lo que delata la gran incidencia de la lluvia en la torrencialidad de sus aguas. El nivel de humedad, la saturación de los suelos y la menor capacidad de infiltración en invierno son variables que pueden acrecentar los gastos, aún con un caudal inicial menor a los asociados al verano.

Con respecto al histograma sobre caudales medios anuales (Gráfico Nº 3), resulta difícil confiar en que los gastos máximos podrían desarrollarse nuevamente entre 1 y 2 ocasiones dentro de los próximos 28 años. La experiencia ha demostrado que los máximos caudales instantáneos que derivan en altos promedios anuales, se relacionan con períodos de retorno muy variables lo que dificulta enormemente el desarrollo de los pronósticos.

A diferencia del subsistema Maipo, la mayor parte de la superficie de esta subcuenca se asocia a terrenos bajos, planos y con poca pendiente. Estos terrenos corresponden parcialmente a la sección N de la Depresión de Rancagua. Tal característica advierte que las precipitaciones captadas durante el invierno deberían ser en su mayoría líquidas. En este subsistema y durante el invierno, la componente pluvial adquiere mayor relevancia que la componente nival. La superficie del área pluvial representa el 78,79% de la superficie total de la subcuenca. La altitud media que alcanzaría la línea de nieves estival se desconoce no obstante, su utilidad en este trabajo no es mayor a la que enlucen la línea invernal. De acuerdo a la estadística fluviométrica de la D.G.A. (2003), la eventualidad histórica de los desbordes del Río Angostura en el área de Valdivia de Paine, se vincula casi exclusivamente a los meses de invierno.

De acuerdo a los valores sobre compacidad, pendiente media y área pluvial promedio, el Río Angostura debería transformarse en un curso erosivo y torrencioso cada vez que la línea de nieves invernal sobrepasa los 1.750 m.s.n.m. y las precipitaciones se desarrollan en forma intensa y persistente. Factores morfodinámicos y meteorológicos fundamentan esta potencialidad. Específicamente, GUERRA y OÑATE (*op. cit.*) determinaron que la microcuenca del Estero Troncó es la subunidad que aporta el mayor índice de torrencialidad al sistema Angostura (3,13). Comparativamente, la microcuenca del Estero Codegua entrega un valor de 0,32 y la del Río Peuco un índice de 0,30.

A diferencia del subsistema Maipo, el patrón de drenaje que domina en esta subcuenca es el dendrítico, alcanzando una representatividad espacial superior al 50% y repartiéndose entre la sección alta y media de la cuenca. Es muy probable que este porcentaje halla excedido el 65% de la superficie, antes de la intervención que a comienzos del siglo pasado modificó la condición natural de los drenes hacia un sistema de riego artificial. En comparación con el subsistema Maipo, el área asociada a los sistemas de riego dentro de esta subcuenca es más significativa en términos absolutos y relativos. Teóricamente, el patrón dendrítico es considerado como el de mayor incidencia en la velocidad de evacuación (STRAHLER, 1979). En su investigación GUERRA y OÑATE (*op. cit.*) señalan que el modelo dendrítico es el dominante dentro de la subcuenca del Angostura no obstante, es posible identificar una tendencia hacia el drenaje paralelo en algunos sectores precordilleranos, al SE del Río Peuco. En definitiva, el dominio dendrítico respalda en gran parte lo deducido sobre el escurrimiento del Río Angostura. La respuesta a los eventos pluviales debería ser mucho más rápida en comparación a la reacción del subsistema Maipo. Además, el patrón dendrítico en este subsistema, coincide en gran parte con la sección más alta y lluviosa del área pluvial.

La frecuencia del drenaje calculada para esta subcuenca (1,39 drenes/km.²) representa casi el doble del cociente determinado para la cuenca del Maipo, unidad que no alcanza a presentar un talweg por km.². Considerando estos valores y observando el desarrollo del drenaje entre ambas cuencas, se denota claramente que la densidad del drenaje es en general mayor en el subsistema Angostura. Posiblemente, la litología de las estructuras orogénicas dominantes (formación Abanico; rocas andesíticas y riolíticas intercaladas por rocas sedimentarias) argumente esta característica. En cuanto a la jerarquización del drenaje, una comparación entre ambas subunidades establece que el índice calculado para el Río Angostura representa sólo el 51,2% del valor correspondiente al subsistema Maipo. La evolución del drenaje sería mucho mayor en este último, situación que se explica lógicamente por su tamaño.

En 1987, un estudio de la D.G.A. analizó el hidrograma de la estación limnigráfica Angostura en Valdivia de Paine (sector de Lo Chacón) en función de las variaciones expresadas por el hietograma de la estación pluviográfica Pirque. De acuerdo a las observaciones y asociaciones entre los cambios pluvio y fluviométricos, se determinó que el desfase entre el caudal peak del Río Angostura y la máxima precipitación registrada en Pirque, variaba entre 4 y 6 horas. Bajo rigor metodológico, la consideración de una estación pluviográfica que se localiza fuera de la cuenca estudiada, resulta inadecuado para el pronóstico de crecidas fluviales, más aún cuando existen diferencias en cuanto a temperaturas, altitud de la línea de nieve, y al desarrollo, intensidad y persistencia de las precipitaciones. Pese a ello, los antecedentes entregados muestran una relativa consistencia con el tiempo de concentración calculado para esta subcuenca y expresado en 8 hrs. y 45 mints.

Las características del hidrograma de régimen pluvial dependen del régimen de precipitaciones distinguiéndose para esta subcuenca según la D.G.A. (*op. cit. C*), un régimen pluvial oceánico con máximos instantáneos durante el invierno. Considerando el trabajo de GUERRA y OÑATE (*op. cit.*), el monto anual de precipitaciones de las estaciones Chada y Graneros, permite concluir que en una cuarta parte del año cae casi el 70% de la lluvia anual. El invierno va al frente de las estaciones donde los meses de Junio, Julio y Agosto concentran alrededor del 60% de las precipitaciones anuales. Durante el verano en cambio, las precipitaciones oscilan entre el 4 y 7%. Como se describió anteriormente, durante el año 2002 las precipitaciones registradas entre la III y VIII región, fueron superiores a los valores normales asociados al período 1961-2000. Esta tendencia ha sido notoria entre el 2000 y el 2002, siendo el invierno del año ulterior claramente más lluvioso que los anteriores (D.G.A. *op. cit. E*).

Espacialmente, el subsistema Angostura muestra una mayor regularidad en la disposición de las isoyetas y en el normal descenso de las precipitaciones de E a W (Figura N° 11). Sin embargo, esta representación pluviográfica no resalta las variaciones espaciales que perfectamente podrían generar los cordones Agua santa (1.979 m.s.n.m.), La Plancha (2.287 m.s.n.m.) y Yervas buenas (2.050 m.s.n.m.).

El análisis de los caudales medios mensuales interanuales permite observar que en la subcuenca del Río Angostura existe una fuerte influencia de la fusión nival de baja montaña, ya que los promedios mensuales interanuales asociados a la primavera (Noviembre) son mucho mayores a los valores registrados durante el invierno. Sin embargo, el desarrollo de los caudales máximos instantáneos del Río Angostura registrados en Valdivia de Paine desde 1980, ha ocurrido siempre durante el invierno al igual que el Río Maipo. Esta situación delata la gran incidencia de la lluvia en las crecidas. El microclima descrito por GUERRA y OÑATE (*op. cit.*) para este subsistema, señala categóricamente que la variabilidad de los caudales máximos instantáneos del Río Angostura y de sus tributarios es controlada por el régimen de las precipitaciones invernales, acentuando el escurrimiento entre los meses de Junio y Septiembre. Estos antecedentes entregan una categoría pluvial al régimen de escurrimiento, tal como lo señalan estudios recientes de la D.G.A. (*op. cit. D*).

Del histograma sobre caudales medios anuales (Gráfico N° 4) se deduce que los caudales del primer intervalo estarían asociados a años de sequía y los del segundo intervalo corresponderían a la situación contraria es decir, a años de precipitaciones abundantes. A diferencia de los caudales anuales que presentaron una alta y mediana frecuencia, resulta complejo pensar en que los máximos y los mínimos gastos promedios volverán a

Dentro del área-problema no se aprecia la existencia de conos regulares y/o caóticos (TRICART, 1972) asociados a las vertientes del Cordón Punta Durazno. Esto se explicaría básicamente por la poca altitud de las estructuras y a la ausencia de cuencas importantes.



En este nivel de resolución se reconocieron varias disecciones sobre los conos regulares vinculados al Río Maipo. Según FALCÓN y SÁNCHEZ (*op. cit.*) estas disecciones corresponden a antiguos cauces que resultaron de las grandes avenidas del Río Maipo. Sobre el pequeño cono con ápice en el sector de La Puntilla, se identificaron 4 cauces que se reparten casi homogéneamente sobre su superficie y que representarían distintas fases migratorias de este curso fluvial. Es muy probable que en la última de estas fases el Río Maipo se halla trasladado desde el N, hasta su actual posición.

