



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
UNIDAD DE FISCALIZACIÓN**

**CATASTRO E INSPECCIÓN PRELIMINAR
DE EMBALSES UBICADOS EN LAS
REGIONES DE VALPARAÍSO,
METROPOLITANA, DEL MAULE Y DE LA
ARAUCANÍA**

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

S.I.T. N° 255

Santiago, Noviembre 2011

Ministro de Obras Públicas

Ingeniero Civil Sr. Laurence Golborne Riveros

Director General de Aguas
Abogado Sr. Matías Desmadryl Lira

Jefe Unidad de Fiscalización
Biólogo Marino Sr. Francisco Riestra M.

Inspector Fiscal
Ingeniero Agrónomo M.S. Sr. Guillermo Sepúlveda R.

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Jorge Baechler R.

Profesionales

Ingeniero Civil Jaime Vargas P.
Ingeniero Civil Kricor Bzdigian K.
Ingeniera Civil Elizabeth Mockridge E.
Ingeniero Civil Camilo Alarcón C.
Ingeniero Civil Eugenio Campos G.
Ingeniera Civil en Geografía Claudia Hernández L.
Técnico Jorge Jaluff R.

INFORME FINAL

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos Generales	2
1.3. Objetivos Específicos	2
2. ÁREA DE ESTUDIO	2
3. Recopilación y Análisis de Antecedentes	10
4. Trabajos de Terreno	10
4.1. Metodología General	10
4.2. FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES	13
4.2.1. Antecedentes Generales	13
4.2.2. Ubicación de la Presa	13
4.2.3. Uso o Destino del Embalse	14
4.2.4. Tipo de Embalse	14
4.2.5. Geometría de la Presa.....	15
4.2.6. Estimación Capacidad Máxima del Embalse	15
4.2.7. Características del Muro, Estado y Calidad de Construcción	16
4.2.8. Características Obras Evacuador de Crecidas.....	17
4.2.9. Características Obras de Entrega y Desagüe de Fondo	18
4.2.10. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Aguas Abajo	18
4.2.11. Monografías	19
4.2.12. Observaciones	19
5. ESTUDIO DE CRECIDAS	20
5.1. Introducción	20
5.2. Recopilación de Antecedentes	20
5.3. Períodos de Retorno Según Tipo de Obra	21
5.4. Metodología	22
5.4.1. Determinación de las Precipitaciones Máximas para Diferentes Períodos de Retorno	22
5.4.2. Determinación de Caudales mediante la Fórmula Racional Modificada	25
5.4.3. Determinación de Caudales mediante la Relación de Verni y King Modificada.....	26
5.4.4. Método DGA – AC.....	27
5.4.5. Método del Hidrograma Unitario Sintético	31

5.4.6.	Tiempo de Concentración (tc)	34
5.4.7.	Método DGA-AC para Crecidas de Deshielo.....	34
5.4.8.	Líneas de Nieve	35
5.5.	Antecedentes de las Cuencas en Estudio	36
5.5.1.	Ubicación.....	36
5.5.2.	Área Pluvial y Nival de las Cuencas.....	37
5.5.3.	Tiempos de Concentración.....	40
5.5.4.	Precipitación Máxima.....	42
5.6.	Cálculo de Crecidas	45
6.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	58
7.	ANÁLISIS DE FILTRACIONES	63
8.	CÁLCULO DE CAUDALES EN VERTEDEROS.....	67
9.	ANÁLISIS DE RIESGOS (HAZOP)	71
9.1.	Base Metodológica	71
9.2.	Adaptación para Análisis de Riesgos en Embalses.....	72
9.2.1.	Eventos Desencadenantes	72
9.2.2.	Análisis de la Vulnerabilidad	73
9.2.3.	Efectos	79
10.	RESULTADOS	82

ANEXOS

ANEXO 1	RESULTADOS ANÁLISIS DE RIESGOS DE LOS EMBALSES
ANEXO 2	ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS
ANEXO 3	DETALLE CÁLCULOS DE CRECIDAS

PLANOS

PLANO 2-1	UBICACIÓN EMBALSES V REGIÓN DE VALPARAÍSO
PLANO 2-2	UBICACIÓN EMBALSES REGIÓN METROPOLITANA
PLANO 2-3	UBICACIÓN EMBALSES VII REGIÓN DEL MAULE
PLANO 2-4	UBICACIÓN EMBALSES IX REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

Una de las principales atribuciones y funciones que el Código de Aguas le confiere a la Dirección General de Aguas es la Fiscalización, facultad matriz de la cual se derivan una serie de potestades de carácter normativo y regulador, respecto de los diferentes campos de acción del ámbito de los recursos hídricos.

El artículo 294 letra a) del Código de Aguas, establece que requerirán aprobación del Director General de Aguas, los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos (50.000 m³) o cuyo muro tenga más de 5 metros de altura.

Por otra parte, el artículo 307 señala que la Dirección General de Aguas, inspeccionará las obras mayores, cuyo deterioro o eventual destrucción pueda afectar a terceros.

Comprobado el deterioro, la Dirección General de Aguas ordenará su reparación y podrá establecer, mediante resoluciones fundadas, normas transitorias de operación de las obras, las que se mantendrán vigentes mientras no se efectúe su reparación.

Si ello no se efectuase en los plazos que determine, dictará una resolución fundada, ratificando como permanente la norma de operación transitoria y además podrá aplicar a las Organizaciones que administren las obras una multa.

El Ministerio de Obras Públicas y en particular la Dirección General de Aguas, está iniciando un proceso de verificación del estado de las obras que pudieran afectar la vida y la salud de los habitantes de los sectores cercanos a ellas.

Para ello, requiere conocer en qué situación se encuentran las obras denominadas en este estudio Embalses Mayores, es decir, aquellas asimilables a lo señalado en la letra a) del artículo 294 del Código de Aguas, pero también incluyendo para estos fines embalses cuya altura o capacidad no cabe en esa definición, pero que podrían generar potencial peligro para asentamientos humanos.

Cabe destacar que el Ministerio de Obras Públicas ha definido como una labor prioritaria el tema de la seguridad de las obras de Infraestructura

pública y privada, teniendo especial relevancia el alto grado de riesgo de obras hidráulicas, específicamente las relacionadas con embalses.

La falta de prevención y previsión en el mantenimiento, reparación y operación de obras hidráulicas puede traer consigo graves daños a la propiedad pública y privada y a la vida y salud de los habitantes, una adecuada labor de inspección permitirá evitar al Estado graves daños de carácter patrimonial consecuencia de múltiples acciones legales emprendidas por particulares perjudicados por la ocurrencia de un evento catastrófico atribuible a negligencia o falta de previsión por parte de la autoridad.

1.2. Objetivos Generales

Realizar un catastro de los embalses orientado a prevenir que el deterioro o eventual destrucción de estas obras pueda afectar la seguridad de terceros (artículo 307 del Código de Aguas).

1.3. Objetivos Específicos

- Recopilación, Revisión y Análisis de Antecedentes.
- Inspección en terreno del número de embalses ofertados (croquis de ubicación, obras existentes, elaboración de fichas catastrales, etc.)
- Determinación de Caudales de Crecida
- Evaluación del riesgo asociado a cada embalse.
- Análisis de daños potenciales de la onda de crecida
- Recomendaciones

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio incluye las regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Maule y de la Araucanía. En los Cuadros siguientes se incluye el listado de los 60 embalses que serán diagnosticados, mientras que en los planos 2-1 a 2-4 se muestra la ubicación de cada uno de ellos, por región (coordenadas en Datum WGS 84 Huso 19).

**CUADRO 2-1
EMBALSES A SER DIAGNOSTICADOS V REGIÓN DE VALPARAÍSO
(coordenadas Datum WGS 84 Huso 19)**

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	PROVINCIA	COMUNA	Coordenadas UTM	
					NORTE	ESTE
1	SAUSALITO	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	VIÑA DEL MAR	6.344.202	262.905
2	SAN JUAN	DE VALPARAÍSO	SAN ANTONIO	SAN ANTONIO	6.275.286	264.029
3	LLIULLIU	DE VALPARAÍSO	QUILLOTA	LIMACHE	6.335.815	293.064
4	SANTA ROSA	DE VALPARAÍSO	QUILLOTA	LIMACHE	6.342.775	294.079
5	SAN JORGE	DE VALPARAÍSO	QUILLOTA	LIMACHE	6.343.575	294.423
6	LO OVALLE	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	CASABLANCA	6.318.190	280.185
7	EMBALSE PEÑUELAS	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	6.329.519	261.682
8	LO OROZCO	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	CASABLANCA	6.320.499	274.651
9	TRANQUE LA LUZ	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	6.331.207	257.832
10	PERALITO	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	QUINTERO	6.364.347	271.692
11	LOS LEONES DE LIMACHE	DE VALPARAÍSO	QUILLOTA	LIMACHE	6.341.410	290.873
12	EL MELON	DE VALPARAÍSO	QUILLOTA	NOGALES	6.378.748	295.094
13	EL BOSQUE	DE VALPARAÍSO	QUILLOTA	LIMACHE	6.343.136	291.420
14	LA LAGUNA DE CATAPILCO	DE VALPARAÍSO	PETORCA	ZAPALLAR	6.396.580	284.888
15	LOS PERALES DE TAPIHUE	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	CASABLANCA	6.315.061	285.780
16	LA GLORIA	DE VALPARAÍSO	QUILLOTA	LIMACHE	6.342.365	287.227
17	POZA AZUL O LAGUNA QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	QUILPUÉ	6.335.876	275.246
18	LAS PALMAS DE QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	QUILPUÉ	6.330.275	277.702
19	CACHAGUA	DE VALPARAÍSO	PETORCA	ZAPALLAR	6.393.297	271.071
20	CASAS DE QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	SAN FELIPE	SAN FELIPE	6.378.756	340.531
21	LAS REPRESAS	DE VALPARAÍSO	PETORCA	ZAPALLAR	6.386.912	281.766
22	LOS LEONES	DE VALPARAÍSO	VALPARAÍSO	VILLA ALEMANA	6.335.555	281.949
23	LOS CORONELES	DE VALPARAÍSO	QUILLOTA	OLMUÉ	6.342.960	300.162
24	EL CARRIZO	DE VALPARAÍSO	SAN FELIPE	LLAILLAY	6.361.838	322.298

CUADRO 2-2
EMBALSES A SER DIAGNOSTICADOS REGIÓN METROPOLITANA
(coordenadas Datum WGS 84 Huso 19)

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	PROVINCIA	COMUNA	Coordenadas UTM	
					NORTE	ESTE
1	TRANQUE PEREZ CALDERA	METROPOLITANA	SANTIAGO	LO BARNECHEA	6.323.200	374.750
2	EMBALSE MINERA FLORIDA	METROPOLITANA	MELIPILLA	ALHUÉ	6.231.327	312.072
3	EMBALSE CAREN	METROPOLITANA	MELIPILLA	ALHUÉ	6.225.584	299.403
4	EL PARRÓN	METROPOLITANA	MAIPO	BUIN	6.270.839	344.456
5	LA REINA	METROPOLITANA	SANTIAGO	LA REINA	6.299.396	358.714
6	EMBALSE LAS TÓRTOLAS	METROPOLITANA	CHACABUCO	COLINA	6.334.443	337.430
7	EMBALSE OVEJERÍA	METROPOLITANA	CHACABUCO	TIL TIL	6.341.378	331.445
8	TRANQUE EL CHILQUE	METROPOLITANA	MELIPILLA	ALHUE	6.233.901	295.788
9	REINA NORTE	METROPOLITANA	CHACABUCO	COLINA	6.327.316	343.533
10	TRANQUE CHADA	METROPOLITANA	MAIPO	PAINE	6.247.429	347.503
11	EMBALSE EL YESO	METROPOLITANA	CORDILLERA	SAN JOSE DE MAIPO	6.274.440	399.401
12	EMBALSE RUNGUE	METROPOLITANA	CHACABUCO	TIL TIL	6.334.909	321.779
13	LO ERMITA	METROPOLITANA	MAIPO	CALERA DE TANGO	6.283.282	336.282
14	LOICA	METROPOLITANA	MELIPILLA	SAN PEDRO	6.238.264	269.251

CUADRO 2-3
EMBALSES A SER DIAGNOSTICADOS VII REGIÓN DEL MAULE
(coordenadas Datum WGS 84 Huso 19)

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	PROVINCIA	COMUNA	Coordenadas UTM	
					NORTE	ESTE
1	EL CERRILLO	DEL MAULE	CURICÓ	MOLINA	6.111.200	283.039
2	SANTA CECILIA	DEL MAULE	TALCA	PENCAHUE	6.093.350	246.070
3	EL MAITÉN	DEL MAULE	TALCA	PENCAHUE	6.093.552	247.675
4	LAS MERCEDES	DEL MAULE	TALCA	RIO CLARO	6.096.896	294.304
5	GUAICO I	DEL MAULE	CURICÓ	ROMERAL	6.132.303	309.920
6	GUAICO III	DEL MAULE	CURICÓ	ROMERAL	6.126.618	314.972
7	CORRALONES II	DEL MAULE	TALCA	SAN CLEMENTE	6.063.412	287.803
8	CORRALONES VIEJO	DEL MAULE	TALCA	SAN CLEMENTE	6.062.323	287.974
9	LA CRIANZA	DEL MAULE	CURICÓ / TALCA	RIO CLARO	6.095.114	296.932
10	HUENCUECHO NORTE I	DEL MAULE	TALCA	PELARCO	6.084.472	286.106
11	HUENCUECHO NORTE II	DEL MAULE	TALCA	PELARCO	6.084.992	286.305
12	SAN MARCOS	DEL MAULE	CURICÓ	HUALAÑÉ	6.122.939	255.929
13	SANTA LUCRECIA	DEL MAULE	TALCA	PELARCO	6.081.890	290.771
14	SANTA TERESA DE PERQUIN	DEL MAULE	TALCA	SAN CLEMENTE	6.060.983	282.798

CUADRO 2-4

**EMBALSES A SER DIAGNOSTICADOS REGIÓN DE LA ARAUCANÍA
(coordenadas Datum WGS 84 Huso 18)**

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	PROVINCIA	COMUNA	Coordenadas UTM	
					NORTE	ESTE
1	EL CASTILLO O MALQUERIDA	DE LA ARAUCANÍA	MALLECO	TRAIGUEN	5.766.883	705.682
2	HUELEHUEICO	DE LA ARAUCANÍA	MALLECO	RENAICO	5.811.460	718.847
3	CHUMPIRRO	DE LA ARAUCANÍA	MALLECO	RENAICO	5.815.227	714.142
4	SANTA ALDEA	DE LA ARAUCANÍA	CAUTIN	NUEVA IMPERIAL	5.709.130	683.786
5	EMBALSE MALALCO	DE LA ARAUCANÍA	MALLECO	TRAIGUÉN	5.768.521	706.812
6	LAGUNA TEMUCO	DE LA ARAUCANÍA	CAUTIN	TEMUCO	5.718.639	718.927
7	TRANQUE MARÍA ESTER	DE LA ARAUCANÍA	MALLECO	TRAIGUÉN / VICTORIA	5.763.983	719.796
8	PASO MALO	DE LA ARAUCANÍA	MALLECO	TRAIGUÉN	5.773.687	701.276

PLANO 2-1

PLANO 2-2

PLANO 2-3

PLANO 2-4

3. Recopilación y Análisis de Antecedentes

Se ha llevado a cabo una completa revisión de antecedentes relacionados con cada uno de los embalses (planos de proyecto y/o construcción, proyectos o estudios de mejoramiento, minutas de operación, etc.) los cuales han sido obtenidos tanto en entidades públicas como privadas, a saber:

- Sistema de Información Geográfica de la DGA del MOP
- Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH), DGA, MOP
- Archivo Técnico de la DOH (Santiago y Regiones)
- Expedientes de los Embalses que se obtuvieron de cada una de las divisiones de fiscalización de la DGA de las regiones involucradas
- Reuniones con los jefes de fiscalización de la DGA de las regiones involucradas.
- Archivo Técnico de la CNR (Santiago y Regiones)
- Propietarios (Juntas de Vigilancia, Asociación de Regantes, Particulares, etc.) de cada uno de los embalses que serán visitados.
- Google Earth 2011

4. Trabajos de Terreno

4.1. Metodología General

La planificación del trabajo en terreno consideró la visita a cada sitio de embalse. Para ello se dispuso de equipos de trabajo a cargo de un Ingeniero de experiencia en diseños de presas, un ingeniero ayudante y de un técnico.

A continuación se incluyen los diferentes tópicos y trabajos efectuados en terreno.

➤ Cartografía

- Se confeccionaron planos de trabajo a diferentes escalas para cada una de las regiones incluidas en el estudio; se trabajó en Datum WGS 84, Huso 19 (excepto la IX Región de La Araucanía que se trabajó en Huso 18).
- En cada uno de los 4 planos se ubicaron los embalses a ser

diagnosticados.

- También se determinó la ubicación de los embalses en las imágenes satelitales de Google Earth.

➤ **Obtención de los datos característicos de cada embalse**

En terreno se completaron las "FICHAS DE REGISTRO DE EMBALSES", las que contienen la información básica para identificar las obras. Estas fichas se han incluido, para cada uno de los embalses, en el Anexo 1.

➤ **Mediciones**

Con el objetivo de lograr caracterizar algunos parámetros hidráulicos y definir la geometría del embalse fue necesario realizar algunas mediciones en terreno para el llenado de las planillas de catastro de embalses y la confección de los croquis de las obras.

Las medidas principales que fueron tomadas en terreno y el método para cada caso son las presentadas en el Cuadro 4.1-1.

**CUADRO 4.1-1
MEDICIONES A EFECTUAR EN TERRENO**

MEDICIÓN	UNIDAD	MÉTODO
Ancho de coronamiento	m	Huinchas
Largo talud de aguas arriba	m	Distanciómetro
Largo talud de aguas abajo	m	Distanciómetro
Ancho de la obra de evacuación	m	Huinchas
Angulo del talud de aguas arriba	Grado Sexagecimal	Eclímetro y distanciómetro con aplicación de medición de ángulos
Angulo del talud de aguas abajo	Grado Sexagecimal	Eclímetro y distanciómetro con aplicación de medición de ángulos

➤ **Croquis de Obras Principales**

Se confeccionaron croquis en planta y cortes de las principales obras que presentaba cada uno de los embalses visitados. En particular, al menos se incluyeron croquis de las siguientes obras:

- Planta y cortes del muro con sus taludes de aguas arriba y de aguas abajo.
- Obra de alimentación del embalse y sus partes principales
- Obra de evacuación

➤ **Fotografías**

Las fotografías fueron un complemento de la recolección de datos en terreno y permitieron al equipo evaluador completar su visión integral de la obra, con el fin de precisar los valores asignados.

La toma de fotografías se realizó desde distintos ángulos con el fin de poder caracterizar la obra completa, así como también de los sectores aledaños (casas, infraestructura, filtraciones al pie del muro, etc.)

➤ **Análisis del Emplazamiento Aledaño y Aguas Abajo**

Se analizaron en terreno el sitio en donde se emplaza el embalse, especialmente la estabilidad de las laderas de cerros, peligros potenciales de deslizamientos ante crecidas o sismos, situación de la zona de aguas abajo del embalse, etc.

➤ **Selección de Embalses para Ensayos de Mecánica de Suelos**

De acuerdo con lo observado en terreno por el experto en embalses y geotecnia, se seleccionaron los siguientes embalses donde se hicieron calicatas para análisis de ensayos específicos (ver resultados en Anexo 2):

V Región de Valparaíso:

- a) Los Leones de Limache
- b) Lo Orozco
- c) Santa Rosa de Limache

Región Metropolitana

- a) Loica
- b) Chada

VII Región del Maule

- a) Las Mercedes
- b) El Cerrillo

Los ensayos efectuados fueron los siguientes:

- Granulometría
- Humedad
- Peso Específico
- Densidad de Partículas Sólidas

- Clasificación USCS

A su vez, se efectuaron ensayos Triaxiales en los siguientes 2 embalses:

- El Cerrillo
- Los Leones de Limache

4.2. FICHA DE CATASTRO DE EMBALSES

4.2.1. Antecedentes Generales

La primera parte de la ficha tuvo como objetivo identificar el embalse con su nombre, el propietario al cual pertenece, el año de su construcción, la cuenca y subcuenca en la cual se ubica con su respectivo código de las Dirección General de Aguas y la identificación de la fuente del recurso que se almacena en el embalse.

Es importante destacar que, debido a que muchas veces el embalse se encontraba en un sitio eriazo y sin moradores en sus alrededores, no fue factible obtener la totalidad de datos que había que llenar en cada ficha.

Los datos de esta primera parte son los siguientes:

- Nombre de la presa
- Propietario
- Año de construcción
- Cuenca / Código DGA
- Subcuenca / Código DGA
- Fuente del recurso

Además de lo anterior, se identificó cada ficha con un número (mismo número del listado incluido en el punto 2) del presente informe, y la fecha de su realización.

4.2.2. Ubicación de la Presa

Contiene ubicación general, la región, provincia y comuna en donde se localiza la obra. Para su ubicación específica, se registró por medio de un GPS Navegador las coordenadas UTM y con altímetro barométrico la altura sobre el nivel medio del mar.

Las mediciones de las coordenadas fueron hechas en la parte central del

muro, y en los estribos izquierdo y derecho.

Los datos que se registraron fueron:

- Región
- Provincia
- Comuna
- Coordenadas UTM norte y este y Datum
- Altitud

4.2.3. Uso o Destino del Embalse

Se identificó el uso o destino que se da a la obra, en general se pueden identificar los siguientes usos:

- Riego
- Generación de energía
- Abastecimiento de agua potable / saneamiento
- Relaves
- Sedimentación
- Control de crecidas
- Recreación
- Otros usos

4.2.4. Tipo de Embalse

Desde el punto de vista de los materiales empleados en su construcción, las presas pueden construirse de materiales granulares e impermeables (arcillas), de enrocados, hormigón convencional, hormigón rodillado (RCC), etc.

Las presas de materiales granulares, son aquellas construidas de materiales excavados o de deposición industrial. Se distinguen en presas de tierra homogénea y de material graduado, en donde los componentes básicos son el núcleo impermeable, espaldones de aguas arriba y aguas abajo, filtros y drenes.

Las presas con cuerpo de enrocados, provistas de una pantalla impermeable en su cara de aguas arriba (CFRD, Concrete Face Rock Fill Dam). En general, la pantalla impermeable más utilizada es losa de hormigón. Las presas de hormigón son presas construidas de hormigón armado o sin armar. Las presas de RCC (Roll Compacted Concrete), son

presas construidas con un hormigón de bajo contenido de cemento Portland y bajo contenido de agua, de modo que no presenta asentamiento y se compacta con rodillos vibratorios.

De acuerdo a lo anterior, se identificó el tipo de presa, según la siguiente clasificación:

- Presa de tierra homogénea
- Presa de material granular graduado
- Presa de enrocados (CFRD)
- Presa de hormigón (gravedad, contrafuerte, arco)
- Presa de RCC
- Otros tipos (relaves, de tierra con núcleo de arcilla, etc.)

4.2.5. Geometría de la Presa

En aquellos casos de cuerpos prismáticos interesa definir de la mejor manera posible la geometría del muro. Para ello se midieron con huincha la longitud y ancho del coronamiento y la revancha mínima en relación a la cota máxima de aguas conocida. Sobre el talud de aguas abajo, se realizaron mediciones del desarrollo (con distanciómetro de precisión), desde el borde del coronamiento hasta el eje del cauce en su punto más bajo.

Con eclímetro y distanciómetro se midió la inclinación del talud de aguas arriba y el talud de aguas abajo. En aquellos casos de cuerpos de paramentos verticales, se midió directamente la altura con huincha.

De esta manera con relaciones trigonométricas se pudo caracterizar la geometría completa de la estructura.

4.2.6. Estimación Capacidad Máxima del Embalse

Para definir el tamaño del embalse, se requirió la siguiente información:

- Altura máxima del muro (definida por relaciones trigonométricas en caso de no poder medir directamente)
- Profundidad máxima de agua en sector del muro
- Área estimada o calculada de la poza (con google earth)
- Ancho máximo de la poza (con distanciómetro)
- Largo de la poza (con distanciómetro)
- Volumen declarado o proyectado

4.2.7. Características del Muro, Estado y Calidad de Construcción

Se determinaron las características de los materiales de construcción del muro con el fin de caracterizar el material en cuanto a su granulometría y su plasticidad.

Para ello, se efectuó una inspección visual de los materiales, y en algunos de los embalses se llevó a cabo un trabajo de mecánica de suelos a través de la construcción de calicatas.

El criterio que se usó para escoger los embalses fue que fueran representativos de los materiales de los embalses cercanos, de modo de poder validar los parámetros que se usaron en el cálculo de la estabilidad; otro criterio fue que fueran embalses que permitieran el ingreso para hacer las calicatas. Los embalses seleccionados fueron los siguientes:

V Región de Valparaíso:

- Los Leones de Limache
- Lo Orozco
- Santa Rosa de Limache

Región Metropolitana

- Loica
- Chada

VII Región del Maule

- Las Mercedes
- El Cerrillo

Otros de los temas relacionados con la caracterización del muro tienen relación con el estado del muro y la calidad de construcción. Para ello se realizó un recorrido a lo largo de la presa, con el objetivo de definir y caracterizar cualquier aspecto relevante que permita formarse una opinión respecto a la compacidad del material constituyente, a la uniformidad de la geometría de construcción y a cualquier anomalía producida por causa de fuerzas externas o internas, tales como grietas, socavones, etc.

Se dio preferencia a visualizar lo siguiente:

- Regularidad de la geometría actual
- Compacidad del material estructural
- Uniformidad de los taludes
- Depresiones visibles y cuantificables a lo largo del coronamiento
- Grietas visibles y su ubicación
- Indicios de deslizamientos y ubicación
- Sectores que se presentan saturados y altura de saturación en relación al coronamiento
- Filtraciones visibles en talud de aguas abajo en el pie

4.2.8. Características Obras Evacuador de Crecidas

El vertedero es una estructura hidráulica destinada a permitir el pase, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales, el cual tiene por finalidad garantizar la seguridad de la estructura hidráulica, al no permitir la elevación del nivel, aguas arriba, por encima del nivel máximo.

Se definieron las características de la obra de evacuación de crecidas, su estructuración y material constructivo y su capacidad máxima de porteo. En el caso de no existir planos de diseño se dibujó en las fichas de catastro un croquis con las dimensiones medidas en terreno.

En las presas con vertederos controlados por compuertas se verificó el estado de la maniobrabilidad analizando los sistemas de accionamiento de éstas.

Los vertederos se clasifican en varias formas:

- Por su localización en relación a la estructura principal:
 - Vertederos frontales
 - Vertederos laterales
 - Vertederos de campana o tulipa; el cual se sitúa fuera de la presa y la descarga puede estar fuera del cauce aguas abajo
- Desde el punto de vista de los instrumentos para el control del caudal vertido:
 - Vertederos libres, sin control
 - Vertederos controlados por compuertas
- Desde el punto de vista de la pared donde se produce el vertimiento:
 - Vertedero de pared delgada
 - Vertedero de pared gruesa

- Vertedero con perfil hidráulico
- Desde el punto de vista de la sección por la cual se da el vertimiento:
 - Rectangulares
 - Trapezoidales
 - Triangulares
 - Circulares

Los datos descritos en las fichas de catastro son:

- Tipo de vertedero
- Material constructivo
- Estado de conservación y operatividad
- Dimensiones relevantes (ancho, altura y carga máxima de operación)
- Fotografías

4.2.9. Características Obras de Entrega y Desagüe de Fondo

La obra de entrega corresponde a la estructura que entrega las aguas a riego o directamente al cauce.

La obra de descarga de fondo o desagüe es una estructura hidráulica cuya función principal es permitir el vaciado del embalse para efectuar operaciones de mantenimiento en la presa y reducir el volumen de material sólido depositado en proximidad de la presa. Dado que el agua sale de la presa con una presión considerable, si el flujo no es controlado adecuadamente puede provocar erosiones localizadas peligrosas para la estabilidad de la presa misma.

Respecto a estos temas se determinó el tipo de estructura y su funcionamiento actual en los casos de ser ello posible.

En la mayoría de los casos, las obras de entrega coinciden con la obra de desagüe.

4.2.10. Caracterización del Cauce y Uso del Suelo Aguas Abajo

Interesa caracterizar el valle aguas abajo de la presa, tanto desde el punto de vista del cauce de descarga, como del uso del suelo, cercanía de sitios habitados, densidad de población y existencia y cercanía de infraestructura. El objetivo de estos datos fue analizar el potencial riesgo

de las personas o instalaciones ante una falla o ruptura de la presa.

Los datos fueron los siguientes:

- Tipo de cauce natural o artificial aguas abajo del embalse, tipo de terreno, pendiente media y ancho medio del cauce
- Distancia hacia centros poblados medidos por el cauce
- Distancia desde centros poblados perpendicular al cauce
- Densidad de población en las cercanías del embalse
- Distancia hacia zonas agrícolas
- Distancia hacia sectores con infraestructura vial u otra de importancia
- Área de riego servida por el embalse analizado

Con relación al punto "densidad de población en las cercanías del embalse", se utilizó el siguiente criterio:

- Conjunto de viviendas concentradas entre 1.000 y 2.000 habitantes: **ALTA DENSIDAD**
- Asentamiento humano concentrado con una población que fluctúa entre 300 y menos de 1.000 habitantes: **DENSIDAD MEDIA**
- Asentamiento humano con nombre propio que posee 3 viviendas o más cercanas entre sí, con menos de 300 habitantes y que no forma parte de otra entidad: **DENSIDAD BAJA**

4.2.11. Monografías

Se efectuaron croquis a mano alzada de las principales obras de cada embalse, en el que se muestra principalmente:

- Planta del muro (forma y dimensiones)
- Sección transversal del muro, indicando sus taludes respecto a la horizontal.
- Croquis de la obra de evacuación y dimensiones.
- Otros aspectos de importancia.

4.2.12. Observaciones

Dentro de las fichas de catastro se agregaron observaciones respecto de cualquier otro dato de importancia con relación al embalse, que no haya sido incluido en las fichas.

5. ESTUDIO DE CRECIDAS

5.1. Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo determinar los caudales máximos instantáneos afluentes a los embalses en estudio, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 250, 500 y 1.000 años. Debido a que las cuencas asociadas a cada embalse no poseen control fluviométrico, para determinar sus caudales de crecida, se usaron métodos indirectos basados en relaciones precipitación-escorrentía.

Para determinar los caudales de crecidas pluviales se utilizan 3 métodos:

- Fórmula Racional Modificada
- Fórmula de Verni King Modificada
- Método DGA-AC

En aquellos embalses en que la cuenca aportante tenga una superficie de importancia (por ejemplo cuencas cuya área aportante pluvial sea mayor a 10 km²), se contempló además la determinación de los caudales máximos con el método del Hidrograma Unitario Sintético (HUS).

En caso de existir área nival, se evaluó adicionalmente el método DGA-AC para crecidas nivales (deshielo).

Cabe señalar finalmente que las estimaciones para períodos de retorno 250, 500 y 1.000 años han sido extrapoladas a través de un ajuste logarítmico.

5.2. Recopilación de Antecedentes

Para la elaboración del presente estudio se consultaron los siguientes antecedentes:

1. **Ref. 1** *Precipitación Máxima en 1, 2 y 3 Días*. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1991.
2. **Ref. 2** *Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País. Caudales Máximos y Mínimos*. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1995.
3. **Ref. 3** *Hidrología Aplicada*. Ven Te Chow – David Maidment – Larry Mays, McGraw-Hill, 1994.

4. **Ref. 4** *Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información Fluviométrica*. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 1995.
5. **Ref. 5** *Manual de Carreteras. Volumen 2 y 3*. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas, 2001.
6. **Ref. 6** *Cartografía del Instituto Geográfico Militar (IGM) escala 1:50.000*.
7. **Ref. 7** *Modelo de Elevación Digital (Aster GDEM 1,5 arc seg)*, <http://asterweb.jpl.nasa.gov>, NASA.
8. **Ref. 8** *Linsley, Kohler, Paulhus. Hydrology for Engineers. New York, McGraw-Hill, 1982*.

5.3. Períodos de Retorno Según Tipo de Obra

En el análisis de los caudales de crecidas de los embalses en función de la categoría de la obras, se consideran los siguientes períodos de retorno para la definición del caudal de diseño.

CUADRO 5.3-1
CATEGORÍA DE EMBALSES Y PERÍODOS DE RETORNO
PARA ANÁLISIS DE CRECIDAS

CATEGORÍA ¹	DESCRIPCIÓN	Períodos de Retorno T (años)
Categoría A	Embalses Pequeños, de altura de muro máxima mayor a 5 m e inferior a 12 m, o bien de capacidad superior a 50.000 m ³ e inferior a 1.500.000 m ³ .	250
Categoría B	Embalses Medianos, de altura de muro máxima mayor o igual a 12 m e inferior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 1.500.000 m ³ e inferior a 60.000.000 m ³ .	500
Categoría C	Embalses Grandes, de altura máxima de muro igual o superior a 30 m, o bien de capacidad igual o superior a 60.000.000 m ³ .	1.000

Para embalses de altura de muro menor a 5 m, se usa una crecida de diseño de T= 250 años.

¹De acuerdo con el Reglamento de Obras Mayores, el cual al día de hoy no está aprobado pero que se puede usar como una norma referencial.

5.4. Metodología

En lo que sigue se presenta de manera resumida los métodos de cálculo utilizados en la determinación de los caudales de crecida, sin embargo, el detalle y la nomenclatura de los términos se presenta en extenso en la Ref. 4 y Ref. 5.

5.4.1. Determinación de las Precipitaciones Máximas para Diferentes Períodos de Retorno

Para determinar las precipitaciones máximas en 24 horas se siguió la metodología propuesta en el estudio Ref. 1. Primero, se determinó la precipitación máxima en 1 día para período de retorno 10 años mediante las isoyetas del mencionado estudio; luego, se ponderó esta precipitación por los coeficientes de frecuencia adecuados, para obtener las precipitaciones para otros períodos de retorno usando la expresión que sigue:

$$P_{24}^T = 1,1 \cdot CF_T \cdot P_{24}^{T=10}$$

Donde:

P_{24}^T : Precipitación en 24 horas y período de retorno T años.
 CF_T : Coeficiente de frecuencia de un período T años.
 $P_{24}^{T=10}$: Precipitación máxima en 24 horas y período de retorno 10 años, obtenida del plano de isoyetas.

Para determinar precipitaciones máximas de duraciones menores a 24 horas se emplea la siguiente expresión:

$$P_t^T = 1,1 \cdot CD_t \cdot CF_T \cdot P_{24}^{T=10}$$

Donde:

P_t^T : Precipitación máxima en t horas y período de retorno T años.
 $P_{24}^{T=10}$: Precipitación máxima en 24 horas y período de retorno 10 años, obtenida del plano de isoyetas.
 CD_t : Coeficiente de Duración para t horas (entre 1 y 24 horas)
 CF^T : Coeficiente de frecuencia de un período T años.

El factor 1,1 de las ecuaciones anteriores, se incorporó debido a que las precipitaciones en las estaciones pluviométricas se miden a las 8 AM y no reflejan necesariamente las condiciones de precipitación máxima en 24 horas, según el trabajo "Hidrología e Hidráulica de Estructuras Viales, Curso de Capacitación para la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Facultades de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1989".

El coeficiente de frecuencia se estimó utilizando la recomendación indicada en Ref. 4. Para el caso de las cuencas en análisis, el estudio dividió los coeficientes en zonas homogéneas a nivel regional, las cuales se detallan a continuación.