Sobre el Qami3 y específicamente en el sector de San José de Gelves, el Río Maipo se desbordó en más de una ocasión durante la década de los ochenta debido a la poca profundidad del lecho, a la ausencia de riberas bien definidas y a la existencia de un antiguo cauce que en determinados períodos condujo las aguas de desborde hacia el lecho del Río Angostura en forma paralela a la ruta G-500. Al parecer, las aguas del Río Maipo se unían antiguamente al Río Angostura escurriendo por lo que hoy corresponde al sector de Los Liberales y al pueblo de Valdivia de Paine (Figura N° 36). Considerando la antigüedad de estos asentamientos agrícolas y el grado de intervención antrópica, convendría denominar a estas formas fluviales, paleocauces.



Paleocauces del Río Maipo en el área-problema.



Fuente: Elaboración propia en base al levantamiento fotográfico S.A.F. (1994), "Proyecto Fondef - Área de Melipilla". Fotogramas 1:20.000 (escala original)., y al estudio C.N.R. (Comisión Nacional de Riego) (1980), "Levantamiento aerofotogramétrico del Proyecto Maipo". Hojas 1:10.000 (escala original). En la figura, los desniveles están representados por líneas de color azul y los paleocauces por flechas de color verde.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□

□□□□ □□□□.

Los marcados desniveles que fueron identificados en la ribera SE del Río Maipo, probablemente correspondan al resultado de fuerzas morfogenéticas asociadas a grandes crecidas del Río Maipo pero cuya frecuencia no fue suficiente para elaborar límites más netos y continuos como lo plantea TRICART (*op. cit. A*). A esta situación se añaden las labores agrícolas como acciones degradantes de estas formas. Los desniveles fueron claves en la identificación de los paleocauces que cruzan los terrenos agrícolas y construidos de Valdivia de Paine.

En cuanto al balance de disección, los patrones descritos, la configuración irregular del lecho y la existencia de innumerables bancos aluviales, señalan claramente que el balance en este tramo del Río Maipo es negativo y que en su escurrimiento prevalece la acumulación por sobre la disección en el talweg.

□□□□□□□□□□□□.

En comparación con el Río Maipo, la morfología del Río Angostura es algo más compleja por el mayor desarrollo de formas polifásicas. Sin embargo, estos rasgos facilitaron la delimitación de los tres tipos de lechos fluviales.

Debido al escurrimiento concentrado en un canal meándrico con escasas difluencias, el Río Angostura presentaría un balance de disección negativo al igual que el Río Maipo, pero con una menor tendencia a la depositación manifestada en una menor carga sólida. Las acumulaciones de limo que presenta el Río Angostura en su lecho menor podrían derivar mayormente del represamiento que experimentan los caudales invernales a causa del defectuoso contacto hidrodinámico con el Estero Peralillo (afluente) y con el Río Maipo (confluencia). FERRANDO (*op. cit. B*) aclara que este defecto genera frecuentemente un cuerpo lagunar como consecuencia de la escasa pendiente de los cauces y del ángulo horizontal de confluencia.

En cuanto a la degradación de las riberas del Angostura, el borde exterior de sus meandros (Foto N° 32) estará más expuesto a los procesos erosivos. Estos escarpes deberán experimentar o contrarrestar un deterioro que estará en función de la energía de los caudales y de la cohesión de los sedimentos que los constituyen.

□□□□□□□□□□(Orientación NE). Río Angostura en el sector S de Punta Lo Chacón. Sección meándrica del cauce principal, banco aluvial medio y escarpe de la terraza T1` (fondo). Este escarpe ha sido fuertemente erosionado por las aguas de crecida y ha retrocedido varios metros desde 1994. La fotografía fue tomada desde el Fundo Los Álamos (ribera S) en Febrero del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).



desbordes e inundaciones. El ángulo vertical de confluencia que presenta el Río Angostura, muestra una diferencia negativa de un 21% con respecto al del Río Maipo (Foto N° 33). Esta característica pondera a favor de las inundaciones aguas arriba de la confluencia. Según FERRANDO (1992) cuando un afluente presenta un nivel inferior al del río principal, lo más probable es que se constituya un cuerpo lagunar. Si además consideramos que en este punto el ángulo de confluencia horizontal entre ambos ríos puede variar libremente entre 44° y 91° aproximadamente (tomando los últimos 800 metros de cauce), la posibilidad de que ocurran inundaciones se incrementa.

□□□□ □□ □□ (Orientación E). Área de confluencia Maipo-Angostura (333,75 m.s.n.m.). Se observa el interfluvio (centro) sobre el cual se encuentra el sector de Punta Lo Chacón. Igualmente se aprecia el lecho menor del Río Maipo (izquierda) y del Río Angostura (derecha) encontrándose el primero a 1,5 metros sobre el segundo y separados horizontalmente por 650 metros, aproximadamente. La configuración de ambos lechos en esta área define una desfavorable perpendicularidad horizontal para la convergencia de las aguas. Febrero del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).



En otro aspecto, el Río Maipo manifiesta un balance de disección claramente negativo. De la complejidad de su lecho mayor episódico se deduce que esta tendencia debería ser más antigua a la presentada por el Río Angostura. Las actuales secciones meándricas del Río Angostura delatan un proceso de metamorfosis derivado de las variaciones en la relación caudal-carga planteada por SCHUMM (*op. cit.*). Estas variaciones estarían generando un aumento de la sinuosidad y de la sedimentación en el lecho menor.

□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□

□□□□ □□□□

□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□

En este sector, el lecho menor del Río Maipo se configura a través de dos grandes canales. La capacidad de evacuación límite para estos cauces fue calculada en □□□□ y □□□□□□ □□□□□□□□□□□□ respectivamente. El valor de este parámetro es equivalente al caudal crítico que representa el umbral sobre el cual se producirían los desbordes desde el lecho menor. De acuerdo a la topografía del sector, un incremento de los caudales sobre el nivel crítico provocaría que las aguas se desbordaran primero hacia el SE llegando hasta el escarpe natural (En) que delimita a la T1. Luego, si los caudales continuaran aumentando, las aguas inundarían la parte NW del lecho estacional (II). No obstante, en esta dirección la corriente sería contenida por obras de defensa fluvial (Df).

□□□□□□ □□□□□□ □ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□ □□□□

La capacidad de evacuación límite asociada al lecho menor en este sector de Valdivia de Paine fue calculada en □□□□□□□□ □□□□□□□□. De ser sobrepasada y considerando la leve inclinación del lecho fluvial hacia el SE, las aguas de crecida tenderían a concentrarse en el cauce que actualmente ocupa el Maipo y que en ciertos tramos usa la defensa fluvial (Df) como margen SE. La existencia de un camino transversal que comunica la Ruta G-500 con el río y que reduce la altura del muro de contención, podría favorecer la ocurrencia de desbordes y conducir las aguas hacia los terrenos bajos adyacentes.

□□□□□□ □□□□□□ □ □□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□ □□□□

El drenaje superficial y subsuperficial que se produce desde el lecho menor del Río Maipo hacia las depresiones que caracterizan este sector, ha facilitado el desarrollo de vegetación hidromórfica y ha modificado la ecología local hacia ecosistemas de humedal o pantano (sp) (Fotos N° 34 y 35). Los muros de contención han logrado suprimir gran parte de los desbordes invernales. Sin embargo, el paso de las aguas a través de los materiales gruesos del lecho menor (I) y mayor periódico (II) durante los deshielos, han generado pésimas condiciones sanitarias para las familias cuyas viviendas se encuentran en sitios bajos.



□□□□□□□□□□□□□□□□ (Orientación NW y E, respectivamente). Sector de San José de Gelves. Terreno frecuentemente inundado por aguas drenadas desde el Río Maipo durante los deshielos. En este sector, la acumulación hídrica y la formación de humedales se desarrolla habitualmente dentro del período estival, pudiendo permanecer varios meses. La profundidad del agua en este lugar puede alcanzar los 45 cms. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).