**CUADRO 5.4-1
COEFICIENTES DE FRECUENCIA SEGÚN ZONA HOMOGÉNEA**

Zona Homogénea	Nombre Zona	T (años)					
		2	5	10	20	50	100
V.1	Río Petorca	0,553	0,816	1,000	1,184	1,431	1,625
V.2	Río La Ligua	0,628	0,865	1,000	1,116	1,248	1,337
V.3	Precordillera	0,609	0,843	1,000	1,153	1,354	1,507
V.4	Valle Aconcagua Interior	0,555	0,817	1,000	1,181	1,425	1,614
V.5	Valle del Maipo	0,553	0,816	1,000	1,184	1,431	1,625
V.6	Litoral	0,577	0,829	1,000	1,166	1,387	1,555
VI.1	Río Coya	0,639	0,857	1,000	1,136	1,313	1,446
VI.2	Río Cachapoal	0,644	0,859	1,000	1,133	1,305	1,434
VI.3	Estero Nilahue	0,613	0,845	1,000	1,150	1,346	1,495
VII.1	Región del Maule	0,624	0,850	1,000	1,144	1,331	1,475
VII.2	Maule Medio - Melado	0,638	0,859	1,000	1,132	1,299	1,423
VIII.1	Itata	0,654	0,864	1,000	1,128	1,293	1,417
VIII.2	Biobío	0,692	0,880	1,000	1,111	1,248	1,354
IX.1	Araucanía Central	0,672	0,872	1,000	1,120	1,273	1,388
IX.2	Zona Oriental	0,710	0,889	1,000	1,104	1,231	1,326

Por su parte, los coeficientes de duración se extrajeron en base a la información contenida en el estudio de la Ref. 5. Dichos coeficientes se presentan en el cuadro a continuación.

**CUADRO 5.4-2
COEFICIENTES DE DURACIÓN**

Estación Pluviográfica	Región	Duración (horas)									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Quillota	V	0,13	0,23	0,38	0,50	0,58	0,67	0,75	0,80	0,88	1,00
Lago Peñuelas	V	0,12	0,21	0,37	0,49	0,60	0,68	0,76	0,82	0,92	1,00
Rungue	RM	0,09	0,18	0,31	0,44	0,53	0,62	0,69	0,73	0,84	1,00
Los Panguiles	RM	0,16	0,27	0,41	0,55	0,66	0,78	0,83	0,86	0,90	1,00
Santiago-Q.Normal	RM	0,14	0,23	0,38	0,51	0,63	0,70	0,77	0,82	0,90	1,00
Santiago-San Joaquín	RM	0,15	0,24	0,38	0,51	0,60	0,69	0,70	0,80	0,91	1,00
Pirque	RM	0,11	0,17	0,30	0,40	0,49	0,57	0,63	0,69	0,82	1,00
Melipilla	RM	0,12	0,21	0,35	0,47	0,55	0,63	0,68	0,75	0,88	1,00
Curicó	VII	0,15	0,22	0,35	0,45	0,54	0,63	0,71	0,79	0,89	1,00
Armerillo	VII	0,08	0,15	0,26	0,37	0,47	0,56	0,64	0,70	0,83	1,00
Colbún en Los Colorados	VII	0,12	0,19	0,29	0,41	0,52	0,59	0,68	0,73	0,83	1,00
Temuco	IX	0,21	0,32	0,50	0,59	0,67	0,73	0,79	0,84	0,91	1,00

Cuando interesa estimar la precipitación para períodos o duraciones menores a una hora, se utilizan los factores de duración determinados por Bell.

**CUADRO 5.4-3
FACTORES DE DURACIÓN**

Duración (minutos)	Factor de Duración Bell
5	0,29
10	0,45
15	0,57
20	0,64
30	0,79
40	0,85
50	0,94
60	1,00

La intensidad de la precipitación corresponde a la razón entre la precipitación durante un determinado período y dicho período. Para su cálculo se utiliza la expresión siguiente:

$$I_t^T = \frac{P_t^T}{t}$$

Donde:

P_t^T : Precipitación máxima en t horas y período de retorno T años.
t : Período de tiempo de t horas.

5.4.2. Determinación de Caudales mediante la Fórmula Racional Modificada

En este método el caudal máximo es proporcional a la lluvia de diseño y al tamaño de la cuenca pluvial. Su aplicación es de amplio uso en cuencas urbanas y rurales pequeñas. La gran ventaja de este método es su simplicidad, lo que se traduce en que el resultado es fácilmente controlado en función de variables observables, lo que permite su uso como método de comparación. El caudal máximo se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$Q(T) = \frac{C(T) \cdot I_{tc}^T \cdot Ap}{3,6}$$

Donde:

Q(T) : Caudal en (m³/s).
C(T) : Coeficiente de Escorrentía.
 I_{tc}^T : Intensidad de la precipitación (mm/hr).
Ap : Área pluvial (km²).

La intensidad de la precipitación está asociada al periodo de retorno T y a una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca pluvial.

Por otra parte, el coeficiente de escorrentía a utilizar dependerá del periodo de retorno T y de la ubicación geográfica de cada cuenca. Para el caso en estudio, las hoyas se ubican en la V, RM, VII y IX región. Para las citadas regiones, el estudio de Ref. 4. establece los siguientes coeficientes:

CUADRO 5.4-4
COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA PARA T=10 AÑOS.

C(T=10) Fórmula Racional Modificada	
Región	
V	0,080
VII	0,390
IX	0,280

Los coeficientes presentados en el cuadro anterior corresponden a factores válidos para un periodo de retorno de 10 años, para otros periodos de retorno se deben ponderar por los coeficientes empíricos (C(T)/C(10)), indicados en el cuadro siguiente:

**CUADRO 5.5-5
COEFICIENTES DE FÓRMULAS EMPÍRICAS.**

T Años	C(T) / C(10)		
	V	VII	IX
2	0,38	0,86	1,03
5	0,84	0,95	1,02
10	1,00	1,00	1,00
20	1,15	1,00	0,98
25	1,22	1,00	0,98
50	1,38	1,00	0,97
100	1,59	1,04	0,93

De este modo, el caudal instantáneo máximo asociado a un periodo de retorno T va a estar dado por:

$$Q(T) = C(10) \cdot \frac{C(T)}{C(10)} \cdot \frac{P_{tc}^T}{tc} \cdot \frac{Ap}{3,6}$$

5.4.3. **Determinación de Caudales mediante la Relación de Verni y King Modificada**

La relación de Verni y King modificada permite determinar los caudales de crecidas sobre la base de la precipitación que cae sobre la cuenca y el área pluvial aportante a ella, mediante la siguiente expresión:

$$Q(T) = C(T) \cdot 0,00618 \cdot (P_{24}^T)^{1,24} \cdot (Ap)^{0,88}$$

Donde:

- C(T) : Coeficiente empírico para diferentes periodos de retorno.
- P_{24}^T : Precipitación máxima en 24 horas y período de retorno T años.
- Ap : Área pluvial (km²).

El coeficiente empírico se obtuvo de las recomendaciones de la Ref.4, obteniéndose los valores indicados en el cuadro siguiente:

CUADRO 5.5-6
COEFICIENTES DE FÓRMULAS EMPÍRICAS PARA T=10 AÑOS.

C(T=10) Verni - King Modificada	
Región	
V	0,29
VII	0,71
IX	0,89

Para determinar el coeficiente para otros periodos de retorno se utiliza el factor de frecuencia $C(T)/C(10)$, cuyos valores son similares al caso del método racional presentado en Cuadro 1.3-5.

Finalmente la expresión de la fórmula de Verni-King Modificada, queda de la siguiente manera:

$$Q(T) = C(10) \cdot \frac{C(T)}{C(10)} \cdot 0,00618 \cdot (P_{24}^T)^{1,24} \cdot (Ap)^{0,88}$$

5.4.4. Método DGA – AC

Este método corresponde a un análisis regional basado en series de caudales máximos anuales generadas a partir de información de caudales máximos medios diarios y caudales máximos instantáneos de periodo pluvial de 234 estaciones con control fluviométrico.

Para aplicar este método se debe identificar la región donde se encuentra la cuenca en estudio, para la cual se va a tener una relación que permite obtener el caudal medio diario máximo con período de retorno de 10 años (Q_{10}). Luego, de acuerdo a la zona homogénea se van a derivar los coeficientes de frecuencia asociados a los periodos de retorno. Además, se debe aplicar un coeficiente que permita transformar Q_{10} en caudal máximo instantáneo.

Tanto la relación que especifica Q_{10} , como los coeficientes de frecuencia (relativos a la zona homogénea) y los factores de conversión para pasar a caudal máximo instantáneo, son los propuestos en la Ref. 4.

Las relaciones correspondientes a las regiones de interés, para la evaluación del caudal medio diario máximo (Q_{10}) están dadas por:

$$Q_{10} = 5,42 \cdot 10^{-8} \cdot (Ap)^{0,915} \cdot (P_{24}^{T=10})^{3,432} \text{ (Válido para las regiones V – RM)}$$

$$Q_{10} = 2,00 \cdot 10^{-3} \cdot (Ap)^{0,973} \cdot (P_{24}^{T=10})^{1,224} \text{ (Válido para las regiones VII - IX)}$$

Donde:

Q_{10} : Caudal medio diario máximo con periodo de retorno de 10 años (m^3/s).

Ap : Área Pluvial de la cuenca (km^2).

$P_{24}^{T=10}$: Precipitación diaria máxima de periodo de retorno 10 años (mm).

Los coeficientes de frecuencia correspondientes a las zonas en estudio se presentan en los cuadros siguientes, para la obtención de resultados se consultó la frecuencia media $Q(T)/Q(10)$.

CUADRO 5.4-7
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA LP PLUVIAL - LOG NORMAL - LATITUD 32° A 35°

Zona	T Años	Q(T)/Q(10)			α
		Media	Máx.	Mín.	
Lp	2	0,16	0,18	0,13	1,67
Lp	5	0,52	0,55	0,50	1,67
Lp	10	1,00	1,00	1,00	1,67
Lp	20	1,69	1,78	1,61	1,67
Lp	25	1,97	2,10	1,85	1,67
Lp	50	3,08	3,39	2,77	1,67
Lp	100	4,59	5,21	3,97	1,67

CUADRO 5.4-8
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA MP PLUVIAL - LOG NORMAL - LATITUD 32° A 35°

Zona	T Años	Q(T)/Q(10)			α
		Media	Máx.	Mín.	
Mp	2	0,43	0,51	0,27	1,48
Mp	5	0,74	0,80	0,64	1,48
Mp	10	1,00	1,00	1,00	1,48
Mp	20	1,28	1,45	1,21	1,48
Mp	25	1,38	1,61	1,28	1,48
Mp	50	1,71	2,19	1,49	1,48
Mp	100	2,08	2,90	1,72	1,48

CUADRO 5.4-9
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA NP PLUVIAL - LOG NORMAL - LATITUD 32° A
35°

Zona	T	Q(T)/Q(10)			α
	Años	Media	Máx.	Mín.	
Np	2	0,18	0,20	0,16	1,87
Np	5	0,56	0,57	0,54	1,87
Np	10	1,00	1,00	1,00	1,87
Np	20	1,61	1,67	1,59	1,87
Np	25	1,86	1,94	1,81	1,87
Np	50	2,77	2,98	2,66	1,87
Np	100	3,97	4,38	3,76	1,87

CUADRO 5.4-10
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA OP PLUVIAL - LOG NORMAL - LATITUD 32° A
35°

Zona	T	Q(T)/Q(10)			α
	años	Media	Máx.	Mín.	
Op	2	0,30	0,46	0,21	1,76
Op	5	0,64	0,72	0,59	1,76
Op	10	1,00	1,00	1,00	1,76
Op	20	1,48	1,55	1,39	1,76
Op	25	1,67	1,76	1,55	1,76
Op	50	2,35	2,53	2,16	1,76
Op	100	3,24	3,51	3,00	1,76

CUADRO 5.4-11
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA PP PLUVIAL - LOG NORMAL - LATITUD 32° A
35°

Zona	T	Q(T)/Q(10)			α
	años	Media	Máx.	Mín.	
Pp	2	0,42	0,57	0,31	1,43
Pp	5	0,74	0,82	0,67	1,43
Pp	10	1,00	1,00	1,00	1,43
Pp	20	1,29	1,40	1,17	1,43
Pp	25	1,39	1,54	1,23	1,43
Pp	50	1,72	2,04	1,40	1,43
Pp	100	2,10	2,62	1,58	1,43

**CUADRO 5.4-12
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA QP PLUVIAL - GUMBEL – C. MATAQUITO**

Zona	T	Q(T)/Q(10)			α
	años	Media	Máx.	Mín.	
Qp	2	0,50	0,63	0,43	1,51
Qp	5	0,80	0,85	0,77	1,51
Qp	10	1,00	1,00	1,00	1,51
Qp	20	1,19	1,22	1,14	1,51
Qp	25	1,25	1,28	1,18	1,51
Qp	50	1,43	1,50	1,32	1,51
Qp	100	1,62	1,71	1,46	1,51

**CUADRO 5.4-13
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA RP PLUVIAL - GUMBEL – C. MAULE**

Zona	T	Q(T)/Q(10)			α
	años	Media	Máx.	Mín.	
Rp	2	0,49	0,52	0,44	1,45
Rp	5	0,80	0,81	0,78	1,45
Rp	10	1,00	1,00	1,00	1,45
Rp	20	1,19	1,21	1,19	1,45
Rp	25	1,26	1,28	1,24	1,45
Rp	50	1,45	1,49	1,42	1,45
Rp	100	1,64	1,70	1,60	1,45

**CUADRO 5.4-14
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA TP PLUVIAL - GUMBEL – C. BIO BIO**

Zona	T	Q(T)/Q(10)			α
	años	Media	Máx.	Mín.	
Tp	2	0,60	0,65	0,52	1,28
Tp	5	0,84	0,86	0,81	1,28
Tp	10	1,00	1,00	1,00	1,28
Tp	20	1,15	1,18	1,13	1,28
Tp	25	1,20	1,24	1,18	1,28
Tp	50	1,35	1,42	1,31	1,28
Tp	100	1,50	1,60	1,44	1,28

CUADRO 5.4-15
COEFICIENTES DE FRECUENCIA REGIONAL
ZONA HOMOGÉNEA VP PLUVIAL - GUMBEL – C. IMPERIAL

Zona	T años	Q(T)/Q(10)			α
		Media	Máx.	Mín.	
Vp	2	0,59	0,65	0,49	1,16
Vp	5	0,84	0,86	0,80	1,16
Vp	10	1,00	1,00	1,00	1,16
Vp	20	1,16	1,20	1,13	1,16
Vp	25	1,21	1,26	1,18	1,16
Vp	50	1,36	1,45	1,31	1,16
Vp	100	1,51	1,64	1,44	1,16

De este modo el caudal instantáneo máximo para los distintos periodos de retorno va a estar dado por la siguiente expresión:

$$Q(T) = \alpha \cdot \frac{Q(T)_{(media)}}{Q(10)} \cdot Q10$$

5.4.5. Método del Hidrograma Unitario Sintético

Para la aplicación de este método es necesario conocer ciertos parámetros como lo son el tiempo al peak (T_p), tiempo base (T_b), tiempo unitario (T_u) y caudal peak (Q_p). Se utilizarán las expresiones y metodología que se indica en el estudio de Ref.4. De acuerdo con las relaciones de Linsley, (Ref. 8) para las regiones en donde se encuentran las cuencas, los parámetros están dados por las siguientes ecuaciones:

➤ Zona I: Válidas para las Regiones III a VI.

$$T_p = 0,323 \cdot (L \cdot L_g / s^{0,5})^{0,422}$$

$$T_b = 5,377 \cdot T_p^{0,805}$$

$$Q_p = 144,141 \cdot T_p^{-0,796}$$

$$T_u = T_p / 5,5$$

- Zona II: Válida para la VII Región.

$$T_p = 0,584 \cdot (L \cdot L_g / s^{0,5})^{0,327}$$

$$T_b = 1,822 \cdot T_p^{1,412}$$

$$Q_p = 522,514 \cdot T_p^{-1,511}$$

$$T_u = T_p / 5,5$$

- Zona III: Válidas para las Regiones VIII a X.

$$T_p = 1,351 \cdot (L \cdot L_g / s^{0,5})^{0,237}$$

$$T_b = 5,428 \cdot T_p^{0,717}$$

$$Q_p = 172,775 \cdot T_p^{-0,835}$$

$$T_u = T_p / 5,5$$

Donde:

L : Longitud del cauce principal (km).

L_g : Longitud al centro de gravedad de la cuenca medido a lo largo del cauce (km).

S : Pendiente media de la cuenca (°/1).

Para estimar la forma completa del hidrograma, se utilizarán coeficientes de distribución señalados en el Cuadro 5.4-16, los cuales expresan la razón entre el caudal en cualquier instante y el máximo en función de la razón entre el tiempo considerado y el tiempo de retraso.

CUADRO 5.4-16
COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN PARA EL
HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO

t/tp	q/qp	t/tp	q/qp
0,00	0,0	1,30	0,8
0,30	0,2	1,50	0,6
0,50	0,4	1,80	0,4
0,60	0,6	2,30	0,2
0,75	0,8	2,70	0,1
1,00	1,0		

Una vez determinado el hidrograma unitario, el escurrimiento proveniente de cualquier tormenta de duración igual a la correspondiente al hidrograma (T_u), se obtiene amplificando las ordenadas del hidrograma por el valor de la precipitación efectiva.

Para determinar el hietograma efectivo de la lluvia de diseño, se debe restar la infiltración, para lo cual se utiliza el método de la curva número, que depende de las características de los suelos de la cuenca afluente al punto de interés.