La topografía transversal del lecho fluvial en este sector, indica que los terrenos circundantes son en general llanos, aún considerando las depresiones locales. Esta característica incide en la expansión lateral de las aguas del Maipo durante sus crecidas, independientemente de la pendiente longitudinal del lecho menor. En San José de Gelves, este lecho exhibe la mayor extensión transversal del área-problema alcanzando los 911 metros y conteniendo una serie de canales en patrón anastomosado. La capacidad de evacuación límite calculada para el lecho menor en este sector, corresponde a □□□□□□□□ □□□□□□□□

□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□

En el sector de Punta Lo Chacón, el lecho menor del Río Maipo (I) se presenta excepcionalmente angosto. Esta estrechez trae como principal consecuencia un fuerte socavamiento y retroceso de las riberas que delimitan a la terraza T1 producto de los caudales de crecida. La capacidad de evacuación límite atribuida a esta sección (□□□□□□ □ □□□□□□□□□) resulta insuficiente para recibir y contener los volúmenes de agua que se acumulan en los sectores más altos. La gran extensión que alcanza el lecho menor entre los sectores de Casas Viejas y San José de Gelves (microrelieve de llanura), suscita la acumulación de grandes volúmenes de agua. Posteriormente, estos volúmenes ejercerán enormes presiones sobre las riberas del sector de Punta Lo Chacón pudiendo generar desbordes. En definitiva, el angostamiento del lecho menor en esta sección, provoca un cuello de botella que estanca las aguas y que obliga a los escarpes ribereños a absorber gran parte de la energía cinética del flujo. Cuando esta energía es mayor a la que poseen las riberas, el efecto resultante es una deformación que las degrada, obligándolas a retroceder o dar paso a los desbordes. De esta manera, el mayor problema en el sector NNE de Punta Lo Chacón es la erosión de las riberas y la pérdida de terrenos agrícolas.

□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□

Este sector describe la confluencia de los Ríos Maipo y Angostura. La escasa pendiente longitudinal de ambos ríos y el complejo ángulo horizontal de confluencia, derivan en un contacto hidrodinámico imperfecto sobre todo para las altas aguas de invierno. Esta situación se manifiesta a través de un represamiento de los caudales del Río Angostura, varios metros aguas arriba de la convergencia. La capacidad de evacuación límite calculada para el Río Maipo en esta sección corresponde a □□□□□□ □□□□□□□□□□ y representa el 156,1% del valor atribuido a la sección anterior. El eskarpe (En) que delimita a la terraza T1 en el extremo SW y que se constituye básicamente de material coluvial, debe absorber gran parte de la energía de las crecidas. La presión del agua sobre este eskarpe ha provocado desmoronamientos que lo han hecho retroceder considerablemente.

□□□□□□□□□□□□

□□□□□□ □□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□

A diferencia del Río Maipo y en comparación con el desarrollo de formas polifásicas, el Río Angostura muestra en forma clara la existencia de tres niveles de terrazas fluviales: T2, T1 y T1'. La significancia de estas formas aluviales, radica en la representación indirecta del comportamiento hidrológico del Río Angostura en cuanto a la variabilidad de sus caudales, y en la evolución morfodinámica de su lecho fluvial. Con respecto a lo primero, debe entenderse que las terrazas representan distintas fases de depositación, intercaladas por períodos en que el balance de disección es positivo. En cuanto a lo segundo, la evolución morfodinámica se expresa principalmente en la existencia de diversos accidentes topográficos como escarpes y desniveles que dan cuenta de las distintas secciones ocupadas por las aguas en determinados períodos. Estos accidentes delimitan los distintos tipos de lechos fluviales y correlativamente, las distintas áreas inundables de acuerdo a la relación caudal-frecuencia-lecho fluvial.

En este sector próximo al Río Angostura, los terrenos ubicados entre el escarpe artificial (Ea) y el borde SW del lecho menor y que han sido condicionados para la fruticultura, podrían eventualmente conformar un lecho menor auxiliar (I') para las crecidas invernales. Estos terrenos muestran una menor altura que la superficie atribuida a la T1' de la ribera NE. Según el perfil AT1, el lecho menor (I) del Río Angostura presenta una capacidad de evacuación límite de $0,000000 \text{ m}^3/\text{s}$. Frente al desarrollo de caudales mayores al umbral crítico, el Río Angostura desbordaría sus aguas inicialmente sobre la superficie de la T1' en una acción donde intervendría fuertemente la afluencia del Estero Peralillo, emisario de la Laguna de Aculeo. En condiciones de alta pluviosidad, el Estero Peralillo ha llegado a evacuar volúmenes considerables para el tamaño de su cuenca. A esta característica se agrega un defectuoso ángulo horizontal de afluencia prácticamente perpendicular y una escasa pendiente. Estas condiciones provocan un rápido represamiento de las aguas, situación que ha sido advertida por los habitantes del sector.

$0,000000 \text{ m}^3/\text{s}$

En este sector, el lecho menor del Río Angostura ha recibido la mayor intervención antrópica en comparación con las demás secciones del área-problema. Entre los años 2002 y 2003 se desarrollaron trabajos de reconstrucción del puente, encauzamiento artificial, defensas fluviales y también, labranza de la tierra con maquinaria atípica (retroexcavadoras). Los trabajos de labranza han removido y preparado el suelo para la siembra de almácigos. Esta remoción ha profundizado los terrenos exponiéndolos a los desbordes e inundaciones. En este sector del Río Angostura, los tres tipos de lecho fluvial (I, II y III) indican un mayor desarrollo hacia el extremo SSW sin embargo, la curvatura del cauce original (I) hacia la ribera NNE ha provocado una mayor presión morfogenética sobre los escarpes de esas terrazas produciendo un notorio retroceso. La erosión e inundaciones parciales de estas terrazas han sido frecuentes durante las últimas décadas, esto es lo que las obras de encauzamiento y contención pretenden suprimir. De acuerdo a estas obras, el Río Angostura deberá escurrir por un colector artificial (I₃) con una capacidad límite de $0,000000 \text{ m}^3/\text{s}$. Este parámetro supera sólo en un 15,75% al valor asociado al lecho menor original (I).

$0,000000 \text{ m}^3/\text{s}$

Este sector (Foto N° 36) resulta frecuente y severamente inundado debido a la relativa uniformidad del terreno, a la disminución de la sección mojada en comparación con los sectores anteriores y al escaso desarrollo de los escarpes ribereños. Aquí, la sección mojada del lecho menor representa el 73,6% de la calculada para la sección anterior, lo que acusa un angostamiento y un déficit de cauce para la evacuación de caudales extremos. En este sector, el lecho menor (I) del Río Angostura presenta una capacidad de evacuación límite de $0,000000 \text{ m}^3/\text{s}$. El leve aumento de la pendiente debería incrementar la velocidad del escurrimiento y por ende, el ascenso de las aguas de crecida en los sectores ubicados aguas arriba de este lugar. Las aguas comenzarían a desbordarse e inundar primeramente los terrenos pantanosos de la ribera NNE para luego ascender sobre el nivel de la terraza T1. Aparentemente, el banco lateral (bl) en el margen SSW del Río Angostura debería impedir los procesos de desborde sobre los terrenos deprimidos de la T1. Sin embargo, las diferencias altitudinales con el mismo nivel de la ribera contraria, exponen a estos terrenos a posibles desmadres en el sector del Puente Valdivia de Paine.

□□□□□□□□(Orientación SSW). Acceso a una propiedad privada desde la calle Manuel Rodríguez (camino a Lo Chacón) en el sector de Los Liberales. Este lugar resulta frecuentemente inundado por las aguas de crecida que pueden alcanzar alrededor de un metro de profundidad. La capacidad de evacuación del lecho menor en esta sección se reduce al 73,6% de la mostrada en la sección anterior (Puente Valdivia de Paine). La fotografía fue tomada desde el nivel de una terraza T2 en el borde NNE del Río Angostura. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).



□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

Esta sección presenta una clara incapacidad para evacuar las crecidas invernales del Río Angostura, sin que se generen desbordes. El angostamiento del lecho habitual en este lugar es el mayor dentro de todo el segmento analizado. Los caudales máximos que podría conducir esta sección no sobrepasarían el 27% de los gastos considerados en el encauzamiento artificial, aguas arriba del Puente Valdivia de Paine. El gradiente del lecho menor alcanza en este lugar los 0,16°, correspondiendo al segundo valor más alto dentro del área-problema. Este gradiente provoca un incremento en la velocidad de las aguas y en consecuencia, una mayor hidrodinámica en el sector representado. De acuerdo al perfil AT4 y a los hechos registrados, la erosión de los escarpes y de los desbordes son dos procesos recurrentes en este sector debido a la escasa capacidad de evacuación calculada en □□□□□□ □□□□□□□□□□ (36,7% de la sección anterior). Normalmente, los desbordes comienzan por afectar la superficie de la T1` en el borde NNE del río y luego avanzan sobre la T1 (Foto N° 37). La inundación hacia el borde SSW implicaría una menor extensión horizontal, pero un notorio incremento en el ascenso de las aguas debido a la cercanía de las laderas de cerros.

□□□□□□□□(Orientación SW). Muro lateral de una bodega construida sobre la terraza T1, en el sector de Lo Chacón (margen NNE del Río Angostura). El muro exhibe con claridad el nivel que alcanzaron las aguas de la última inundación ocurrida en Mayo del 2002. En esa ocasión, las aguas sobrepasaron el metro de profundidad. Si bien, los desbordes e inundaciones en el sector se explican básicamente por un alto déficit de cauce, el defectuoso contacto hidrodinámico con el Río Maipo a pocos metros del lugar, genera un retroceso de las aguas y la conformación de un cuerpo lagunar de gran extensión. Marzo del 2003. (Foto Miguel A. Venegas).