Para estimar el valor de la curva número y el monto de precipitación efectiva, se utilizaron las expresiones indicadas en Ref. 4, las que se detallan a continuación:

$$CN = 11,9 + 73,7 \cdot \text{Log}(\text{Lat} - 25) \quad (\text{Tendencia Media Superior})$$

$$CN = 29,9 + 73,7 \cdot \text{Log}(\text{Lat} - 25) \quad (\text{Envolvente Superior})$$

$$CN = \frac{25.400}{254+S}$$

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)}$$

Donde:

CN : Valor de la curva número.

Lat : Latitud del centro de gravedad de la cuenca, en grados (°).

S : Retención potencial máxima, en (mm).

P_{ef} : Precipitación efectiva, en (mm).

5.4.6. **Tiempo de Concentración (tc)**

Para estimar el tiempo de concentración (tc) se consideraron las siguientes expresiones:

- La fórmula del California Division of Highways and Public Works:

$$tc = 0,95 \cdot (L^3 / H)^{0,385}$$

- La fórmula de Kirpich:

$$tc = 0.000325 \cdot \frac{(L \cdot 1000)^{0.77}}{S^{0.385}}$$

- La fórmula de las Normas Españolas:

$$tc = 0,3 \cdot L^{0,76} / S^{0,19}$$

Donde:

L : Longitud del cauce principal (km).

S : Pendiente media (m/m).

H : Diferencia de nivel total entre cotas extremas de la cuenca (m).

5.4.7. **Método DGA-AC para Crecidas de Deshielo**

El método denominado DGA-AC para crecidas de deshielo, corresponde a un análisis regional de crecidas del periodo de deshielo, desarrollado en base a los análisis de frecuencias efectuado a las series de excedencia para el periodo nival de caudales medios diarios máximos y caudales instantáneos máximos, correspondientes a 234 estaciones de control existente en el país.

En primer lugar se debe ubicar la zona homogénea a la cual pertenece la cuenca en análisis. En el caso de las cuencas en estudio que presentan superficies nivales, estas se encuentran emplazadas en la zona homogénea Wn para latitudes entre los 33°15' y 35°00', cuya curva de frecuencia regional nival se detalla en el cuadro a continuación.

CUADRO 5.4-17
CURVA DE FRECUENCIA REGIONAL ZONA HOMOGÉNEA NIVAL
“WN”

Zona	T	Q(T)/Q(10)			β
		media	máx.	mín.	
Wn	2	0,65	0,77	0,57	1,18
Wn	5	0,87	0,92	0,83	1,18
Wn	10	1,00	1,00	1,00	1,18
Wn	20	1,12	1,15	1,07	1,18
Wn	25	1,16	1,20	1,10	1,18
Wn	50	1,27	1,35	1,16	1,18
Wn	100	1,36	1,47	1,21	1,18

Para estimar el valor del caudal medio diario asociado al periodo de retorno 10 años se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{10} = 1,81 \cdot 10^{-4} \cdot An \cdot (\text{Lat} - 26,2)^{3,392}$$

Donde :

Q_{10} : Caudal medio diario con periodo de retorno 10 años (m^3/s).

An : Área Nival de la cuenca (km^2).

Lat : Latitud media de la cuenca, en grados ($^{\circ}$).

Se consultó la frecuencia media $Q(T)/Q(10)$, finalmente la expresión queda de la siguiente forma:

$$Q(T) = \beta \cdot \frac{Q(T)_{(med)}}{Q(10)} \cdot Q10$$

En donde $Q(T)$, corresponde al caudal instantáneo máximo según el periodo de retorno T.

5.4.8. Líneas de Nieve

Para calcular el área aportante pluvial es necesario definir en primer lugar la ubicación de la línea de nieves, entendiendo que en este caso corresponde a la cota promedio durante eventos de tormentas, donde se produce la interfase lluvia-nieve.

Por otra parte la línea de nieves que define el área nival de una cuenca, también presenta variaciones temporales durante el año hidrológico, por lo que se hace necesario definir una línea de nieves promedio.

En este sentido se recurre a la Ref.4. Según las recomendaciones señaladas en el acápite 2.5 de ese manual, las líneas de nieve promedio para la zona en estudio, son las que se indican en el cuadro siguiente:

CUADRO 5.4-18
LINEA DE NIEVES PROMEDIO
(Tabla 2.1 de la Ref. 4)

Lat (°)	Peña-Vidal H (m.s.n.m)	Escobar-Vidal H (m.s.n.m)
33.0	1940	
33.5	1870	
34.0	1780	
34.5	1640	
35.0	1470	1980
35.5	1300	1820
36.0	1150	1680
36.5	1000	1510
37.0	920	1420
37.5	880	1390
38.0	850	1360

En lo referente a cálculo de crecidas, los valores obtenidos por Peña y Vidal están recomendados para definir área nival, por su parte los valores de Escobar y Vidal se utilizan para definir el área pluvial.

5.5. Antecedentes de las Cuencas en Estudio

Para la utilización de los modelos precipitación–escorrentía se requiere del conocimiento de algunos parámetros asociados a las cuencas, entre ellos destacan: el área pluvial (A_p), área nival (A_n), el tiempo de concentración (t_c), ubicación regional y la precipitación máxima en 24 hrs sobre la cuenca.

5.5.1. Ubicación

Los embalses se encuentran ubicados en diversas zonas de la V, RM, VII y IX regiones, el detalle de la ubicación (coordenadas WGS 1984) de cada una de ellos se puede consultar en el punto 2 del informe.

5.5.2. Área Pluvial y Nival de las Cuencas

El área de precipitación líquida, y que por lo tanto aporta a la escorrentía directa, fueron determinadas con base en los antecedentes cartográficos y las líneas de nieve del Cuadro 5.4-18. En los Cuadros 5.5-1 al 5.5-4 se presentan las superficies pluviales aportantes a los embalses.

En el caso del área nival, sólo las cuencas 1 y 11 de la Región Metropolitana cuentan con superficies significativas sobre la cota de la línea de nieves. En el caso del resto de las cuencas el porcentaje de área nival es nulo o despreciable. En el Cuadro 5.5-5 se presentan las superficies nivales aportantes a los embalses.

Se consideró el cálculo de crecidas de deshielo para las cuencas 1 y 11 de la Región Metropolitana (Pérez Caldera y El Yeso), mientras que para el resto de las cuencas se hicieron estimaciones tomando en cuenta sólo crecidas de origen pluvial.

**CUADRO 5.5-1
CUENCAS PLUVIALES V REGIÓN DE VALPARAÍSO**

Nº	EMBALSE	Área Pluvial (km ²)
1	Sausalito	6,55
2	San Juan	34,8
3	Lliulliu	48,9
4	Santa Rosa	0,66
5	San Jorge	0,59
6	Lo Ovalle	56,9
7	Embalse Peñuelas	91,0
8	Lo Orozco	29,3
9	La Luz	127
10	Peralito	3,24
11	Los Leones de Limache	0,81
12	El Melón	2,43
13	El Bosque	Sin cuenca aportante
14	La Laguna de Catapilco	5,93
15	Los Perales de Tapihue	53,7
16	La Gloria	1,93
17	Poza Azul	176
18	Las Palmas de Quilpué	10,5

N°	EMBALSE	Área Pluvial (km2)
19	Cachagua	7,2
20	Casas de Quilpué	1,76
21	Las Represas	15,4
22	Los Leones	12,2
23	Los Coroneles	0,43
24	El Carrizo	Sin cuenca aportante

**CUADRO 5.5-2
CUENCAS PLUVIALES REGIÓN METROPOLITANA**

N°	EMBALSE	Área Pluvial (km2)
1	Pérez Caldera	nival
2	Minera Florida	2,0
3	Carén	213,0
4	El Parrón	Sin cuenca aportante
5	La Reina	Sin cuenca aportante
6	Las Tórtolas	20,1
7	Ovejería	43,6
8	El Chilque	19,3
9	Reina Norte	Sin cuenca aportante
10	Chada	5,8
11	El Yeso	nival
12	Rungue	140,0
13	Lo Ermita	Sin cuenca aportante
14	Loica	0,81

**CUADRO 5.5-3
CUENCAS PLUVIALES VII REGION DEL MAULE**

N°	EMBALSE	Área Pluvial (km2)
1	El Cerrillo	2,1
2	Santa Cecilia	Sin cuenca aportante
3	El Maitén	Sin cuenca aportante
4	Las Mercedes	Sin cuenca aportante
5	Guaico I	Sin cuenca aportante
6	Guaico III	4,67

N°	EMBALSE	Área Pluvial (km2)
7	Corralones II	Sin cuenca aportante
8	Corralones Viejo	Sin cuenca aportante
9	La Crianza	Sin cuenca aportante
10	Huencuecho Norte I	Sin cuenca aportante
11	Huencuecho Norte II	Sin cuenca aportante
12	San Marcos	1,1
13	Santa Lucrecia	Sin cuenca aportante
14	Santa Teresa de Perquín	Sin cuenca aportante

**CUADRO 5.5-4
CUENCAS PLUVIALES IX REGION DE LA ARAUCANÍA**

N°	EMBALSE	Área Pluvial (km2)
1	El Castillo	Sin cuenca aportante
2	Huelehueico	10,4
3	Chumpirro	0,75
4	Santa Adela	5,68
5	Malalco	Sin cuenca aportante
6	Laguna Temuco	5,74
7	María Ester	Sin cuenca aportante
8	Paso Malo	1,0

**CUADRO 5.5-5
SUPERFICIES APORTANTES DE LAS CUENCAS NIVALES**

N°	EMBALSE	Área Nival (km2)
1	Pérez Caldera	77,09
11	El Yeso	348,0

5.5.3. Tiempos de Concentración

En los Cuadros 5.5-6 al 5.5-9 se presentan los tiempos de concentración según los métodos descritos. Como criterio general se adoptó un tiempo de concentración promedio entre los métodos California Highways y Kirpich, con un valor límite mínimo igual a 15 minutos (0,25 hrs). En general el método Normas Españolas presenta valores altos que fueron descartados para dar mayor seguridad a la estimación.

**CUADRO 5.5-6
TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN CUENCAS
V REGION DE VALPARAÍSO**

N°	EMBALSE	Tc (hr)			Tc (hr)
		California	Kirpich	N.Esp	Adoptado
1	Sausalito	0,69	0,69	1,80	0,69
2	San Juan	2,32	2,32	5,04	2,32
3	Lliulliu	0,97	0,97	2,86	0,97
4	Santa Rosa	0,20	0,20	0,57	0,25
5	San Jorge	0,21	0,21	0,60	0,25
6	Lo Ovalle	1,30	1,30	3,17	1,30
7	Embalse Peñuelas	3,66	3,65	6,61	3,66
8	Lo Orozco	1,13	1,13	2,89	1,13
9	La Luz	4,76	4,75	8,26	4,76
10	Peralito	0,36	0,36	1,07	0,36
11	Los Leones de Limache	0,19	0,19	0,56	0,25
12	El Melón	0,23	0,23	0,75	0,25
13	El Bosque	-	-	-	-
14	La Laguna de Catapilco	0,53	0,53	1,27	0,53
15	Los Perales de Tapihue	0,94	0,93	2,69	0,93
16	La Gloria	0,32	0,32	1,00	0,32
17	Poza Azul	2,93	2,93	6,88	2,93
18	Las Palmas de Quilpué	0,69	0,69	1,71	0,69
19	Cachagua	0,33	0,33	1,03	0,33
20	Casas de Quilpué	0,25	0,25	0,79	0,25
21	Las Represas	0,56	0,56	1,64	0,56
22	Los Leones	0,74	0,74	2,06	0,74
23	Los Coroneles	0,11	0,11	0,41	0,25
24	El Carrizo	-	-	-	-

Nota: "-" significa que no tiene cuenca aportante

**CUADRO 5.5-7
TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN CUENCAS
REGIÓN METROPOLITANA**

N°	EMBALSE	Tc (hr)			Tc (hr)
		California	Kirpich	N.Esp	Adoptado
1	Pérez Caldera	Nival			
2	Minera Florida	0,18	0,18	0,63	0,25
3	Carén	2,26	2,26	5,89	2,26
4	El Parrón	-	-	-	-
5	La Reina	-	-	-	-
6	Las Tórtolas	0,91	0,91	2,20	0,91
7	Ovejería	0,85	0,85	2,38	0,85
8	El Chilque	0,68	0,67	1,97	0,68
9	Reina Norte	-	-	-	-
10	Chada	0,47	0,47	1,47	0,47
11	El Yeso	Nival			
12	Rungue	2,40	2,39	5,83	2,40
13	Lo Ermita	-	-	-	-
14	Loica	0,23	0,23	0,65	0,25

Nota: "-" significa que no tiene cuenca aportante

**CUADRO 5.5-8
TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN
CUENCAS VII REGION DEL MAULE**

N°	EMBALSE	Tc (hr)			Tc (hr)
		California	Kirpich	N.Esp	Adoptado
1	El Cerrillo	0,24	0,24	0,71	0,25
2	Santa Cecilia	-	-	-	-
3	El Maitén	-	-	-	-
4	Las Mercedes	-	-	-	-
5	Guaico I	-	-	-	-
6	Guaico III	0,51	0,51	1,39	0,51
7	Corralones II	-	-	-	-
8	Corralones Viejo	-	-	-	-
9	La Crianza	-	-	-	-
10	Huencuecho Norte I	-	-	-	-
11	Huencuecho Norte II	-	-	-	-
12	San Marcos	0,18	0,18	0,57	0,25
13	Santa Lucrecia	-	-	-	-
14	Santa Teresa de Perquín	-	-	-	-

Nota: "-" significa que no tiene cuenca aportante

**CUADRO 5.5-9
TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN
CUENCAS IX REGION DE LA ARAUCANÍA**

N°	EMBALSE	Tc (hr)			Tc (hr)
		California	Kirpich	N.Esp	Adoptado
1	El Castillo	-	-	-	-
2	Huehueico	0,55	0,55	1,45	0,55
3	Chumpirro	0,29	0,29	0,73	0,29
4	Santa Adela	1,75	1,74	2,69	1,75
5	Malalco	-	-	-	-
6	Laguna Temuco	1,49	1,48	2,35	1,49
7	María Ester	-	-	-	-
8	Paso Malo	0,37	0,37	0,81	0,37

Nota: "-" significa que no tiene cuenca aportante

5.5.4. Precipitación Máxima

El índice a partir del cual se calculan las restantes precipitaciones máximas e intensidades es la precipitación máxima en 24 horas de período de retorno 10 años (P_{24}^T); Este se obtuvo del mapa de isoyetas de la Ref. 1, cuyos valores para los diferentes embalses se presentan en el Cuadro 5.5-10 al 5.5-13.

**CUADRO 5.5-10
PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HRS, T=10 AÑOS
V REGION DE VALPARAÍSO**

N°	EMBALSE	$P_{24}^{T=10}$ Isoyetas (mm)	Factor 8-8 AM	$P_{24}^{T=10}$ (mm)
1	Sausalito	110	1,1	121,0
2	San Juan	90	1,1	99,0
3	Lliulliu	140	1,1	154,0
4	Santa Rosa	120	1,1	132,0
5	San Jorge	120	1,1	132,0
6	Lo Ovalle	130	1,1	143,0
7	Embalse Peñuelas	140	1,1	154,0
8	Lo Orozco	140	1,1	154,0
9	La Luz	140	1,1	154,0
10	Peralito	100	1,1	110,0
11	Los Leones de Limache	125	1,1	137,5
12	El Melón	120	1,1	132,0
13	El Bosque	-	-	-
14	La Laguna de	115	1,1	126,5

N°	EMBALSE	$P_{24}^{T=10}$ Isoyetas (mm)	Factor 8-8 AM	$P_{24}^{T=10}$ (mm)
	Catapilco			
15	Los Perales de Tapihue	120	1,1	132,0
16	La Gloria	120	1,1	132,0
17	Poza Azul	140	1,1	154,0
18	Las Palmas de Quilpué	140	1,1	154,0
19	Cachagua	90	1,1	99,0
20	Casas de Quilpué	75	1,1	82,5
21	Las Represas	110	1,1	121,0
22	Los Leones	135	1,1	148,5
23	Los Coroneles	130	1,1	143,0
24	El Carrizo	-	-	-

Nota: "-" significa que no tiene cuenca aportante

**CUADRO 5.5-11
PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HRS, T=10 AÑOS
REGIÓN METROPOLITANA**

N°	EMBALSE	$P_{24}^{T=10}$ Isoyetas (mm)	Factor 8-8 AM	$P_{24}^{T=10}$ (mm)
1	Pérez Caldera	-	-	-
2	Minera Florida	120	1,1	132,0
3	Carén	120	1,1	132,0
4	El Parrón	-	-	-
5	La Reina	-	-	-
6	Las Tórtolas	70	1,1	77,0
7	Ovejería	80	1,1	88,0
8	El Chilque	110	1,1	121,0
9	Reina Norte	-	-	-
10	Chada	100	1,1	110,0
11	El Yeso	-	-	-
12	Rungue	90	1,1	99,0
13	Lo Ermita	-	-	-
14	Loica	90	1,1	99,0

Nota: "-" significa que no tiene cuenca aportante

**CUADRO 5.5-12
PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HRS, T=10 AÑOS
VII REGION DEL MAULE**

N°	EMBALSE	P ₂₄ ^{T=10} Isoyetas (mm)	Factor ₈₋₈ AM	P ₂₄ ^{T=10} (mm)
1	El Cerrillo	110	1,1	121,0
2	Santa Cecilia	-	-	-
3	El Maitén	-	-	-
4	Las Mercedes	-	-	-
5	Guaico I	-	-	-
6	Guaico III	130	1,1	143,0
7	Corralones II	-	-	-
8	Corralones Viejo	-	-	-
9	La Crianza	-	-	-
10	Huencuecho Norte I	-	-	-
11	Huencuecho Norte II	-	-	-
12	San Marcos	110	1,1	121,0
13	Santa Lucrecia	-	-	-
14	Santa Teresa de Perquín	-	-	-

Nota: "-" significa que no tiene cuenca aportante

**CUADRO 5.5-13
PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HRS, T=10 AÑOS
IX REGION DE LA ARAUCANÍA**

N°	EMBALSE	P ₂₄ ^{T=10} Isoyetas (mm)	Factor ₈₋₈ AM	P ₂₄ ^{T=10} (mm)
1	El Castillo	-	-	-
2	Huelehueico	100	1,1	110,0
3	Chumpirro	100	1,1	110,0
4	Santa Adela	60	1,1	66,0
5	Malalco	-	-	-
6	Laguna Temuco	90	1,1	99,0
7	María Ester	-	-	-
8	Paso Malo	85	1,1	93,5

Nota: "-" significa que no tiene cuenca aportante

5.6. Cálculo de Crecidas

Tal como se indicó en la metodología, se estimaron los caudales de crecida pluvial mediante los métodos DGA-AC, fórmula de Verni y King Modificada, Racional Modificado e Hidrograma Unitario Sintético. Los resultados obtenidos y los valores adoptados se presentan en los Cuadros 5.6-1 al 5.6-4.