La compleja morfología del área-problema dificultó la diferenciación espacial de los tres tipos de lechos fluviales, especialmente para el Río Maipo. La regularidad topográfica, la escasa pendiente y la existencia de paleocauces y depresiones locales, exigieron varias revisiones de la diferenciación morfodinámica. Otra dificultad fueron las defensas fluviales construidas a lo largo del Río Maipo y levantadas mayormente en los márgenes SE y S. El Río Angostura presenta enrocados construidos exclusivamente para proteger los extremos N y S del Puente Valdivia de Paine. La delimitación de los lechos fluviales consideró en esencia, los elementos naturales del paisaje por sobre los artificiales, pues estos no reflejan la morfodinámica real de ambos ríos.

En primer lugar, la diferenciación morfodinámica resalta el amplio dominio fluvial del Río Maipo al interior del área-problema. Su lecho menor se muestra bastante irregular en todo el segmento, observándose una interrupción del continuum de riberas entre Casas viejas de Gelves y Valdivia de Paine. Según TRICART (*op. cit. A*) el límite más neto entre el lecho menor y el lecho mayor, se ve representado por un continuum de riberas. El lecho menor del Río Maipo desarrolla un ancho que alcanza su máximo en el sector de San José de Gelves para luego disminuir a un nivel crítico en el sector de Lo Chacón. Desde San José de Gelves se visualizan algunos bancos centrales con desarrollo arborescente. NOVOA (1987) señala que cuando los caudales de sequía permanecen durante gran parte del año, el lecho menor puede desarrollar pequeños sauces sobre los bancos aluviales. La estrechez del lecho menor en Lo Chacón ha generado un serio problema para los habitantes del lugar, quienes han perdido varias hectáreas por la exposición de sus terrenos a los caudales de crecida.

En la diferenciación entre los lechos mayor periódico y mayor excepcional no existe un límite concreto que señale sus diferencias. Ambas áreas están separadas por un área de transición dentro de la cual, la presencia de las inundaciones es variable. De acuerdo a la tipología de TRICART (*op. cit. A*) no existe un accidente topográfico claro en el lugar de contacto entre ambos lechos, por lo que su diferenciación quedará establecida principalmente por los cambios en la vegetación. El lecho mayor periódico se desarrolla en forma discontinua en relación al lecho menor, siendo más notorio en el margen SE a la altura de San José de Gelves. Las numerosas depresiones existentes en este lugar proyectan el lecho hacia el SE a través de una sección lobular (embahiamiento). Por último, el lecho mayor episódico fue delimitado sólo en el margen SE del Río Maipo. Su proyección hacia el NW no fue abordada debido a la existencia de diversos paleocauces y por encontrarse fuera del área-problema. No obstante, en el sector de Valdivia de Paine se identificaron tres paleocauces de los cuales dos rodean a esta localidad para luego converger en el sector de Los Liberales. El tercero se desvía hacia el S en dirección al camino que conduce hacia Las Pataguas (Figura N° 36). De acuerdo a estos antiguos cauces, el desarrollo de crecidas seculares generaría desbordes que inundarían una vasta superficie del área-problema con excepción de tres sectores cuyas altitudes oscilan alrededor de los 348 m.s.n.m. Entre estos sectores se encuentra el centro de Valdivia de Paine (350 m.s.n.m.).

A diferencia del Río Maipo, el Río Angostura exhibe un lecho menor bastante regular y calibrado, con riberas bien definidas y continuas cuya altura varía entre algunos decímetros y varios metros. Este lecho se va angostando en la medida que se aproxima al área de confluencia con el Río Maipo. Este angostamiento ha derivado históricamente en inundaciones periódicas sobre los campos adyacentes. Entre las secciones meándricas del canal principal sobresale la cercana al Puente de Valdivia de Paine, sector en el cual la ribera N ha sufrido una importante erosión. El último retroceso se observó en el invierno del 2002, período en que también el puente resultó seriamente dañado. Las medidas adoptadas fueron la rectificación del río y la construcción de taludes y enrocados.

Otra diferencia con la morfodinámica del Río Maipo, se recoge del desarrollo casi constante del lecho mayor periódico alrededor del lecho menor. Sólo en el sector de acceso al Fundo Los Álamos en la ribera S, el lecho mayor periódico no se ha desarrollado a causa del estrecho contacto entre el Río Angostura y el Cordón Punta Durazno. Finalmente, el lecho mayor episódico se configura a través de áreas dispersas. De estas, la más significativa es la identificada en el sector de Los Liberales por mostrarse unida al lecho episódico del Río Maipo, a través de los paleocauces antes descritos.

Estas entidades morfodinámicas están estrechamente ligadas al régimen de escorrentía. De ahí la posibilidad de calcular caudales a partir de mediciones morfométricas de los lechos. Para NOVOA (*op. cit.*) las estimaciones sobre probabilidades y frecuencias representan sólo abstracciones matemáticas, sin significado real en la naturaleza. El cálculo de caudales a partir de las cotas de inundación morfodinámica, permiten establecer relaciones estadísticas de mayor precisión que el sistema de cálculos hidráulicos.



Diversas experiencias y estudios técnicos reconocen en esta actividad una considerable intervención sobre el medio físico. La creciente demanda de áridos en Chile (M.O.P. 1998) ha incrementado la dinámica de los procesos industriales vulnerando con frecuencia el equilibrio sistémico de los componentes ambientales. Seguramente, los lechos fluviales constituyen el medio natural más sensible a estas intervenciones especialmente, aquellos asociados a ríos de regiones templadas.

La Corporación de Desarrollo Tecnológico (2001) determinó los efectos potenciales de esta actividad sobre el medio ambiente, identificando una serie de impactos específicos atribuidos a los sistemas de explotación industrial en lechos fluviales (Tabla N° 8). Estos impactos fueron clasificados de acuerdo a las faenas de extracción (E), procesamiento (P), transporte (T) y acopio (A). De 48 impactos registrados, el 39,5% deriva de las faenas de excavación en el lecho, el 29,1% de la planta procesadora, el 14,5% del transporte y el 16,6% de las labores de acopio. En relación a la transversalidad ambiental de los impactos, se observa que un 12,5% de ellos afecta al componente aire, un 14,58% a las aguas superficiales y subterráneas, y un 16,6% a la morfología, flora y fauna del lecho fluvial. Específicamente, los impactos sobre el lecho menor pueden presentarse tanto en los puntos donde se extrae material como en sitios ubicados varios kilómetros aguas abajo de las excavaciones.



“Impactos ambientales
asociados a la explotación industrial en lechos fluviales”.

Componente ambiental	Impacto Ambiental	Actividad generadora			
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aire y nivel de ruido	Alteración en la calidad del aire por emisión de PM10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración en la calidad del aire por emisión de gases	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Incremento del nivel sonoro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agua	Alteración en la calidad del agua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración en la cantidad del agua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Riesgo de inundación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración o modificación del cauce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Modificación en la tasa de recarga del acuífero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Arrastre de material	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Aumento del gasto sólido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geomorfología	Aumento de la inestabilidad de las laderas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Aumento de la inestabilidad del escarpe ribereño	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vegetación	Eliminación de vegetación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Degradación de comunidades vegetales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración de especies protegidas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Aumento del riesgo de incendios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fauna	Alteración de comunidades faunísticas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Paisaje	Alteración de la calidad visual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Aumento de la fragilidad visual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración de las formas de relieve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración del valor paisajístico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asentamientos	Redistribución espacial de la población	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración del ingreso familiar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Patrimonio histórico	Alteración del patrimonio arqueológico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Infraestructura	Deterioro de la infraestructura hidráulica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración de la producción en terrenos aledaños	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Servicios	Incremento de la demanda	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración de la infraestructura vial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Deterioro de la infraestructura de servicios básicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Alteración de la accesibilidad de los caminos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Territorio	Modificación al ordenamiento territorial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

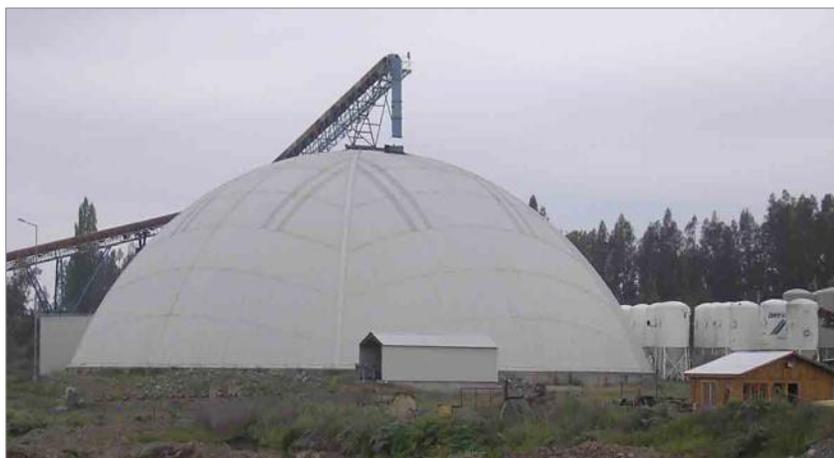
Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.D.T. (Corporación de Desarrollo Tecnológico) (2001), “La Industria del árido en Chile”.