Las estimaciones con estos métodos entregan valores disímiles, presentando diferencias importantes entre los caudales determinados; los más altos, en la mayoría de los casos, resultaron ser los caudales estimados a través del método DGA-AC.

Estas diferencias, y el mayor valor que entrega el método DGA-AC, se explica por los antecedentes usados en los estudios regionales para construir las relaciones precipitación - escorrentía. En general se usa información de cuencas controladas, con superficies considerablemente mayores a la de los embalses que son materia de este estudio, con superficies aportantes de centenas y miles de km², en contraste con las cuencas de los embales, que son mucho menores.

Por otro lado, los tiempos de concentración de las cuencas con las que se hicieron los estudios regionales son bastante más altos que los tiempos de concentración usados en el presente trabajo. Estas variables llevan a que los rendimientos específicos estimados sean considerablemente altos en algunos métodos.

Debido a lo anterior, se recomienda adoptar como criterio general, el valor promedio de los métodos evaluados.

Por su parte la estimación de los caudales de crecida nival mediante el método DGA-AC, se presenta en el Cuadro 5.6-5.

Cabe señalar finalmente que las estimaciones para períodos de retorno 250, 500 y 1.000 años han sido extrapoladas a través de un ajuste logarítmico de la forma $Q(T)=a+b*\ln(T)$, calibrando los coeficientes a y b en base a los caudales obtenidos por cada método dentro de su rango de validez, es decir, entre 2 a 100 años. En general, el modelo logarítmico se adecúa de buena forma a interpolaciones o extrapolaciones de registros fluviométricos reales (datos duros). El detalle de los cálculos de cada método se incluyen en el Anexo 3.

**CUADRO 5.6-1
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS PLUVIALES,
V REGIÓN DE VALPARAÍSO**

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
1	SAUSALITO	2	1,4	0,7	0,6	-	1,4	0,9
		5	4,5	2,3	2,0	-	4,5	2,9
		10	8,0	3,6	2,9	-	8,0	4,8
		20	12,8	5,1	3,9	-	12,8	7,3
		25	14,8	6,4	4,8	-	14,8	8,6
		50	22,0	7,7	5,7	-	22,0	11,8
		100	31,6	10,3	7,4	-	31,6	16,4
		250	34,4	11,8	8,6	-	34,4	18,3
		500	39,6	13,5	9,8	-	39,6	21,0
	1000	44,9	15,2	11,0	-	44,9	23,7	
2	SAN JUAN	2	3,3	2,3	1,7	7,5	7,5	3,7
		5	10,3	8,1	5,5	15,1	15,1	9,7
		10	18,4	12,1	7,9	20,9	20,9	14,8
		20	29,7	16,9	10,5	26,8	29,7	21,0
		25	34,3	21,0	12,7	32,7	34,3	25,2
		50	51,0	25,2	15,1	35,1	51,0	31,6
		100	73,1	33,4	19,4	41,6	73,1	41,9
		250	79,7	38,5	22,6	50,1	79,7	47,7
		500	91,8	43,9	25,7	56,3	91,8	54,4
	1000	103,9	49,3	28,8	62,4	103,9	61,1	
3	LLIULLIU	2	20,6	5,2	4,7	11,1	20,6	10,4
		5	64,2	18,5	15,3	25,4	64,2	30,9
		10	114,6	28,3	22,2	37,1	114,6	50,6
		20	184,5	40,1	30,2	49,5	184,5	76,1
		25	213,1	50,4	36,7	62,0	213,1	90,6
		50	317,4	60,7	43,7	67,1	317,4	122,2
		100	454,9	81,6	57,0	81,3	454,9	168,7
		250	495,5	93,6	66,2	98,1	495,5	188,3
		500	570,8	107,0	75,3	110,8	570,8	215,9
	1000	646,2	120,3	84,4	123,4	646,2	243,5	
4	SANTA ROSA	2	0,2	0,1	0,1	-	0,2	0,2
		5	0,7	0,3	0,4	-	0,7	0,5
		10	1,3	0,5	0,6	-	1,3	0,8
		20	2,1	0,7	0,8	-	2,1	1,2
		25	2,4	0,9	0,9	-	2,4	1,4
		50	3,6	1,1	1,1	-	3,6	2,0
		100	5,2	1,5	1,5	-	5,2	2,7

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
		250	5,7	1,8	1,7	-	5,7	3,0
		500	6,5	2,0	1,9	-	6,5	3,5
		1000	7,4	2,2	2,2	-	7,4	3,9
5	SAN JORGE	2	0,2	0,1	0,1	-	0,2	0,1
		5	0,7	0,3	0,3	-	0,7	0,4
		10	1,2	0,5	0,5	-	1,2	0,7
		20	1,9	0,7	0,7	-	1,9	1,1
		25	2,2	0,9	0,8	-	2,2	1,3
		50	3,3	1,0	1,0	-	3,3	1,8
		100	4,7	1,4	1,3	-	4,7	2,5
		250	5,1	1,6	1,5	-	5,1	2,7
		500	5,9	1,8	1,7	-	5,9	3,1
1000	6,7	2,0	1,9	-	6,7	3,6		
6	LO OVALLE	2	18,4	5,4	4,4	12,7	18,4	10,2
		5	57,2	19,3	14,2	28,2	57,2	29,7
		10	102,1	29,5	20,6	40,7	102,1	48,2
		20	164,3	41,8	28,0	54,0	164,3	72,0
		25	189,8	52,5	34,1	67,3	189,8	85,9
		50	282,7	63,3	40,6	72,7	282,7	114,8
		100	405,2	85,1	53,0	87,8	405,2	157,8
		250	441,4	97,6	61,4	105,9	441,4	176,6
		500	508,5	111,5	69,9	119,4	508,5	202,3
1000	575,6	125,3	78,3	133,0	575,6	228,0		
7	EMBALSE PEÑUELAS	2	36,4	9,0	6,1	63,3	63,3	28,7
		5	113,3	32,0	20,0	111,8	113,3	69,3
		10	202,3	49,0	29,2	147,2	202,3	106,9
		20	325,7	69,2	39,6	182,9	325,7	154,3
		25	376,2	87,1	48,2	217,7	376,2	182,3
		50	560,3	104,8	57,3	231,7	560,3	238,5
		100	803,0	141,0	74,8	269,9	803,0	322,2
		250	874,7	161,8	86,8	322,6	874,7	361,4
		500	1007,6	184,7	98,7	359,7	1007,6	412,7
1000	1140,6	207,7	110,6	396,8	1140,6	463,9		
8	LO OROZCO	2	12,9	3,3	2,5	5,3	12,9	6,0
		5	40,2	11,8	8,1	12,0	40,2	18,0
		10	71,7	18,1	11,7	17,5	71,7	29,7
		20	115,5	25,5	15,9	23,2	115,5	45,0
		25	133,4	32,1	19,4	29,0	133,4	53,5
		50	198,6	38,7	23,1	31,4	198,6	72,9
		100	284,7	52,0	30,1	38,0	284,7	101,2
250	310,1	59,7	34,9	45,8	310,1	112,6		

N°	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
		500	357,2	68,1	39,7	51,7	357,2	129,2
		1000	404,4	76,6	44,5	57,6	404,4	145,8
9	LA LUZ	2	49,4	12,0	8,0	95,8	95,8	41,3
		5	153,7	42,9	26,2	164,3	164,3	96,8
		10	274,4	65,7	38,2	213,7	274,4	148,0
		20	441,8	92,8	51,8	263,3	441,8	212,4
		25	510,4	116,7	63,1	311,4	510,4	250,4
		50	760,1	140,6	75,1	330,8	760,1	326,6
		100	1089,4	189,0	97,9	383,5	1089,4	439,9
		250	1186,6	216,9	113,6	457,3	1186,6	493,6
		500	1367,0	247,7	129,2	508,9	1367,0	563,2
		1000	1547,4	278,5	144,8	560,5	1547,4	632,8
10	PERALITO	2	0,5	0,3	0,4	-	0,5	0,4
		5	1,7	1,1	1,3	-	1,7	1,4
		10	3,0	1,7	1,9	-	3,0	2,2
		20	4,9	2,4	2,6	-	4,9	3,3
		25	5,6	3,0	3,2	-	5,6	4,0
		50	8,3	3,7	3,8	-	8,3	5,3
		100	12,0	4,9	5,0	-	12,0	7,3
		250	13,0	5,7	5,8	-	13,0	8,2
		500	15,0	6,5	6,6	-	15,0	9,4
		1000	17,0	7,3	7,4	-	17,0	10,5
11	LOS LEONES DE LIMACHE	2	0,3	0,1	0,2	-	0,3	0,2
		5	1,0	0,4	0,5	-	1,0	0,7
		10	1,8	0,7	0,7	-	1,8	1,1
		20	2,9	0,9	1,0	-	2,9	1,6
		25	3,4	1,2	1,2	-	3,4	1,9
		50	5,0	1,4	1,4	-	5,0	2,6
		100	7,2	1,9	1,9	-	7,2	3,7
		250	7,9	2,2	2,2	-	7,9	4,1
		500	9,1	2,5	2,5	-	9,1	4,7
		1000	10,3	2,8	2,8	-	10,3	5,3
12	EL MELÓN	2	0,8	0,3	0,4	-	0,8	0,5
		5	2,4	1,1	1,4	-	2,4	1,7
		10	4,3	1,7	2,1	-	4,3	2,7
		20	7,0	2,4	2,8	-	7,0	4,1
		25	8,1	3,0	3,5	-	8,1	4,8
		50	12,0	3,6	4,1	-	12,0	6,6
		100	17,2	4,8	5,4	-	17,2	9,1
		250	18,7	5,5	6,2	-	18,7	10,2
		500	21,6	6,3	7,1	-	21,6	11,7

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
		1000	24,4	7,1	7,9	-	24,4	13,1
13	EL BOSQUE	SIN CUENCA APORTANTE						
14	LA LAGUNA DE CATAPILCO	2	1,5	0,7	0,8	-	1,5	1,0
		5	4,7	2,4	2,3	-	4,7	3,2
		10	8,5	3,5	3,2	-	8,5	5,1
		20	13,6	4,6	4,1	-	13,6	7,4
		25	15,7	5,4	4,8	-	15,7	8,6
		50	23,4	6,3	5,6	-	23,4	11,8
		100	33,6	7,9	6,9	-	33,6	16,1
		250	36,6	9,4	8,1	-	36,6	18,0
		500	42,2	10,6	9,2	-	42,2	20,6
1000	47,7	11,8	10,2	-	47,7	23,3		
15	LOS PERALES DE TAPIHUE	2	13,2	4,7	4,2	6,2	13,2	7,1
		5	41,2	16,6	13,6	16,2	41,2	21,9
		10	73,5	25,4	19,8	24,8	73,5	35,9
		20	118,4	35,9	26,8	34,0	118,4	53,8
		25	136,8	45,2	32,7	43,6	136,8	64,6
		50	203,7	54,4	38,9	47,5	203,7	86,1
		100	292,0	73,2	50,7	58,6	292,0	118,6
		250	318,0	84,0	58,8	70,6	318,0	132,9
		500	366,4	95,9	66,9	80,1	366,4	152,3
1000	414,7	107,9	75,0	89,6	414,7	171,8		
16	LA GLORIA	2	0,6	0,2	0,3	-	0,6	0,4
		5	2,0	0,9	1,0	-	2,0	1,3
		10	3,5	1,4	1,5	-	3,5	2,1
		20	5,6	1,9	2,0	-	5,6	3,2
		25	6,5	2,4	2,4	-	6,5	3,8
		50	9,7	2,9	2,9	-	9,7	5,2
		100	13,9	3,9	3,8	-	13,9	7,2
		250	15,2	4,5	4,4	-	15,2	8,0
		500	17,5	5,1	5,0	-	17,5	9,2
1000	19,8	5,8	5,6	-	19,8	10,4		
17	POZA AZUL	2	104,4	16,0	12,5	78,1	104,4	52,7
		5	222,8	57,2	40,6	142,2	222,8	115,7
		10	348,1	87,5	59,1	189,5	348,1	171,1
		20	515,2	123,7	80,3	237,5	515,2	239,2
		25	581,4	155,6	97,7	284,4	581,4	279,8
		50	818,1	187,3	116,2	303,4	818,1	356,3
		100	1127,9	251,9	151,7	355,1	1127,9	471,6
250	1238,9	289,0	175,9	425,3	1238,9	532,3		

N°	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
		500	1416,8	330,1	200,1	475,0	1416,8	605,5
		1000	1594,6	371,2	224,3	524,8	1594,6	678,7
18	LAS PALMAS DE QUILPUÉ	2	5,0	1,3	1,1	2,1	5,0	2,4
		5	15,7	4,8	3,7	5,2	15,7	7,4
		10	28,0	7,3	5,4	7,9	28,0	12,2
		20	45,1	10,3	7,4	10,8	45,1	18,4
		25	52,2	13,0	9,0	13,8	52,2	22,0
		50	77,7	15,7	10,7	15,0	77,7	29,8
		100	111,3	21,1	13,9	18,5	111,3	41,2
		250	121,3	24,2	16,2	22,3	121,3	46,0
		500	139,7	27,6	18,4	25,2	139,7	52,7
		1000	158,1	31,1	20,6	28,2	158,1	59,5
19	CACHAGUA	2	0,8	0,6	1,0	-	1,0	0,8
		5	2,4	2,1	3,0	-	3,0	2,5
		10	4,4	3,0	4,1	-	4,4	3,8
		20	7,0	4,0	5,2	-	7,0	5,4
		25	8,1	4,7	6,0	-	8,1	6,3
		50	12,1	5,5	7,0	-	12,1	8,2
		100	17,3	6,9	8,7	-	17,3	11,0
		250	18,8	8,2	10,3	-	18,8	12,4
		500	21,7	9,3	11,6	-	21,7	14,2
		1000	24,6	10,4	13,0	-	24,6	16,0
20	CASAS DE QUILPUÉ	2	0,2	0,1	0,2	-	0,2	0,2
		5	0,4	0,5	0,7	-	0,7	0,5
		10	0,5	0,7	0,9	-	0,9	0,7
		20	0,6	1,0	1,3	-	1,3	1,0
		25	0,7	1,2	1,6	-	1,6	1,2
		50	0,8	1,5	1,9	-	1,9	1,4
		100	1,0	2,0	2,4	-	2,4	1,8
		250	1,2	2,3	2,8	-	2,8	2,1
		500	1,3	2,6	3,2	-	3,2	2,4
		1000	1,5	3,0	3,6	-	3,6	2,7
21	LAS REPRESAS	2	3,1	1,4	1,6	1,7	3,1	2,0
		5	9,7	5,0	5,4	5,1	9,7	6,3
		10	17,4	7,6	7,8	8,2	17,4	10,2
		20	28,0	10,7	10,6	11,6	28,0	15,2
		25	32,4	13,5	12,9	15,2	32,4	18,5
		50	48,2	16,3	15,3	16,7	48,2	24,1
		100	69,1	21,9	20,0	20,9	69,1	33,0
		250	75,2	25,1	23,2	25,2	75,2	37,2
500	86,7	28,7	26,4	28,6	86,7	42,6		

N°	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
		1000	98,1	32,3	29,6	32,1	98,1	48,0
22	LOS LEONES	2	5,1	1,5	1,2	2,1	5,1	2,5
		5	15,9	5,2	4,0	5,2	15,9	7,6
		10	28,4	8,0	5,9	8,0	28,4	12,5
		20	45,7	11,3	7,9	10,9	45,7	19,0
		25	52,8	14,2	9,7	13,9	52,8	22,6
		50	78,7	17,1	11,5	15,2	78,7	30,6
		100	112,7	23,0	15,0	18,6	112,7	42,3
		250	122,8	26,4	17,4	22,5	122,8	47,3
		500	141,4	30,1	19,8	25,5	141,4	54,2
		1000	160,1	33,9	22,2	28,5	160,1	61,2
23	LOS CORONELES	2	0,2	0,1	0,1	-	0,2	0,1
		5	0,7	0,3	0,3	-	0,7	0,4
		10	1,2	0,4	0,4	-	1,2	0,7
		20	1,9	0,6	0,5	-	1,9	1,0
		25	2,2	0,7	0,7	-	2,2	1,2
		50	3,2	0,9	0,8	-	3,2	1,6
		100	4,6	1,2	1,0	-	4,6	2,3
		250	5,1	1,3	1,2	-	5,1	2,5
		500	5,8	1,5	1,4	-	5,8	2,9
		1000	6,6	1,7	1,5	-	6,6	3,3
24	EL CARRIZO	SIN CUENCA APORTANTE						

**CUADRO 5.6-2
CAUDALES MÁXIMOS INSTÁNTANEOS PLUVIALES,
REGIÓN METROPOLITANA**

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
1	PÉREZ CALDERA	CRECIDA NIVAL						
2	MINERA FLORIDA	2	1,2	0,3	0,4	-	1,2	0,6
		5	2,1	1,0	1,1	-	2,1	1,4
		10	2,9	1,4	1,6	-	2,9	2,0
		20	3,7	1,9	2,1	-	3,7	2,5
		25	4,0	2,1	2,3	-	4,0	2,8
		50	4,9	2,7	2,9	-	4,9	3,5
		100	6,0	3,5	3,6	-	6,0	4,4
		250	6,8	4,0	4,2	-	6,8	5,0
		500	7,7	4,6	4,8	-	7,7	5,7
	1000	8,5	5,1	5,3	-	8,5	6,3	
3	CARÉN	2	88,3	18,8	15,7	70,0	88,3	48,2
		5	152,0	59,5	46,3	114,1	152,0	93,0
		10	205,4	85,5	64,1	145,0	205,4	125,0
		20	262,9	114,8	83,5	175,0	262,9	159,0
		25	283,4	126,5	91,4	183,2	283,4	171,1
		50	351,2	164,1	115,5	214,8	351,2	211,4
		100	427,2	212,5	146,2	245,2	427,2	257,8
		250	490,2	244,0	169,3	286,5	490,2	297,5
		500	549,8	277,2	191,6	317,3	549,8	334,0
	1000	609,5	310,4	213,9	348,1	609,5	370,5	
4	EL PARRÓN	SIN CUENCA APORTANTE						
5	LA REINA	SIN CUENCA APORTANTE						
6	LAS TÓRTOLAS	2	1,5	1,0	0,7	0,0	1,5	0,8
		5	2,7	3,6	2,3	0,6	3,6	2,3
		10	3,6	5,5	3,3	1,3	5,5	3,4
		20	4,6	7,8	4,5	2,2	7,8	4,8
		25	5,0	9,8	5,5	3,3	9,8	5,9
		50	6,2	11,8	6,5	3,8	11,8	7,1
		100	7,6	15,9	8,5	5,2	15,9	9,3
		250	8,7	18,3	9,8	6,1	18,3	10,7
		500	9,7	20,9	11,2	7,1	20,9	12,2
	1000	10,8	23,5	12,5	8,0	23,5	13,7	
7	OVEJERÍA	2	4,9	2,3	1,8	0,2	4,9	2,3
		5	8,6	8,4	5,8	1,9	8,6	6,2

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
		10	11,6	12,8	8,5	3,9	12,8	9,2
		20	14,9	18,2	11,6	6,5	18,2	12,8
		25	16,1	22,9	14,2	9,3	22,9	15,6
		50	19,9	27,6	16,9	10,6	27,6	18,7
		100	24,3	37,2	22,1	14,2	37,2	24,4
		250	27,9	42,6	25,5	16,8	42,6	28,2
		500	31,3	48,7	29,1	19,3	48,7	32,1
		1000	34,7	54,7	32,6	21,9	54,7	36,0
8	EL CHILQUE	2	3,9	2,0	2,0	2,5	3,9	2,6
		5	12,0	6,5	5,8	5,4	12,0	7,4
		10	21,4	9,3	8,0	7,7	21,4	11,6
		20	34,4	12,5	10,4	10,0	34,4	16,8
		25	39,8	13,7	11,4	10,7	39,8	18,9
		50	59,3	17,8	14,4	13,3	59,3	26,2
		100	84,9	23,1	18,2	15,9	84,9	35,5
		250	92,5	26,5	21,1	18,8	92,5	39,7
		500	106,6	30,1	23,8	21,2	106,6	45,4
1000	120,6	33,7	26,6	23,5	120,6	51,1		
9	REINA NORTE	SIN CUENCA APORTANTE						
10	CHADA	2	1,7	0,6	0,6	-	1,7	1,0
		5	3,0	1,9	1,8	-	3,0	2,2
		10	4,1	2,9	2,5	-	4,1	3,1
		20	5,2	3,9	3,3	-	5,2	4,1
		25	5,6	4,8	4,0	-	5,6	4,8
		50	6,9	5,7	4,7	-	6,9	5,8
		100	8,5	7,6	6,0	-	8,5	7,3
		250	9,7	8,7	7,0	-	9,7	8,5
		500	10,9	10,0	7,9	-	10,9	9,6
1000	12,1	11,2	8,9	-	12,1	10,7		
11	EL YESO	CRECIDA NIVAL						
12	RUNGUE	2	11,9	7,5	5,5	14,2	14,2	9,8
		5	36,9	27,0	18,0	32,4	36,9	28,6
		10	65,9	41,4	26,2	47,2	65,9	45,2
		20	106,0	58,6	35,7	63,1	106,0	65,9
		25	122,5	73,9	43,5	79,0	122,5	79,7
		50	182,4	89,0	51,8	85,6	182,4	102,2
		100	261,4	120,1	67,8	104,0	261,4	138,3
		250	284,8	137,6	78,6	125,3	284,8	156,5
		500	328,0	157,2	89,4	141,5	328,0	179,0
1000	371,3	176,8	100,2	157,7	371,3	201,5		

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
13	LO ERMITA	SIN CUENCA APORTANTE						
14	LOICA	2	0,1	0,1	0,1	-	0,1	0,1
		5	0,3	0,3	0,3	-	0,3	0,3
		10	0,6	0,4	0,5	-	0,6	0,5
		20	1,0	0,6	0,6	-	1,0	0,7
		25	1,1	0,7	0,7	-	1,1	0,8
		50	1,6	0,9	0,9	-	1,6	1,1
		100	2,3	1,2	1,1	-	2,3	1,6
		250	2,6	1,3	1,3	-	2,6	1,7
		500	2,9	1,5	1,5	-	2,9	2,0
1000	3,3	1,7	1,7	-	3,3	2,2		

**CUADRO 5.6-3
CAUDALES MÁXIMOS INSTÁNTANEOS PLUVIALES
VII REGIÓN DEL MAULE**

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA- AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)	
1	EL CERRILLO	2	1,0	1,5	5,0	5,0	2,5	
		5	1,7	2,5	7,5	7,5	3,9	
		10	2,1	3,2	9,3	9,3	4,9	
		20	2,5	3,8	10,7	10,7	5,7	
		25	2,7	4,4	11,9	11,9	6,3	
		50	3,1	4,6	12,4	12,4	6,7	
		100	3,5	5,4	14,3	14,3	7,7	
		250	4,1	6,3	16,6	16,6	9,0	
		500	4,5	7,0	18,2	18,2	9,9	
1000	4,9	7,7	19,9	19,9	10,8			
2	SANTA CECILIA	SIN CUENCA APORTANTE						
3	EL MAITÉN	SIN CUENCA APORTANTE						
4	LAS MERCEDES	SIN CUENCA APORTANTE						
5	GUAICO I	SIN CUENCA APORTANTE						
6	GUAICO III	2	2,9	3,8	8,9	8,9	5,2	
		5	4,7	6,2	13,4	13,4	8,1	
		10	5,9	8,0	16,6	16,6	10,2	
		20	7,0	9,5	19,0	19,0	11,8	
		25	7,4	10,9	21,2	21,2	13,1	

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA- AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
		50	8,4	11,4	22,1	22,1	14,0
		100	9,5	13,5	25,5	25,5	16,2
		250	11,1	15,8	29,6	29,6	18,8
		500	12,3	17,5	32,5	32,5	20,7
		1000	13,4	19,2	35,3	35,3	22,7
7	CORRALONES II	SIN CUENCA APORTANTE					
8	CORRALONES VIEJO	SIN CUENCA APORTANTE					
9	LA CRIANZA	SIN CUENCA APORTANTE					
10	HUENCUECHO NORTE I	SIN CUENCA APORTANTE					
11	HUENCUECHO NORTE II	SIN CUENCA APORTANTE					
12	SAN MARCOS	2	0,6	0,9	2,6	2,6	1,4
		5	0,9	1,4	3,9	3,9	2,1
		10	1,2	1,8	4,9	4,9	2,6
		20	1,4	2,2	5,6	5,6	3,0
		25	1,5	2,5	6,2	6,2	3,4
		50	1,7	2,6	6,5	6,5	3,6
		100	1,9	3,1	7,5	7,5	4,2
		250	2,2	3,6	8,7	8,7	4,8
		500	2,5	4,0	9,6	9,6	5,3
		1000	2,7	4,4	10,4	10,4	5,8
13	SANTA LUCRECIA	SIN CUENCA APORTANTE					
14	SANTA TERESA DE PERQUÍN	SIN CUENCA APORTANTE					

**CUADRO 5.6-4
CAUDALES MÁXIMOS INSTÁNTANEOS PLUVIALES,
IX REGIÓN DE LA ARAUCANÍA**

Nº	EMBALSE	T (años)	DGA- AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
1	EL CASTILLO	SIN CUENCA APORTANTE						
2	HUELEHUEICO	2	4,7	9,6	19,4	6,3	19,4	10,0
		5	6,6	12,8	24,4	8,8	24,4	13,1
		10	7,9	14,7	27,2	10,4	27,2	15,0
		20	9,1	16,4	29,6	11,9	29,6	16,7
		25	9,5	16,9	30,3	12,2	30,3	17,2
		50	10,6	18,7	32,9	13,8	32,9	19,0
		100	11,8	19,9	34,2	15,2	34,2	20,3
		250	13,6	22,8	38,7	17,4	38,7	23,1
		500	14,8	24,6	41,4	19,0	41,4	24,9
	1000	16,0	26,5	44,0	20,5	44,0	26,8	
3	CHUMPIRRO	2	0,4	0,9	2,0	-	2,0	1,1
		5	0,5	1,3	2,5	-	2,5	1,4
		10	0,6	1,5	2,8	-	2,8	1,6
		20	0,7	1,6	3,1	-	3,1	1,8
		25	0,7	1,7	3,1	-	3,1	1,8
		50	0,8	1,9	3,4	-	3,4	2,0
		100	0,9	2,0	3,6	-	3,6	2,1
		250	1,0	2,3	4,0	-	4,0	2,4
		500	1,1	2,4	4,3	-	4,3	2,6
	1000	1,2	2,6	4,6	-	4,6	2,8	
4	SANTA ADELA	2	1,3	2,9	3,4	-	3,4	2,5
		5	1,8	3,9	4,4	-	4,4	3,4
		10	2,1	4,6	4,9	-	4,9	3,9
		20	2,5	5,2	5,4	-	5,4	4,3
		25	2,6	5,8	5,9	-	5,9	4,8
		50	2,9	6,0	6,1	-	6,1	5,0
		100	3,2	6,4	6,4	-	6,4	5,3
		250	3,7	7,5	7,3	-	7,5	6,2
		500	4,0	8,1	7,9	-	8,1	6,7
	1000	4,4	8,8	8,4	-	8,8	7,2	
5	MALALCO	SIN CUENCA APORTANTE						
6	LAGUNA TEMUCO	2	2,1	4,8	5,5	-	5,5	4,1
		5	3,0	6,6	7,1	-	7,1	5,5
		10	3,5	7,6	8,0	-	8,0	6,4
		20	4,1	8,6	8,8	-	8,8	7,1
		25	4,3	9,7	9,6	-	9,7	7,8
		50	4,8	10,0	9,8	-	10,0	8,2

N°	EMBALSE	T (años)	DGA- AC (m3/s)	V-K MOD (m3/s)	RAC MOD (m3/s)	HUS (m3/s)	MAX (m3/s)	PROMEDIO (m3/s)
		100	5,3	10,7	10,3	-	10,7	8,8
		250	6,1	12,5	11,9	-	12,5	10,2
		500	6,7	13,6	12,7	-	13,6	11,0
		1000	7,3	14,6	13,6	-	14,6	11,8
7	SIN NOMBRE	SIN CUENCA APORTANTE						
8	PASO MALO	2	0,4	1,0	2,0	-	2,0	1,1
		5	0,6	1,3	2,5	-	2,5	1,5
		10	0,7	1,5	2,8	-	2,8	1,7
		20	0,8	1,7	3,1	-	3,1	1,9
		25	0,8	1,9	3,4	-	3,4	2,1
		50	0,9	2,0	3,5	-	3,5	2,1
		100	1,0	2,1	3,7	-	3,7	2,3
		250	1,1	2,5	4,2	-	4,2	2,6
		500	1,2	2,7	4,5	-	4,5	2,8
		1000	1,3	2,9	4,9	-	4,9	3,0

**CUADRO 5.6-5
CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS NIVALES,
REGIÓN METROPOLITANA**

N°	EMBALSE	T (años)	DGA-AC (Nival) (m3/s)
1	PÉREZ CALDERA	2	7,8
		5	10,4
		10	12,0
		20	13,4
		25	13,9
		50	15,2
		100	16,3
		250	18,7
		500	20,2
		1000	21,7
11	EL YESO	2	34,8
		5	46,6
		10	53,6
		20	60,0
		25	62,2
		50	68,1
		100	72,9
		250	83,6
		500	90,3
		1000	97,0

6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad se efectuará con los siguientes criterios y supuestos:

- Se utilizará el perfil de mayor altura para efectuar la modelación.
- Los parámetros geotécnicos utilizados son obtenidos de la visita efectuada, de la experiencia del consultor y eventualmente de ensayos efectuados.
- Los parámetros geotécnicos utilizados son válidos para todo el muro.
- Se analizará la condición estática y la condición dinámica.
- Para fines del análisis dinámico se utilizará la aceleración sísmica dispuesta para el sector por la norma NCh 433.
- Se utilizará el software comercial Slope, de la empresa italiana Geostru, ampliamente utilizado en todo el mundo (www.geostru.com)

Parámetros de Diseño

Para fines de la modelación, se utilizarán los parámetros geotécnicos para el suelo que constituye el muro de la presa, a saber:

- Densidad
- Módulo de Elasticidad
- Ángulo de Fricción
- Cohesión

Dichos parámetros serán obtenidos de la bibliografía en función del tipo de suelo que con que está constituido el suelo, y en función de los ensayos de laboratorio cuando éstos fueron hechos Dentro de la bibliografía que fue utilizada para estimar los parámetros, se tiene:

- Mecánica de Suelos, T. Lambe y R. Whitman, Editorial Limusa Wiley S.A., México, 1972
- Geotecnia, José Jiménez Salas y Otros
- J.E. Bowles, "Foundation Analysis and Design"
- Anales del 4º Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, 1997.

Aceleración Sísmica de Diseño

Debido a que entre los antecedentes disponibles no existe un estudio de riesgo sísmico, para estimar los coeficientes sísmicos a utilizar en el análisis de estabilidad de taludes, se considerará lo siguiente:

- Coeficiente sísmico horizontal (k_x): será estimado en base a la expresión propuesta por Saragoni (1993) para Chile.

$$K_h = \frac{0,3 * a_{m\acute{a}x}}{g} \quad : \text{ si } a_{m\acute{a}x} \leq 6,6 \text{ m/s}^2$$

$$K_h = 0,22 * (a_{m\acute{a}x}/g)^{0.33} \quad : \text{ si } a_{m\acute{a}x} > 6,6 \text{ m/s}^2$$

- Coeficiente sísmico vertical (k_y): considerando que existen antecedentes de que en embalses de importancia ubicados a lo largo del país (Convento Viejo, Puclaro, Corrales, entre otros) no se ha utilizado dicho coeficiente en su diseño y han tenido un buen comportamiento hasta la fecha, se considerará igual a cero.

Conforme a la norma NCh 433 y a la ubicación del embalse, la aceleración sísmica que se aplicará al modelo de estabilidad será la aceleración efectiva máxima (Nch 433 of 96, Mod 2009) dependiendo en qué zona se ubique el embalse.

Es importante destacar que lo anterior corresponde sólo a una estimación. En caso de requerir valores reales, se debería efectuar un estudio de riesgo sísmico.

Los 4 casos que serán analizados son los siguientes:

- Estático Talud Aguas Arriba Saturado
- Dinámico Talud Aguas Arriba Saturado
- Estático Talud Aguas Arriba Vaciamiento Rápido
- Estático Talud Aguas Abajo Sin Agua
- Dinámico Talud Aguas Abajo Sin Agua

Para el caso del talud de aguas arriba, sólo se consideró el caso saturado, ya que el caso no saturado se analiza en el talud de aguas abajo, el que en general tiene taludes iguales o más pronunciados que el de aguas arriba.

En el Cuadro 6-1 se incluyen los parámetros utilizados en el cálculo de la estabilidad de los muros de los embalses.