En la actualidad, diversos organismos con competencia ambiental han definido numerosas medidas dirigidas a mitigar estos efectos (Tabla N° 9). Por su parte, la ingeniería ha desarrollado modernas tecnologías destinadas al monitoreo y control de las emisiones de PM10. Para ello se han incorporado mecanismos de hidratación en el circuito productivo que implica el procesamiento, transporte y acopio del material pétreo (Fotos N° 38 y 39). Además, se han diseñado complejas estructuras capaces de aislar totalmente, equipos y procesos industriales del medio físico (Foto N° 40).



□□□□□□□□ Clasificación de materiales en la planta secundaria de la empresa Pétreos S.A. Se observa el proceso de retención de las gravas sobre módulos de polibretano, mediante movimientos vibratorios de la primera bandeja del harrero. Paralelamente, se aprecia el proceso de hidratación del material pétreo para la reducción de las emisiones de PM10. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas). □□□□□□□□□□ (Orientación NE). Ducha para camiones tolva en la empresa Pétreos S.A. Una vez cargadas las tolvas, los camiones provenientes de ambas plantas procesadoras se dirigen hacia las duchas para lavar e hidratar los materiales. Antes de ser despachada, la carga es cubierta con una lona de protección. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).

□□□□□□□□□□ (Orientación NW). Domo y silos de almacenamiento, pertenecientes a la empresa Drymix S.A. Estas estructuras fueron levantadas sobre el límite N del lecho mayor episódico del Río Maipo, a la altura del sector de San León, en la comuna de San Bernardo. Tanto el domo como los silos corresponden a modalidades de acopio encapsulado para la conservación de los productos elaborados. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).



Otra tecnología empleada en los procesos industriales, tiene que ver con la intervención físico-química de la separación de los finos suspendidos en las aguas de lavado. Esta intervención se basa en el uso de polímeros que atrapan las partículas de arcilla y limo para acelerar su decantación (Fotos N° 41 y 42). Esta innovación, permite un mejor tratamiento de las aguas residuales para su reutilización, junto con reducir el tamaño de los pozos de sedimentación o simplemente, prescindir de ellos. El material acumulado en los pozos puede ser comercializado como aditivo calcáreo para suelos con deficiencias químicas, o como material de relleno (filler) para obras de compactación. De esta manera se confiere un uso y un valor productivo al residuo industrial, anulando su potencialidad ambiental negativa.



□□□□□□□□□□ (Orientación NW). Estanque para el tratamiento de las aguas industriales generadas por las plantas procesadoras de la empresa Pétreos S.A. En este contenedor se receptionan las aguas provenientes del lavado de materiales y posteriormente, se mezclan con un floculante (polímero) para la aceleración del proceso de decantación de los finos en suspensión (arcillas y limos). Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas). □□□□□□ □□□□□ Tambor central del estanque de tratamiento y canaleta perimetral. Se observa la primera fase de la separación entre los sedimentos finos y las aguas industriales, producto de la mezcla con el aditivo químico. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).

□□□□□□ □□□□

“Medidas ambientales dirigidas a la explotación industrial en lechos fluviales”.

Actividad generadora	Componente Alterado	Medida de mitigación
Extracción	Aire y nivel de ruido	Monitoreo del material particulado
		Verificación continua de la humedad en el proceso
		Mantenimiento periódico de los sistemas silenciadores
		Dotación de dispositivos anti ruidos
	Agua	Mantenimiento periódico de los sistemas de fluidos en la maquinaria
		Evitar el contacto entre la maquinaria y el agua subterránea
	Geomorfología	Monitoreo del eje hidráulico
	Flora y Fauna	Compactación de las riberas con maquinaria pesada
Asentamientos	Monitoreo de las especies protegidas	
Territorio	Utilización de la mano de obra local	
Procesamiento	Aire y nivel de ruido	Compatibilidad con usos vecinos
		Arborización del perímetro de la planta procesadora
		Instalación de mallas en sectores específicos
		Implementación de proceso húmedo
		Habilitación de un sistema de aspersores
		Cubrimiento de correas transportadoras
		Encapsulamiento de las transferencias con captación de polvo
		Revestimiento con goma en chutes de traspaso
		Eliminación de elementos vibratorios
		Habilitación de pantallas acústicas
Transporte	Aire y nivel de ruido	Mantenimiento de equipos silenciadores en vehículos
		Compactación y estabilización de vías internas y accesos
		Humectación permanente de vías internas
		Mantenimiento y limpieza de calles y caminos cercanos a la planta
		Mejoramiento de la red vial local
		Lavado y estilado de camiones previo a la salida de la planta
		Cubrimiento de la carga con lona hermética
		Regulación de la velocidad en vías internas (30 Kms./hora)
Acopio	Aire y nivel de ruido	Mantenimiento de sistemas silenciadores
		Taller de mantenimiento en galpón con paredes aislantes
Acopio	Aire y nivel de ruido	Instalación de un cerco perimetral
		Humectación de las pilas de material

Fuente: Elaboración propia en base al estudio C.D.T. (Corporación de Desarrollo Tecnológico) (2001), “La Industria del árido en Chile”.

En relación a la extracción mecanizada, el Departamento de Obras Fluviales del M.O.P. (1999) definió algunas normas y condiciones técnicas orientadas a mantener el equilibrio en el lecho fluvial (Tabla N° 10). Estas medidas buscan evitar la erosión por retroceso del talweg y de los escarpes ribereños, la inducción hacia desbordes sobre terrenos adyacentes y el socavamiento de las obras fluviales.



“Normativa para el control de la extracción mecanizada en lechos fluviales”.

Normas de control
La explotación del cauce se realizará alrededor del eje hidráulico mediante la definición de un área rectangular y paralela cuyas dimensiones dependerán del lecho fluvial y del tramo solicitado.
Antes de iniciar las labores de extracción se deberá demarcar el eje y la zona a explotar con señales visibles y altas cada 50 mtrs., Con ello se pretende facilitar las faenas y su fiscalización. Las señales deberán perdurar durante todo el período de explotación.
La zona de extracción podrá subdividirse longitudinal y transversalmente en varias franjas. Las excavaciones se iniciarán siempre desde el extremo inferior de la franja longitudinal más central, hacia aguas arriba (nunca en forma transversal). Una vez agotado el segmento, se continuará con las franjas laterales aplicando la misma mecánica.
La profundidad de las excavaciones no deberá superar las cotas asociadas a la pendiente media del talweg en el perfil longitudinal y a la fundación de las estructuras adyacentes, a fin de evitar procesos de erosión y socavamiento.
El material extraído deberá corresponder exclusivamente a excedentes de arrastre en el lecho menor y su procesamiento se realizará sólo en los lugares autorizados para ello, fuera de este.
El emplazamiento del material de rechazo será indicado por los departamentos regionales de obras fluviales y vialidad. Su utilización será básicamente para el reforzamiento de las riberas.
Los accesos al lecho menor deberán ubicarse en los lugares autorizados para ello, mostrando una orientación hacia aguas abajo.
Las correcciones a situaciones del cauce que puedan afectar a la comunidad, serán dirigidas únicamente por el departamento regional correspondiente.

Fuente: Elaboración propia en base a las normativas técnicas de la Dirección General de Obras Públicas del M.O.P.

A estas normas se agregan tres criterios reguladores de la explotación industrial, planteados por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (2001). Estos criterios están referidos a la prohibición de embancamientos artificiales en el centro y márgenes del lecho fluvial, a un distanciamiento mínimo de 100 mtrs. entre las excavaciones y las defensas fluviales y finalmente, al ancho de la franja de protección para puentes carreteros. En cauces importantes, esta franja sólo permite excavaciones en puntos que se encuentren a más de 300 mtrs. aguas arriba o aguas abajo del viaducto. En cauces menores, la franja de seguridad se reduce a 150 mtrs. a ambos costados del puente. Debido a que este criterio no especifica sobre las características que diferenciarían ambos tipos de cauce, su aplicación dependerá del organismo que lo requiera.

En general, los estudios técnicos y ambientales sobre explotación en lechos fluviales, exponen de manera recurrente todos estos impactos y medidas de control. No obstante, existe un efecto hidrodinámico poco tratado y que guarda relación con el incremento de la carga sólida y la sedimentación aguas abajo de las extracciones. Este efecto es perfectamente deducible al observar que la mayoría de los concesionarios, practican un método cuestionable para retener en forma selectiva el material aluvial de mayor valor comercial. El método tradicional consiste en excavar piscinas de forma alargada, paralelas al curso fluvial y con profundidades superiores a 1,5 mtrs. (Foto N° 43). Normalmente, estas piscinas se disponen dentro del lecho menor o en sectores contiguos.