CUADRO 6-1 PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD DE LOS EMBALSES

V REGIÓN DE VALPARAÍSO

	Embalse	Material	Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del embalse (DIMENSIONES MAXIMAS)			
			Fricción (°)	Cohesión (kg/cm ²)	Densidad Húmeda (t/m ³)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho coronamiento (m)
1	Sausalito	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	38	0,2	1,85	13,0	31	32	8,0
2	San Juan	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	38	0,2	1,85	9,5	35	32	9,0
3	Lliu Lliu	Grava areno limosa	40	0,2	2,00	30,9	22	27	7,6
4	Santa Rosa	Arena Limosa o limo arenoso	38	0,2	1,85	3,8	32	29	2,2
5	San Jorge	Arena Limosa o limo arenoso	38	0,2	1,85	9,3	36	36	3,2
6	Lo Ovalle	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	38	0,2	1,85	14,5	30	30	3,8
7	Peñuelas	Ladrillos pegados con arcilla	35	0,3	1,80	12,0	24	25	9,0
8	Lo Orozco	Arena Limosa o limo arcillo arenoso (maicillo)	38	0,2	1,85	13,0	22	30	4,2
9	Tranque La Luz	Hormigón							
10	Peralito	Arena Limosa o limo arenoso	38	0,2	1,85	9,8	27	31	2,7
11	Los Leones de Limache	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	38	0,2	1,85	4,5	40	31	2,3
12	El Melón	Grava areno limosa	40	0,2	2,00	13,2	21	23	5,0
13	El Bosque	Limo Arenoso	28	0,1	1,85	3,0	40	30	2,2
14	Laguna de Catapilco	Arena gravo limosa (maicillo)	38	0,2	1,85	16,7	31	26	4,7
15	Perales de Tapihue	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	38	0,2	1,85	19,3	16	28	4,4
16	La Gloria	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	38	0,2	1,85	13,5	34	36	3,2
17	Poza Azul	Hormigón							
18	Las Palmas de Quilpué	Arena Limosa o limo arcillo arenoso (maicillo)	38	0,2	1,85	14,0	29	32	3,0
19	Cachagua	Arena Limosa o limo arenoso	38	0,2	1,85	6,8	33	36	1,6
20	Casas de Quilpué	Grava areno limosa	40	0,2	2,00	4,5	30	30	3,0
21	Las Represas	Grava areno limosa	40	0,2	2,00	18,4	31	35	2,7
22	Los Leones de Villa Alemana	Arena Limosa o limo arenoso	38	0,2	1,85	26,0	31	38	2,2
23	Los Coroneles	Arena limosa o limo arenoso	38	0,2	1,85	11,0	31	31	2,1
24	El Carrizo	Arcilla arenosa	20	0,25	1,80	4,5	30	31	0,8
							Taludes Máximos		

REGIÓN METROPOLITANA

	Embalse	Material	Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del embalse (DIMENSIONES MAXIMAS)			
			Fricción (°)	Cohesión (kg/cm2)	Densidad Húmeda (t/m3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho coronamiento (m)
1	Pérez Caldera	Arena limosa (arena de relaves)	35	0,02	1,45	145,0	24	12	5,5
2	Minera Florida	Arena limosa (arena de relaves)	35	0,02	1,45	17,0	30	15	4,0
3	Caren	Grava arcillosa	40	0,25	2,10	93,0	27	27	12,0
4	El Parrón	Arcilla	15	0,30	1,80	7,0	35	30	4,0
5	La Reina	Arcilla algo arenosa	15	0,20	1,80	3,0	16	24	1,2
6	Las Tórtolas	Arena limosa (arena de relaves)	35	0,02	1,45	69,2	31	16	7,0
7	Ovejería	Arena limosa (arena de relaves)	35	0,02	1,45	44,0	28	23	26,0
8	El Chilque	Arena limosa (maicillo)	38	0,20	1,85	10,0	22	32	3,0
9	Reina Norte	Arcilla arenosa	20	0,25	1,80	2,3 3,0	22	27 80	3,5
10	Chada	Arcilla algo arenosa	18	0,35	1,80	12,0	18	30	18,0
11	El Yeso	Grava areno arcillosa + núcleo arcilloso	40	0,25	2,10	62,0	20	27	5,6
12	Rungue	Limo arcillo arenoso	30	0,25	1,85	17,0	21	21	7,0
13	Lo Ermita	Arcilla gravosa	20	0,25	1,85	4,0	45	29	3,5
14	Loica	Arena limosa (maicillo)	38	0,20	1,85	9,0	20	22	3,2
							Taludes Máximos		

VII REGIÓN DEL MAULE

	Embalse	Material	Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del embalse (DIMENSIONES MAXIMAS)			
			Fricción (°)	Cohesión (kg/cm2)	Densidad Húmeda (t/m3)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho coronamiento (m)
1	El Cerrillo	Arena limosa (maicillo)	38	0,20	1,85	5,50	26	28	3,8
2	Santa Cecilia	Arena gravo limosa	38	0,20	1,85	5,20	65 17	35	2,6
3	El Maitén	Arena limosa	35	0,12	1,85	5,50	35	27	5,4
4	Las Mercedes	Arena limo arcillosa	18	0,15	1,80	4,80	35	32	2,2
5	El Guaico I	Arcilla algo gravosa algo arenosa	20	0,25	1,80	2,70	60 33	29	2,0
6	El Guaico III	Grava arcillo arenosa	40	0,20	2,00	6,10	28	28	2,8
7	Corrales II	Arcilla	15	0,30	1,80	4,00	33	35	1,3
8	Corrales Viejo	Grava arcillosa o arcilla gravosa	35	0,20	1,95	6,80	70	37	2,8
9	La Crianza	Arena limo arcilloso	18	0,15	1,80	5,09	Ver Anexo 1		
10	Huencuecho Norte I	Arcilla arenosa	20	0,25	1,80	4,80	38	26	2,0
11	Huencuecho Norte II	Arcilla arenosa	20	0,25	1,80	4,30	40	32	2,1
12	San Marcos	Arena gravo arcilloso	32	0,25	1,85	8,70	36	35	3,0
13	Santa Lucrecia	Limo Arenoso	28	0,15	1,75	3,50	30	30	1,8
14	Santa Teresa	Arcilla limo arenosa	20	0,30	1,75	3,50	40	63	1,5
							Taludes Máximos		

IX REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

	Embalse	Material	Parámetros Geotécnicos Estimados			Geometría del embalse (DIMENSIONES MAXIMAS)			
			Fricción (°)	Cohesión (kg/cm ²)	Densidad Húmeda (t/m ³)	Altura (m)	Talud Aguas Arriba (°)	Talud Aguas Abajo (°)	Ancho coronamiento (m)
1	El Castillo o Malquerida	Arcilla algo arenosa	15	0,30	1,80	6,00	35	31	2,8
2	Huelehueico	Arcilla gravosa	20	0,20	1,90	13,00	29,2	26,4	7,0
3	Chumpirro	Arcilla	15	0,30	1,80	7,00	30	30	4,0
4	Santa Adela	Arcilla	15	0,30	1,80	4,00	30	30	3,0
5	Malalco	Arcilla	15	0,30	1,80	6,00	30	26	3,5
6	Laguna Temuco	Arcilla	15	0,30	1,80	4,00	37	27	11,0
7	María Ester	Arcilla arenosa	15	0,25	1,80	5,00	35	32	3,0
8	Paso Malo	Arcilla arenosa	15	0,15	1,80	3,00	30	30	0,5
							Taludes Máximos		

7. ANÁLISIS DE FILTRACIONES

Para determinar la filtración a la que puede estar sometido el embalse, se ha utilizado el denominado "Método de Lane" (las longitudes horizontales se consideran la tercera parte de las longitudes verticales).

El criterio de Lane señala que no se producen filtraciones si se cumple que:

$$L' \geq C' h$$

Donde:

$$L' = L_h/3 + L_v$$

L_h = Longitud horizontal en la base del embalse.

L_v = Longitud vertical en la base del embalse.

C' = Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse (ver Cuadro).

h = carga hidráulica efectiva; debido a que en general, las mediciones de la altura de agua en el embalse pueden no ser muy confiables, como criterio conservador, se tomo como carga hidráulica efectiva la altura máxima del muro.

COEFICIENTE DE FILTRACIÓN

Materiales de Cimentación	Lane (C')
Arena muy fina y limo	8,5
Arena fina	7,0
Arena media	6,0
Arena gruesa	5,0
Grava fina	4,0
Grava media	3,5
Grava y arena	--
Grava gruesa con piedras	3,0
Cantos rodados, con algunas piedras y gravas	2,5
Cantos rodados, grava y arena	3,0
Arcilla blanda	2,0
Arcilla media	1,8
Arcilla dura	1,6
Arcilla muy dura	

Si no se cumple la relación anterior significa que habría riesgo de que se produzcan filtraciones.

En el Cuadro 7-1 se incluyen los datos usados en el cálculo de las filtraciones según el criterio de Lane.

CUADRO 7-1 PARÁMETROS USADOS EN EL CÁLCULO DE LAS FILTRACIONES

V REGIÓN DE VALPARAÍSO

	Embalse	Material	Parámetros de Lane						¿Existe riesgo de filtración?
			Lh	Lv	L'	C'	h	C'xh	
1	Sausalito	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	50,4	0,0	16,8	6,0	13,0	78,0	SI
2	San Juan	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	37,8	0,0	12,6	6,0	9,5	57,0	SI
3	Lliu Lliu	Grava areno limosa	144,7	0,0	48,2	3,5	30,9	108,2	SI
4	Santa Rosa	Arena Limosa o limo arenoso	15,1	0,0	5,0	6,0	3,8	22,8	SI
5	San Jorge	Arena Limosa o limo arenoso	28,8	0,0	9,6	6,0	9,3	55,8	SI
6	Lo Ovalle	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	54,0	0,0	18,0	6,0	14,5	87,0	SI
7	Peñuelas	Ladrillos pegados con arcilla	61,7	0,0	20,6	2,0	12,0	24,0	SI
8	Lo Orozco	Arena Limosa o limo arcillo arenoso (maicillo)	58,9	0,0	19,6	6,0	13,0	78,0	SI
9	Tranque La Luz	Hormigón	Hormigón						
10	Peralito	Arena Limosa o limo arenoso	38,2	0,0	12,7	6,0	9,8	58,8	SI
11	Los Leones de Limache	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	15,2	0,0	5,1	6,0	4,5	27,0	SI
12	El Melón	Grava areno limosa	70,5	0,0	23,5	3,5	13,2	46,2	SI
13	El Bosque	Limo Arenoso	11,0	0,0	3,7	8,5	3,0	25,5	SI
14	Laguna de Catapilco	Arena gravo limosa (maicillo)	66,7	0,0	22,2	6,0	16,7	100,2	SI
15	Perales de Tapihue	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	108,0	0,0	36,0	6,0	19,3	115,8	SI
16	La Gloria	Arena Limosa limo arcillo arenoso (maicillo)	41,8	0,0	13,9	6,0	13,5	81,0	SI
17	Poza Azul	Hormigón	Hormigón						
18	Las Palmas de Quilpué	Arena Limosa o limo arcillo arenoso (maicillo)	50,7	0,0	16,9	6,0	14,0	84,0	SI
19	Cachagua	Arena Limosa o limo arenoso	21,4	0,0	7,1	6,0	6,8	40,8	SI
20	Casas de Quilpué	Grava areno limosa	18,6	0,0	6,2	3,5	4,5	15,8	SI
21	Las Represas	Grava areno limosa	59,6	0,0	19,9	3,5	18,4	64,4	SI
22	Los Leones de Villa Alemana	Arena Limosa o limo arenoso	78,7	0,0	26,2	6,0	26,0	156,0	SI
23	Los Coroneles	Arena limosa o limo arenoso	38,7	0,0	12,9	6,0	11,0	66,0	SI
24	El Carrizo	Arcilla arenosa	16,1	0,0	5,4	4,0	4,5	18,0	SI

REGIÓN METROPOLITANA

	Embalse	Material	Parámetros de Lane						¿Existe riesgo de filtración?
			Lh	Lv	L'	C'	h	C'xh	
1	Pérez Caldera	Arena limosa (arena de relaves)	1013,3	0,0	337,8	7,0	145,0	1015,0	SI
2	Minera Florida	Arena limosa (arena de relaves)	96,9	0,0	32,3	7,0	17,0	119,0	SI
3	Caren	Grava arcillosa	377,0	0,0	125,7	3,5	93,0	325,5	SI
4	El Parrón	Arcilla	26,1	0,0	8,7	2,0	7,0	14,0	SI
5	La Reina	Arcilla algo arenosa	18,4	0,0	6,1	4,0	3,0	12,0	SI
6	Las Tórtolas	Arena limosa (arena de relaves)	363,5	0,0	121,2	7,0	69,2	484,4	SI
7	Ovejería	Arena limosa (arena de relaves)	212,4	0,0	70,8	7,0	44,0	308,0	SI
8	El Chilque	Arena limosa (maicillo)	43,8	0,0	14,6	6,0	10,0	60,0	SI
9	Reina Norte	Arcilla arenosa	21,4	0,0	7,1	4,0	5,2	20,9	SI
10	Chada	Arcilla algo arenosa	75,7	0,0	25,2	4,0	12,0	48,0	SI
11	El Yeso	Grava areno arcillosa + núcleo arcilloso	297,6	0,0	99,2	3,5	62,0	217,0	SI
12	Rungue	Limo arcillo arenoso	95,6	0,0	31,9	8,5	17,0	144,5	SI
13	Lo Ermita	Arcilla gravosa	14,7	0,0	4,9	4,0	4,0	16,0	SI
14	Loica	Arena limosa (maicillo)	50,2	0,0	16,7	6,0	9,0	54,0	SI

VII REGIÓN DEL MAULE

	Embalse	Material	Parámetros de Lane						¿Existe riesgo de filtración?
			Lh	Lv	L'	C'	h	C'xh	
1	El Cerrillo	Arena limosa (maicillo)	25,4	0,0	8,5	6,0	5,5	33,0	SI
2	Santa Cecilia	Arena gravo limosa	21,4	0,0	7,1	6,0	5,2	31,2	SI
3	El Maitén	Arena limosa	24,0	0,0	8,0	6,0	5,5	33,0	SI
4	Las Mercedes	Arena limo arcillosa	16,7	0,0	5,6	6,0	4,8	28,8	SI
5	El Guaico I	Arcilla algo gravosa algo arenosa	10,1	0,0	3,4	4,0	2,7	10,8	SI
6	El Guaico III	Grava arcillo arenosa	25,7	0,0	8,6	3,5	6,1	21,4	SI
7	Corrales II	Arcilla	13,2	0,0	4,4	2,0	4,0	8,0	SI
8	Corrales Viejo	Grava arcillosa o arcilla gravosa	14,3	0,0	4,8	3,5	6,8	23,8	SI
9	La Crianza	Arena limo arcillosa	19,8	0,0	6,6	6,0	5,1	30,5	SI
10	Huencuecho Norte I	Arcilla arenosa	18,0	0,0	6,0	4,0	4,8	19,2	SI
11	Huencuecho Norte II	Arcilla arenosa	14,1	0,0	4,7	4,0	4,3	17,2	SI
12	San Marcos	Arena gravo arcillosa	27,4	0,0	9,1	6,0	8,7	52,2	SI
13	Santa Lucrecia	Limo Arenoso	13,9	0,0	4,6	8,5	3,5	29,8	SI
14	Santa Teresa	Arcilla limo arenosa	7,5	0,0	2,5	4,0	3,5	14,0	SI

IX REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

	Embalse	Material	Parámetros de Lane						¿Existe riesgo de filtración?
			Lh	Lv	L'	C'	h	C'xh	
1	El Castillo o Malquerida	Arcilla algo arenosa	21,4	0,0	7,1	4,0	6,0	24,0	SI
2	Huelehueico	Arcilla gravosa	56,4	0,0	18,8	4,0	13,0	52,0	SI
3	Chumpirro	Arcilla	28,2	0,0	9,4	2,0	7,0	14,0	SI
4	Santa Adela	Arcilla	16,9	0,0	5,6	2,0	4,0	8,0	SI
5	Malalco	Arcilla	26,2	0,0	8,7	2,0	6,0	12,0	SI
6	Laguna Temuco	Arcilla	24,2	0,0	8,1	2,0	4,0	8,0	NO
7	María Ester	Arcilla arenosa	18,1	0,0	6,0	4,0	5,0	20,0	SI
8	Paso Malo	Arcilla arenosa	10,9	0,0	3,6	4,0	3,0	12,0	SI

8. CÁLCULO DE CAUDALES EN VERTEDEROS

Estas obras están destinadas a captar los caudales de crecida que llegan al embalse y conducirlos hasta un cauce en forma segura.

La magnitud y el tipo de obras que se consideren dependen de las condiciones topográficas, geológicas, caudal de diseño, emplazamiento de la presa, existencia de quebradas y distancia al cauce receptor, entre otras. Por lo que cada sitio debiera tener un análisis propio.

Estas obras se verificaron para evacuar el caudal de diseño, asociados al evento de período de retorno compatible con la magnitud del embalse, es decir, si se trata de obras pequeñas, medianas o mayores.

Se analizaron varios tipos de vertederos: entre los cuales se tiene a vertederos de tipo Lateral y Frontal, Morning Glory, canales en tierra y revestidos, tuberías, etc.

A continuación se indican los procedimientos de cálculo para los más importantes.

$$Q = m \cdot l \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Donde:

Q= Caudal evacuado por el vertedero

l= Longitud del vertedero; distancia entre las paredes verticales o inclinadas que lo limitan sobre el umbral.

h = Carga del vertedero medida sobre el plano horizontal que pasa sobre el umbral.

m = Coeficiente de gasto.

➤ **Para pared gruesa**

En este caso, vierten por sobre una parte del muro. Se considera de pared gruesa aquellos en que el espesor (ancho del muro) es al menos 5 veces la altura crítica.