□□□□□□□□□□ (Orientación SW). Lecho menor del Río Maipo en un lugar ubicado aproximadamente, a 1000 mtrs. aguas abajo del Puente Los Morros. En este lugar se ejecutan faenas de extracción, aparentemente orientadas hacia la excavación de una piscina de sedimentación o enbancamiento selectivo de material aluvial. Octubre del 2005. (Foto Miguel A. Venegas).



En algunas ocasiones, la forma longitudinal de estas piscinas en el lecho menor, considera una vertiente que decae suavemente hacia aguas abajo para terminar en un escarpe vertical, reforzado en su base y corona con bolones de diámetro superior a 12". Una vez terminados los receptáculos, se espera a que las altas aguas medias los inunden o se induce a que ello ocurra modificando el curso del río. La colmatación aluvial de las piscinas puede tomar desde algunas horas hasta un par de días, obteniéndose con frecuencia bancos de gravillas en abundantes arenas (alto valor comercial). Los efectos críticos de estas prácticas pueden suponerse in situ, como aguas abajo de las piscinas.

Tanto en los escarpes como en el fondo de las piscinas, la compactación de los materiales ha sido alterada por el empleo de retroexcavadoras. Al ingresar las aguas, los escarpes serían degradados por la corriente, al representar obstáculos para el flujo. Simultáneamente, esta dificultad generaría turbulencias (ROBERTS y PAUL, 1967) que levantarían los materiales sueltos del fondo y de las paredes de la excavación, incrementando la carga sólida del flujo. Al llenarse la piscina, el agua transportaría por suspensión (OTTOMAN, 1967) los sedimentos más finos, depositándolos varios kilómetros aguas abajo según el diámetro y peso de las partículas transportadas (DAILY, 1964). El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Chile, señala que el resultado de esta mecánica sería una acumulación progresiva de materiales finos aguas abajo de las piscinas y en un segmento difícil de estimar. Este tramo podría extenderse hasta el exutorio de la Hoya del Río Maipo vale decir, hasta su desembocadura al mar.



De acuerdo a VON BOVENTER (1969) la localización de las actividades económicas muestra tres orientaciones básicas; hacia las fuentes de materia prima, hacia las economías externas o hacia la inercia. En el caso de la explotación de áridos en lechos fluviales, se observa que las plantas procesadoras muestran una mayor orientación hacia las materias primas, ubicándose muy cerca de los yacimientos. Según WEBER (1919), sólo las materias primas localizadas en lugares específicos atraen la producción hacia los recursos. Según el coeficiente de materias primas, si la proporción del peso del insumo en el producto final es mayor a 1, la industria se orientará hacia la fuente de materia prima. En la industria del árido esta situación es recurrente sobre todo cuando se producen materiales de mayor granulometría (gravas). Para SARGANT (1964), la localización de la industria extractiva obedece más estrechamente a las taras implicadas, en particular el peso y la transportabilidad de las materias prima.

Desde la perspectiva geográfica, se reconocen tres grandes fuerzas que definen la organización espacial a saber: el costo de transporte, la distancia y las economías externas. ESTALL y BUCHANAN (1980), señalan que el costo de transporte posee una importancia histórica. En la sección media del Río Maipo, el patrón locacional indica que los sistemas de explotación se ubican a escasos kilómetros del perímetro urbano de Santiago con el objeto de reducir la “fricción de la distancia” con el mercado. Sin embargo, esta condición no es fundamental para la explotación de áridos ya que muchas plantas procesadoras despachan materiales a plantas hormigoneras localizadas en la periferia urbana (Transex, Drymix, Bottai, etc.), a edificaciones en ciudades satélites (Talagante, Melipilla, etc.) o a obras viales interurbanas (autopista central, autopista del Maipo, etc.).

Por otra parte, la cercanía a carreteras y puentes no es una variable de consideración menor al momento de solicitar concesiones y montar una planta procesadora. HERMANSEN (*op. cit.*) expresa que las posibilidades de transporte nunca son iguales en todas las direcciones, ante todo por razones topográficas y luego por la desigual densidad poblacional. Mientras mejor sea el servicio de transporte entre dos o varios puntos, mayor será la atracción de actividades similares, por lo cual se necesitarán más servicios. A parte de facilitar el acceso a centros de consumo ubicados en ambos costados del río, la proximidad a esta infraestructura garantiza un menor costo de conexión a servicios básicos como el eléctrico, telefónico, y de agua potable, entre otros.

La concentración industrial observada entre el Puente Los Morros y el Puente Lonquén, se presenta como otro factor locacional que al parecer ha generado condiciones favorables más que negativas. SARGANT (*op. cit.*) indica que las industrias extractivas tienden a la concentración de grandes unidades. Para HERMANSEN (*op. cit.*) esta aglomeración corresponde a economías externas de localización que se expresan en un aprovechamiento de mano de obra calificada, servicios especializados, compraventa de productos y transporte a gran escala. Probablemente, para los sistemas de explotación en los lechos fluviales esta última externalidad sea la más valorada.



Del análisis de las matrices de correspondencia, surge como primera apreciación el hecho que ninguno de los lechos fluviales del área-problema, presenta una “aptitud integral” para la implementación de un sistema de explotación industrial. Las principales desventajas geográficas asociadas al lecho del Río Maipo, apuntan en primer lugar a un excesivo alejamiento de la ciudad de Santiago (principal centro de consumo) en comparación con otros lugares. El apartamiento es menor si se consideran las rutas existentes en la comuna de Buin, y es mayor si se contemplan los caminos del sector de Lonquén. Si bien, las actividades mineras no consideran al distanciamiento del mercado como un factor fundamental para la explotación de los yacimientos, la alta competencia con otras unidades mejor localizadas en relación a la fricción de la distancia o costo del transporte, podría reducir las posibilidades de comercializar los productos a un buen precio. Esta situación podría presentarse, aún cuando se ha reconocido a los materiales del Río Maipo como los de mayor calidad (dureza) de la Región Metropolitana.

La aproximación entre el caserío de Lo Chacón y el margen SSW del lecho menor del Río Maipo, se presenta como otra dificultad. Esta condición podría exponer a los habitantes del sector a emisiones de ruido, gases y material particulado derivados de las faenas de extracción. A primera vista, el Puente Lonquén se percibe como un elemento favorable para la explotación de áridos sin embargo, la alternancia en el uso de su única vía entre ferrocarriles y automóviles, lo inhabilita casi totalmente para esta actividad. La existencia de esta misma condición en algunos caminos internos del lecho mayor, les otorga una aptitud parcial. Nuevamente, el sector de Lo Chacón advierte otra dificultad al observarse que en el lugar, el lecho menor no alcanza el distanciamiento mínimo propuesto para el control hidrodinámico, la preservación ambiental y la protección civil. Finalmente, la ausencia casi total de escarpes ribereños con alturas superiores a 1 mt., complicaría el control de las aguas tras la modificación del flujo.

En el caso del Río Angostura, se observa que una de las principales desventajas del lecho fluvial, es la irregularidad topográfica. Esta característica dificulta la identificación de un sitio óptimo para la localización de la planta procesadora. El distanciamiento de la ciudad de Santiago es otro factor que complica la implementación de un sistema industrial. Este alejamiento supera incluso al del Río Maipo en aproximadamente, 5 kms. Las distancias expuestas en la matriz correspondiente, indican 27 kms. si los camiones circularan por la comuna de Buin y 48 kms. si se utilizaran los caminos que bordean el cerro Lonquén.

Otra dificultad la reflejan las viviendas de Lo Chacón y Los liberales. Los habitantes de estos sectores han construido sus casas a pocos metros del lecho menor, en lo que corresponde al lecho mayor estacional. Esta situación podría exponer a los habitantes de ambos sectores a contaminantes atmosféricos originados en la planta de procesamiento. Probablemente, la morfología del lecho menor revele la mayor complicación a la hora de extraer material integral desde el cauce. La estrechez de este lecho en casi todo el segmento analizado, con excepción de un sector aguas arriba del Puente Valdivia de Paine, complicaría enormemente las labores extractivas debido a presencia constante del agua y a lo arriesgado de modificar el escurrimiento. En este mismo sentido, un canal meándrico con escasas difluencias es menos favorable para la extracción que un patrón trezado o anastomosado.

□□□□□□□□□□□□□□□□

Del análisis hidrogeomorfológico aplicado a la Cuenca del Sistema Maipo-Angostura, se concluye en primer lugar que su individualidad hidrodinámica deriva fundamentalmente de la condición climática templada que rige los montos de precipitación, de la variación altitudinal de la isoterma 0° y de la superficie de capitalización nival. La interacción de estas tres variables fundamentales otorga al sistema un funcionamiento irregular durante el año hidrológico con caudales máximos medios mensuales en época estival, y máximos instantáneos entre otoño e invierno. Este comportamiento hídrico modeló los terrenos llanos y deprimidos de Valdivia de Paine con una morfología fluvial compleja por su poca definición, con escasos recursos hidromorfológicos para contrarrestar las fuerzas modificadoras de los caudales extremos. En el ámbito regional, el predominio de un patrón dendrítico dentro del área aportante pluvial, resalta como un factor altamente potenciador del escurrimiento, otorgando al sistema una alta sensibilidad frente al ascenso de la isoterma 0° durante eventos pluviales intensos y persistentes. Los tiempos de concentración respaldan este planteamiento más aún, cuando la altitud y el distanciamiento entre la salida del sistema (confluencia Maipo-Angostura) y la sección del cauce que efectivamente comenzaría a recibir precipitaciones líquidas, puede perfectamente ser menor a la considerada en los cálculos de este trabajo. La jerarquía y la frecuencia alcanzada por el sistema de drenes dentro de la cuenca, son dos características que guardan la misma significancia que las variables mencionadas. No obstante, el tiempo de concentración y la cantidad de talwegs por km.² (frecuencia del drenaje) que particularmente presenta la subcuenca del Río Angostura, indican que su respuesta a los estímulos pluviales será más rápida y torrentosa que la desplegada por la cuenca media y superior del Río Maipo, aunque no más caudalosa.

Con respecto a la amenaza fluvial que entraña el escurrimiento de los Ríos Maipo y Angostura en el área de Valdivia de Paine, se debe comprender por sobre todo que las estimaciones basadas en modelos numéricos corresponden a aproximaciones muy restringidas sobre la recurrencia de procesos fluviales con reconocido carácter cíclico. La mayor debilidad de estos cálculos yace en la carencia de bases estadísticas continuas, suficientemente prolongadas (sobre 50 años), y a la inadecuada localización de estaciones pluvio y fluviométricas, ya que las existentes están ubicadas en lugares no apropiados para lo que a este estudio se refiere. Aunque las operaciones efectuadas en este trabajo entregaron resultados caracterizados por un grado de incertidumbre, la salvedad de las proyecciones la constituye la morfometría longitudinal y transversal practicada sobre los Ríos Maipo y Angostura. Estas actividades permitieron obtener valores concretos y bastante exactos sobre los umbrales críticos (capacidades de evacuación límite) de cada lecho menor en distintos puntos del área-problema. De esta manera, el umbral atribuido al lecho menor del Río Maipo en su paso por Valdivia de Paine, se desarrolla a la altura de Punta Lo Chacón alcanzando los 417,36 mtrs.³/seg. De acuerdo al método probabilístico, este caudal se asocia a una ocurrencia del 61% dentro de 100 años y consecuentemente, a un período de retorno de 1,6 años. El método de Allen Hazen asigna a este caudal una frecuencia alta sin embargo, su valor como gasto específico no alcanza el 30% del máximo caudal registrado en los últimos 36 años. Para el caso del Río Angostura, se identificó al sector de Lo Chacón como el lugar donde la capacidad límite del lecho menor alcanza su valor mínimo equivalente a 51,66 mtrs.³/seg. En la estadística contemplada, el valor más aproximado a este umbral crítico (59,78 mtrs.³/seg.) arrojó una probabilidad de ocurrencia de un 78,6% y un período de retorno de 1,3 años. Este gasto específico representa aproximadamente, el 5% del caudal registrado el otoño del año 2000, el cual encabeza la estadística utilizada.

En definitiva, si la cuenca del Sistema Maipo-Angostura volviese a evacuar caudales máximos instantáneos similares a los registrados en las últimas cuatro décadas y las condiciones morfológicas actuales se mantuvieran, las inundaciones por desbordes serían sucesos inminentes en varios sectores de Valdivia de Paine. De acuerdo a los resultados generados, esta situación tiene una alta probabilidad de ocurrencia.

En relación a la explotación industrial de áridos en lechos fluviales, esta se presenta como una actividad minera de relativa complejidad industrial pero también de reconocida incidencia ambiental, específicamente sobre el componente aire y el medio fluvial. Sin embargo, los avances tecnológicos en materia de planificación y equipamiento industrial (estándares europeos) permiten hoy en día que las unidades productivas alcancen no tan sólo altos niveles de producción sino también, un eficaz control de las emisiones de material particulado (PM10), gases por combustión y aguas residuales con finos en suspensión. Actualmente, los sistemas industriales tienen la posibilidad de incorporar modernos equipos de monitoreo, reducción y neutralización de los efectos negativos que se desprenden tanto de las operaciones extractivas como de transporte y procesamiento de la materia prima. Las emisiones de gases por combustión son mínimas y se atribuyen únicamente a la maquinaria de carga y transporte. El funcionamiento de los harneros, chancadores y cintas transportadoras se basa en el consumo eléctrico, y no de combustibles fósiles. La emisión de polvo desde estos equipos se puede controlar mediante el encapsulamiento de los artefactos y la humectación del material integral o materia prima. Las emisiones desde los caminos sobre los cuales circulan los camiones tolva pueden suprimirse a través de hidratación permanente (camiones aljibe). Lo que actualmente se presenta como materia pendiente en relación a las implicancias de la explotación industrial de áridos se refiere en primer lugar, a una mayor investigación sobre los efectos de la extracción en la hidrodinámica fluvial específicamente, en el transporte de sedimentos, en el patrón de escurrimiento y en la morfogénesis fluvial aguas abajo de las excavaciones. Se requiere además, el diseño de un método extractivo sustentable para cada tipo de río intervenido. En segundo lugar, es necesario formular instrumentos normativos más precisos y constituir cuerpos técnicos especializados orientados a la regulación de los proyectos y faenas de extracción. La finalidad de esto último es impedir la explotación irracional y depredadora del medio natural y evitar perjuicios a terceros.

De acuerdo al análisis de las unidades industriales que operan en la sección media del Río Maipo, se deduce que los tres factores geográficos más influyentes en la decisión locacional son: la existencia de grandes depósitos de material integral de calidad, una alta tasa de renovación aluvial y la proximidad a centros de consumo y abastecimiento. La jerarquía de estos factores sería equivalente al orden en que se les presenta, aunque el costo de transporte – inherente al distanciamiento del mercado – es un elemento decisivo en la determinación de la viabilidad económica de los proyectos. Con respecto a esto último, la viabilidad geográfica de localizar un sistema de explotación en un determinado punto de un lecho fluvial, puede ser perfectamente desplazada por una baja rentabilidad asociada a esa alternativa locacional.

Finalmente y en relación a la viabilidad geográfica de localización para un sistema industrial en el área de Valdivia de Paine, se concluye que esta condición se expresa territorialmente de manera parcial dentro del área-problema, tanto en la cantidad de factores presentes como en su distribución espacial, lo cual indica mayores desventajas para una potencial explotación en el lecho menor del Río Angostura. Esta situación está determinada básicamente por la concentración del escurrimiento en un solo canal, por la estrechez del cauce habitual, por la cercanía de viviendas y huertos de autoconsumo y

por la existencia de un alto nivel de amenaza fluvial que expondría a los operarios y a las instalaciones industriales. Por esta razón, la ejecución de labores extractivas como de procesamiento en el lecho fluvial del Río Angostura no es aconsejable, principalmente por los impactos que generaría sobre el entorno inmediato y a terceras personas. El Río Maipo en cambio, presenta restricciones que pueden reducirse debido a la amplitud de su sistema de lechos (ancho superior a 400 mtrs.) y a la relativa lejanía de asentamientos rurales. En definitiva, las mejores condiciones de extracción mecanizada se encuentran en este curso fluvial, concentrándose en el segmento definido entre el Puente Lonquén y el sector de El Bosque. Por otra parte, los sectores de La Puntilla de Lonquén y de Las Pircas en la ribera NW del Río Maipo (Comuna de Isla de Maipo) presentarían las mayores ventajas para el montaje de una planta procesadora, debido a su baja exposición a la amenaza fluvial y a un mejor acceso a la ciudad de Santiago.

□□□□□□□□ □□□□□□□□□□

Como resultado del análisis y evaluación de la morfodinámica e hidrodinámica de las dos principales cuencas que componen el Sistema Maipo-Angostura, surge como necesaria la determinación de la erosividad a nivel de subcuencas. Esta diferenciación permitiría identificar aquellas subunidades más susceptibles a generar y aportar carga sólida a los Ríos Maipo y Angostura. De igual forma se podría establecer cuales subcuencas son más sensibles o proclives a presentar crecidas instantáneas frente a eventos pluviales extremos. Los resultados serían fundamentales para la formulación y espacialización de planes dirigidos al control hidrogeodinámico de la cuenca y para la reducción de la amenaza fluvial en lugares específicos. En relación a la Protección civil, esta información podría ayudar a mitigar la probabilidad de daños y desastres mediante la definición y ubicación adecuada de obras de control de las crecidas y a la reducción de los desbordes. Además, sería útil la implementación de un sistema de alerta de crecidas, diseñado en base a escenarios históricos, índices hidromorfométricos y datos pluvio y fluviométricos. Esta combinación otorgaría mayor certeza a la previsión de los caudales extremos.

A nivel local, se sugiere la construcción de obras hidráulicas orientadas a la canalización, rectificación y contención del escurrimiento, con el objeto de disminuir la ocurrencia de los desbordes y el retroceso de los escarpes ribereños durante las crecidas. Concretamente, para el Río Maipo se recomienda extender el muro de contención que protege a la ribera Sur hasta el sector de Punta Lo Chacón, lugar de mayor vulnerabilidad y próximo al área de confluencia. El Río Angostura requiere una mayor intervención mediante obras hidráulicas de envergadura. Estas deben orientarse a la canalización total del lecho menor dentro del área-problema, al aumento de su capacidad de evacuación por sobre los 1.000 mtrs.³/seg. y a la reducción de la sinuosidad entre la afluencia del Estero Peralillo (emisario de la Laguna de Aculeo) y la confluencia con el Río Maipo. Finalmente, se recomienda canalizar los últimos 200 metros del Estero Peralillo antes de producirse su afluencia al Río Angostura. Es imprescindible anular la perpendicularidad del ángulo horizontal con que actualmente las aguas de ambos cursos fluviales se suman. Esto con el objeto de favorecer el contacto hidrodinámico y evitar los represamientos durante las crecidas invernales.

En relación a la explotación económica del material aluvial, se sugiere el levantamiento de una línea de base ambiental del lecho fluvial del Río Maipo en sus secciones media y baja (susceptibles de explotar). Se deben analizar todos los componentes ambientales que constituyen el medio fluvial junto con establecer las capacidades de evacuación, arrastre de fondo y carga sólida en suspensión en distintos segmentos de su cauce. Estos resultados podrán utilizarse para la elaboración de un “Plan regional de explotación” que regule la actividad industrial, cautele la conservación del medio fluvial y suprima la generación de efectos negativos sobre la población y los terrenos adyacentes.

Para el caso específico del área-problema y de acuerdo a las ventajas reconocidas en este territorio, se recomienda la implementación de un sistema industrial de tamaño medio (producción anual entre 50.000-150.000 mtrs.³), basada en procesos húmedos y en la elaboración de áridos de granulometría gruesa (gravas gravillas y arenas). El subsistema de extracción debe orientarse en una primera instancia, a la explotación exclusiva del material excedente depositado en forma de bancos aluviales en el centro del lecho menor. Ello con el objeto de modificar la actual posición del eje hidráulico desde el margen SE del lecho fluvial, hacia su centro. En una segunda instancia las excavaciones deben dirigirse hacia la configuración de un canalón central capaz de evacuar caudales de crecida superiores a 1.129,8 mtrs.³/seg. (caudal extremo calculado para el lecho menor del Río Maipo). Se recomienda que la pendiente de los taludes del cauce artificial, sea mayor a 25° pero inferior a 45°. Para el segmento del lecho fluvial que se ubica entre los sectores de El Bosque y Las Mercedes, el proyecto de extracción y canalización requerirá de un estudio especial que determine la mejor forma para encauzar el río. Es importante asegurar la continuidad de la capacidad de evacuación sugerida para el lecho menor del Río Maipo y corregir el defectuoso ángulo horizontal de confluencia con las aguas del Río Angostura.

Finalmente, para motivar el interés de privados por invertir en proyectos de explotación industrial al interior del área-problema, se propone la creación de incentivos o franquicias tributarias destinadas a compensar el costo del transporte que implicaría explotar y transportar áridos desde Valdivia de Paine hacia las comunas céntricas del área metropolitana de Santiago o hacia plantas de hormigón localizadas en el perímetro urbano. De esta manera, se podría incrementar la viabilidad económica de localizar un sistema de explotación industrial en el área de Valdivia de Paine, aprovechar las externalidades positivas del proyecto (obras de encauzamiento) y beneficiar a la fuerza laboral de un área agrícola caracterizada por una demanda estacional de la mano de obra (períodos de siembra y cosecha).

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1990. Influencias de la urbanización en un desastre: el caso del área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires. Revista Medio Ambiente y Urbanización. Desastres y vulnerabilidad en América Latina.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1992. Importancia Geográfica de los ángulos de confluencia en la dinámica fluvial: caso cuenca andina Río Mapocho. Universidad de Chile, Departamento de Geografía. Santiago, Chile.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1994. (*op. cit. A*). Métodos hidromorfométricos para determinar la erosividad en cuencas hidrográficas. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. IX, N° 3.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1998. Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana de Santiago (Proyecto OTAS). Segunda Etapa: Inventario ecológico y evaluación del territorio. Componentes ambientales. Carta de riesgo ecológico y conveniencia de protección de aguas superficiales y subterráneas. A. Sancha, C. Espinoza y G. Castillo.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1999. (*op. cit. B*). Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable de la Región Metropolitana de Santiago (Proyecto OTAS). Segunda Etapa: Inventario ecológico y evaluación del territorio. Componentes ambientales. Carta de riesgos naturales. Inundación. F. Ferrando Acuña.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1980. Métodos para la determinación de áreas de riesgos fluviales y manejo de las llanuras de inundación. Cuenca Río Angostura. Memoria Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad de Chile. Santiago. Documento inédito.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1976. Análisis locacional en Geografía Humana. Colección Ciencia urbanística. (Versión en Castellano) Barcelona, España.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1968. A Methodology for systems Engineering. D. Van Nostrand Company, Inc. Nueva Jersey. E.E.U.U.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1993. Remociones en masa en Chile. Boletín N° 45 del Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago, Chile.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1998. Plan de Desarrollo comunal 1997-2002” (Primera etapa). Diagnóstico comunal. Centro de estudios para el Desarrollo regional y comunal. Cederco.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1984. Hidrografía. Tomo VIII, Colección Geografía de Chile. H. Niemeyer y P. Cereceda. Santiago.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1967. Estudio hidrogeológico del revenimiento periódico de los terrenos del área 4, Viluco, Paine, Valdivia de Paine, Provincia de Santiago. E. Falcón y J. Sánchez. Chile. Documento inédito.

□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ 1980. Carta geológica de Chile, 1:250.000. Geología de la Hoja Santiago, Región Metropolitana. R. Thiele. Santiago.

Amenaza fluvial y Viabilidad de una Explotación de áridos en Valdivia de Paine, Comuna de Buin.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1999. Variación de la línea de nieves como elemento de modelación y pronóstico de cuencas nivo-glaciares de Chile central: III a VIII regiones: Análisis temporadas de deshielo 1996-1997 (La niña) y 1997-1998 (El Niño). F. Escobar Cáceres.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 2000. (*op. cit. D*). Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho. Ayala-Cabrera y asociados. Santiago, Chile.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 2002. (*op. cit. E*). Pronóstico sobre disponibilidad de agua. Temporada de riego 2002-2003. Santiago, Chile.

□ 1997. Consolidado de emergencia de la red fluvial e Informe de emergencia de viabilidad en la RM. Santiago, Chile.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1987. Consideraciones geomorfológicas para la evaluación del riesgo y peligro fluvial. Revista geográfica de Chile Terra Australis, N° 30: 39-53. Santiago.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1986. Hidrogeomorfología, riesgos naturales, control y manejo de la cuenca Las Gualtatas, Provincia de Santiago. Boletín informativo IGM, I semestre. Chile.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1998. Marco conceptual en Protección civil, Capítulo 97.1. Programa de formación profesional en Protección civil. Santiago, Chile.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1974. Fluvial Morphometry on the Cober Pediplain. Annuals of the Association of the American Geographers. E.E.U.U.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 2004. Ordenamiento territorial y Extracción de áridos en la Región Metropolitana de Santiago. Universidad de Valparaíso. Chile.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1967. Introducción a la géologie marine et littorale. Paris, Francia.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1983. El concepto de región: la dimensión espacial de los procesos sociales.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1978. Modelos en la Planificación de Ciudades y Regiones. El enfoque desde el punto de vista de la Teoría de sistemas. Colección nuevo Urbanismo, Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid, España.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1963. Hidrologie de surface. Orstom. Gauthier-Villars Editeur. Paris, France.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 2001. Ordenamiento territorial. IICA. Santiago, Chile.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1964. Economics of Industrial Location and Urban Sociology. Cap. III of Economics and Urban Sociology, C. A. Watts and Co. Ltd. Londres, U.K.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1977. The Fluvial System. Ed. John Wiley and Sons. New York, E.E.U.U.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 2001. Remociones en masa e inundaciones en la cuenca de Santiago, RM. Plano 1:100.000. P. Villarroel A. Chile.

□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ 1979. Geografía Física. Editorial Omega. Barcelona, España.