El caudal máximo de vertido viene dada por la siguiente relación:

$$Q = 1,71 \cdot L \cdot H^{3/2}$$

$$H = 3 \times h/2$$

Para pared delgada

$$m = \left[0,405 + \frac{0,003}{h} \right] \cdot \left[1 + 0,55 \frac{h^2}{(h+a)^2} \right]$$

a = Altura de la barrera

Vertederos curvos tipo Morning G

Ecuación de gasto:

$$Q = K \cdot h^{1,42}$$

Las expresiones anteriores son válidas para diámetros comprendidos entre 0,175 m y 0,700 m, con los siguientes coeficientes K en función del diámetro:

D (m)	0,175	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70
K	0,790	0,900	1,130	1,364	1,599	1,840	2,318	2,820	3,316

En el Cuadro 8-1 se incluyen los resultados obtenidos:

**CUADRO 8-1
CAUDALES MÁXIMOS DE VERTEDEROS**

V Región de Valparaíso

N°	EMBALSE	TIPO DE VERTEDERO		Q
				VERTEDERO(m ³ /s)
1	Sausalito	Vertedero Frontal	Canal Mampostería	59,90
2	San Juan	Vertedero Lateral	Pared Guesa	47,12
3	Lliu Lliu	Vertedero Frontal	Perfil Hidráulico	347,85
4	Santa Rosa (Limache)	Vertedero Frontal	Canal Hormigón	5,31
5	San Jorge	Vertedero Lateral	Canal Tierra	2,65
6	Lo Ovalle	Vertedero Lateral	Pared Guesa	309,74
7	Peñuelas	Vertedero Lateral	Pared Guesa	411,40
8	Lo Orozco	Vertedero Lateral	Pared Delgada	172,59
9	La Luz	Vertedero Lateral	Compuerta	50,00
10	Peralito	Vertedero Frontal	Canal Mixto	24,51
11	Los Leones de Limache	Vertedero Lateral	Pared Delgada	2,40
12	El Melón	Vertedero Frontal	Tubo Hormigón	0,14
13	El Bosque	Vertedero Frontal	Tubo Hormigón	0,08
14	La Laguna de Catapilco	Vertedero Frontal	Pared Delgada - Compuerta	38,59
15	Los Perales de Tapihue	Vertedero Lateral	Pared Guesa	525,61
16	La Gloria	Vertedero Frontal	Canal Tierra	13,42
17	Poza Azul	Vertedero Frontal	Perfil Creager	497,80
18	Las Palmas de Quilpué	Vertedero Lateral	Pared Delgada	48,64
19	Cachagua	Vertedero Frontal	Canalón Tierra	16,14

N°	EMBALSE	TIPO DE VERTEDERO		Q
				VERTEDERO(m3/s)
20	Casas de Quilpué	Vertedero Frontal	Canal Hormigón	0,52
21	Las Represas	Vertedero Frontal	Canalón Roca	118,32
22	Los Leones	Vertedero Frontal	Compuerta	214,21
23	Los Coroneles	Sin Vertedero	-	-
24	El Carrizo	Sin Vertedero	-	-

Región Metropolitana

N°	EMBALSE	TIPO DE VERTEDERO		Q
				VERTEDERO(m3/s)
1	Pérez Caldera	Vertedero Lateral	Túnel	35,00
2	Minera Florida	Sin Vertedero		
3	Carén	Vertedero de Campana	Morning Glory	119,08
4	El Parrón	Vertedero Lateral	Tubo Hormigón	0,22
5	La Reina	Vertedero Lateral	Tubo Hormigón	0,22
6	Las Tórtolas	Sin Vertedero		
7	Ovejería	Vertedero Lateral	Torre con Compuertas	25,00
8	El Chilque	Vertedero Frontal	Canal Hormigón	157,16
9	Reina Norte	Vertedero Frontal	Tubo Hormigón	0,14
10	Chada	Vertedero de Campana	Torre con Compuertas	5,13
11	El Yeso	Vertedero Lateral	2 Compuertas	250,00
12	Rungue	Vertedero Lateral	Pared Delgada	385,50
13	Lo Ermita	Vertedero Lateral	Torre con Canal	0,63
14	Loica	Vertedero Frontal	Tubo Fierro - Fuera de Servicio	0,00

VII Región del Maule

N°	EMBALSE	TIPO DE VERTEDERO		Q
				VERTEDERO(m3/s)
1	El Cerrillo	Vertedero Frontal	Pared Delgada	28,75
2	Santa Cecilia	Sin vertedero		
3	El Maitén	Vertedero Frontal	Canal Hormigón	0,94
4	Las Mercedes	Vertedero Frontal	Pared Delgada y Compuerta	2,60
5	Guaico I	Vertedero Frontal	Tubo Hormigón	0,08
6	Guaico II	Vertedero Frontal	Canal Hormigón	2,04

Nº	EMBALSE	TIPO DE VERTEDERO		Q
				VERTEDERO(m3/s)
7	Corralones II	Sin vertedero		
8	Corralones Viejo	Vertedero Frontal	Pared Delgada	4,44
9	La Crianza	Vertedero Lateral	Compuerta	1,43
10	Huencuecho Norte I	Vertedero Lateral	Tubo Hormigón	0,87
11	Huencuecho Norte II	Vertedero Frontal	Tubo Hormigón	0,22
12	San Marcos	Vertedero Frontal	Pared Delgada	3,99
13	Santa Lucrecia	Vertedero Frontal	Destruído - Fuera de Servicio	0,00
14	Santa Teresa de Perquin	Vertedero Lateral	Tubo Hormigón	0,45

IX Región de La Araucanía

Nº	EMBALSE	TIPO DE VERTEDERO		Q
				VERTEDERO(m3/s)
1	El Castillo Malquerida	Vertedero Frontal	Canal Mampostería	8,86
2	Huelehueico	Vertedero Frontal	Tubo Hormigón	2,57
3	Chumpirro	Vertedero Frontal	Canal Tierra	4,29
4	Santa Adela	Vertedero Frontal	Pared Delgada	8,36
5	Malalco	Vertedero Lateral	Canal Hormigón	1,16
6	Laguna Temuco	Vertedero Frontal	Tubo Hormigón	5,53
7	María Ester	Vertedero Frontal	Canal Hormigón	5,10
8	Paso Malo	Vertedero Frontal	Canal Tierra	0,04

9. ANÁLISIS DE RIESGOS (HAZOP)

9.1. Base Metodológica

El método de evaluación HAZOP, es un planteamiento probabilístico de análisis de la relación causa-afecto en un sistema. El primer paso corresponde a la identificación del sistema, de modo de establecer la estructura central del mismo, la cual fue la parte afectada y la causante a la vez. En términos simples se pueden identificar los siguientes pasos:

a) Identificar el objeto de análisis, es decir, aquella obra o sistema que pueda ser afectada por agentes externos y que a su vez, una falla parcial o total produzca efectos sobre otras partes del sistema que depende de la estructura analizada.

b) Identificar aquellos fenómenos o agentes que pueden ocasionar daños o alteraciones a la estructura.

c) Identificar los efectos potenciales que tendría en el resto del sistema la falla o alteración de la estructura.

La formulación general del método está definida por la relación:

$$R = p \cdot V \cdot E$$

Donde:

R= Riesgo total del sistema frente a un evento dado y para una causa determinada.

p= Probabilidad de que se produzca el evento identificado como desencadenante de una falla, o alteración en la estructura principal.

V= Vulnerabilidad de la obra principal ante la ocurrencia del evento desencadenante representada por la probabilidad "p".

E= Potencialidad de que ante la falla o alteración de la obra por el evento de probabilidad "p", se produzca el efecto identificado o que se desea analizar.

9.2. Adaptación para Análisis de Riesgos en Embalses

La metodología que se aplicará fue desarrollada en el trabajo "Estudio de Catastro e Inspección Preliminar de Embalses, Quinta Región", por R.E.G. Ingenieros Consultores Ltda., 1994, DGA, MOP.

El método se centra en el análisis del riesgo de falla de los embalses, con consecuencia de daños hacia aguas abajo, a las personas, obras de infraestructura y las zonas agrícolas.

9.2.1. Eventos Desencadenantes

Los *eventos desencadenantes* para una posible falla de un determinado embalse tienen relación con los sismos, las crecidas pluviales y el fenómeno de piping bajo la estructura. En consecuencia, los eventos a analizar son los siguientes:

- Sismos de placa de gran magnitud y baja frecuencia, y de mediana magnitud y alta frecuencia de ocurrencia.
- Crecidas pluviales para períodos de retorno de 250, 500 y 1.000 años.
- Crecida nival en los casos que corresponda.
- Piping o sifonamiento.

Como resultado de lo anterior, el análisis se realizó considerando la acción de cuatro diferentes eventos sísmicos, tres eventos de escorrentía superficial, y un evento de piping, los cuales pueden producir una falla violenta en el muro y la generación de una onda en crecida hacia aguas abajo.

Las **fallas potenciales** que se analizaron son aquellas que pueden producir un vaciamiento, es decir:

- En el caso sísmico son aquellas que producen un deslizamiento del talud de aguas abajo que pueden involucrar en forma inmediata o posterior tal vaciamiento.
- En el caso de escorrentía, son aquellas que producen o se acercan a un sobrepasamiento del muro, llegando a la rotura completa durante el proceso erosivo.
- En el caso del piping, es aquel que produzca el arrastre del suelo de modo de producir el colapso instantáneo del muro.

Los efectos en el valle son el daño producido por la crecida estimada, ya sea por impacto de la onda o por inundación. El efecto fue evaluado en función de la posición del punto de análisis con relación al embalse.

El riesgo total se calcula como una matriz, ya que es el producto de la probabilidad de ocurrencia del evento desencadenado por la vulnerabilidad del embalse y por la probabilidad de que el daño analizado ocurra. Este producto se efectúa para cada evento y para cada efecto.

9.2.2. **Análisis de la Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad de cada embalse fue analizada en forma específica para cada evento desencadenante.

Con el objetivo de asignar las probabilidades de ocurrencia o de falla a cada una de las partes del sistema analizado, se han establecido criterios

de aplicación que ligan la falla con el porcentaje de daño estimado.

En lo que se refiere a los eventos desencadenantes, cada uno tiene su período de retorno propio, de acuerdo con el criterio de selección, y por lo tanto, su probabilidad de ocurrencia.

En el presente estudio, el análisis de vulnerabilidad estuvo enfocado a los casos de falla asociados a falla sísmica y por capacidad de evacuación.

a) Eventos Sísmicos

Se determinó para cada embalse de acuerdo a su ubicación, la aceleración máxima resultante para cada uno de los sismos seleccionados. Con la aceleración, los parámetros resistentes de la estructura y la forma del muro, se realizó un estudio de estabilidad, el cual permite indicar la existencia de fallas, su ubicación y la curva de factor de seguridad para los diferentes planos de deslizamientos.

El análisis de estabilidad de un muro puede tener tres resultados posibles, estos son: que el muro no falle, que el muro falle en un punto tal que no involucre vaciamiento y que el muro falle bajo la cota de aguas máximas.

Evidentemente, el primer caso como el último, son claros y sólo corresponde en cada uno asignar la probabilidad extrema. El segundo caso en tanto, corresponde a una situación muy frecuente y sobre la cual debe hacerse distinción, ya que es muy diferente si la falla ocurre superficialmente en el talud de aguas abajo, o si ésta ocurre en el talud de aguas arriba, sobre la línea de aguas. En cada uno de estos casos intermedios, existe también una probabilidad de falla, ya sea por piping a través de una grieta, por desestabilización progresiva o por falla sucesiva para aceleraciones menores a medida que el sismo se desarrolla.

Para la falla extrema en tanto, debe tenerse en consideración que los métodos de análisis no cuentan con la precisión e información necesaria para ofrecer una conclusión terminante, y que la estimación de la magnitud media del evento desencadenante deja una incertidumbre o una variabilidad que debe ser considerada.

El criterio de riesgo de vaciamiento en función de la traza de la falla se incluye en Cuadro 8.2-1.

CUADRO 8.2-1
RIESGO DE VACIAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA TRAZA DE LA FALLA

Vaciamiento en Función de la traza de la Falla	RIESGO "p"
No se registra falla para el evento dado	0,05
La falla se localiza en el talud de aguas abajo	0,05 a 0,40
La falla pasa por el coronamiento	0,40 a 0,75
La falla pasa por el talud de aguas arriba sobre la línea de aguas máximas	0,75 a 0,95
La falla pasa bajo la línea de aguas máximas	0,95

b) Eventos de Escorrentía

Se determinó para cada embalse, de acuerdo a los datos recolectados en terreno, la capacidad máxima de las obras de evacuación con todas las condicionantes que sea pertinente considerar. La capacidad de evacuación se considera en términos nominales en relación a la capacidad de diseño de la obra, es decir, dentro de los rangos operacionales normales. A continuación se estima la capacidad de evacuación en condiciones extremas, esto es, cuando el nivel de agua está a punto de verter por sobre el coronamiento, sobrepasando el muro.

La vulnerabilidad en cada caso se estima en función de la relación entre el caudal afluente y el caudal evacuado, sin considerar el efecto regulador del embalse, dado que se asume embalse lleno. Al asumir embalse lleno, se supone que ya no hay efecto de regulación, pues el agua que llegue en forma adicional disminuye el factor de seguridad del embalse, al ocupar el volumen dado por la revancha considerada para la obra.

Por lo general, el volumen dado por la revancha de las obras es de poca cuantía, además al asumir esta consideración, se elimina cualquier error de subestimar la seguridad del embalse.

El criterio de asignación de vulnerabilidad para falla por sobrepasamiento de la capacidad de evacuación que se expone a continuación, pretende cuantificar la probabilidad de falla de las obras de evacuación de una presa, que pueda llevar a una falla por vaciamiento, ante la ocurrencia de una crecida determinada.

La falla por vaciamiento se produciría en este caso, por "overtopping", es

decir, el flujo del agua pasa por encima del muro de presa y deterioro progresivo del sistema de descarga.

En estos casos, el análisis de la falla de las obras de evacuación será necesariamente más subjetivo que el caso de la falla sísmica del muro, dado que no se puede hacer un análisis específico estructural para cuantificar la misma. Por otra parte, deberá tenerse en consideración la calidad y estado de la obra, y la estabilidad frente a erosiones del canal de descarga.

En cuanto al caudal desencadenante de la falla, independientemente del tipo de obra, debe considerarse que la misma operará en condiciones seguras sólo hasta una cierta proporción de su capacidad máxima, dado que en general e históricamente, los evacuadores de crecidas presentan problemas estructurales u operacionales al alcanzar sus capacidades máximas. Así también, debe señalarse que existirá un rango de excedencia de la capacidad en que la obra aún tendrá posibilidad de operar.

De acuerdo con lo señalado, la probabilidad de falla para este evento se incluye en el Cuadro 8.2-2 siguiente.

CUADRO 8.2-2
PROBABILIDAD DE FALLA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN CAUDAL AFLUENTE Y CAPACIDAD DE EVACUACIÓN DEL EMBALSE

RELACIÓN CAUDAL AFLUENTE – CAPACIDAD DE EVACUACIÓN	RIESGO "p"
Caudal afluente inferior al 100% de la capacidad nominal máxima de evacuación de la obra	0, 05
Caudal afluente mayor que el 100% de la capacidad máxima nominal y menor que la capacidad máxima al borde libre	0,05 a 0,95
Caudal afluente sobre el 100% de la capacidad máxima al borde libre	0,95

Para los casos reales en que alguna de estas condiciones se vulnera, se utilizan coeficientes de minoración, según se indica en el cuadro siguiente.

CUADRO 8.2-3
COEFICIENTES DE CONFIABILIDAD APLICABLES
A LA CAPACIDAD DE LA OBRA

	DESCRIPCIÓN	C
Calidad de Construcción	Obra de hormigón armado	1,0
	Obra de albañilería	0,8
	Obra de tierra	0,6
Estado de Conservación	Obra en óptimo estado	1,0
	Obra en estado regular, con dudas de operatividad	0,8
	Obra en mal estado, no confiable	0,6
Calidad del Canal de Descarga	Canal revestido en hormigón	1,0
	Canal en mampostería o albañilería irregular	0,9
	Canal en tierra	0,7

c) Evento de Piping

Se determina para cada embalse, el tiempo de estabilización del flujo bajo la presa. Para ello se supuso una velocidad del flujo que permite calcular el tiempo que demora una partícula en recorrer una línea de flujo del suelo por debajo del muro. A continuación, dependiendo del tiempo de estabilización del flujo y de la antigüedad de la presa, se determina la probabilidad de ocurrencia del evento.

La vulnerabilidad se determina dependiendo del estado de saturación o filtración en que se encuentra el muro. Además, se considera si el material del muro es cohesivo o no y si tiene sistema de drenaje.

El criterio de asignación de vulnerabilidad que se presenta a continuación, pretende cuantificar la probabilidad de falla por piping, dependiendo del estado actual del embalse.

La tabulación de probabilidades dependerá de si existe humedad al pie del muro o bajo él, y si existen filtraciones. Además, considera la existencia o no de un sistema de drenaje o si el material del muro es cohesivo. El criterio de riesgo por piping se incluye en el Cuadro 8.2-4 siguiente.

CUADRO 8.2-4
RIESGO DE PIPING SEGÚN SITUACIÓN DEL MURO

SITUACIÓN DEL MURO	RIESGO "p"
Sin humedad al pie	0,05
Saturación abajo del muro	0,05 a 0,10
Saturación del pie	0,10 a 0,20
Filtración	0,20 a 0,95
Si existe sistema de drenaje	0
Si el material es cohesivo	0,05

Por otra parte, la probabilidad de ocurrencia del fenómeno se define usando los datos del Cuadro 8.2-5. En este caso, se tiene que la probabilidad de ocurrencia del fenómeno disminuye con el paso del tiempo.

CUADRO 8.2-5
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PIPING
SEGÚN SITUACIÓN DEL MURO

Período de servicio	Riesgo "p"
Menor a 1 año	0,95
Entre 1 y 50 años	0,95 a 0,05
Mayor que 50 años	0,05

Es importante destacar que el piping es sólo problemático en los primeros años de la obra, por lo que en términos prácticos, en el presente estudio no se consideró como condicionante para el cálculo de riesgo de la falla.

d) Determinación de Filtraciones

En la determinación de la filtración del embalse se ha utilizado el Método de Lane, el cual señala que la longitud de filtración compensada (L') de la sección transversal de una cortina, es igual a la suma de las longitudes verticales de filtración (Lv) más un tercio de la suma de las longitudes de filtración horizontales (1/3 Lh).

$$L' = \frac{1}{3} \cdot Lh + Lv$$

Se consideran como distancias verticales y horizontales las que tienen una

inclinación mayor de 45° y menor de 45°, respectivamente.

El criterio de Lane señala que no se producen filtraciones si se cumple que:

$$L' \geq C' \cdot h$$

- Lh = Longitud horizontal en la base del embalse.
- Lv = Longitud vertical en la base del embalse.
- C' = Coeficiente de filtración que depende el tipo de material del embalse
- h = Carga hidráulica efectiva. La carga hidráulica efectiva sobre la estructura se obtiene como la diferencia de carga hidráulica entre aguas abajo y aguas arriba. Debido a que en general, las mediciones de la altura de agua en el embalse pueden no ser muy confiables, como criterio conservador, se toma como carga hidráulica efectiva la altura máxima del muro.

9.2.3. Efectos

a) Magnitud del Vaciamiento

Conforme a la información disponible en la literatura y al conocimiento de falla en presas, se ha asumido que el muro se destruye formando un canalón cuyo ancho es 1,5 veces la altura de escurrimiento (Curso Internacional de Presas y Embalses, CEDEX, MOPU, España - 1978). En este canalón se calcula la crecida suponiendo altura crítica. El ancho de inundación promedio se asume para este mismo caudal, suponiendo que el valle próximo tiene una forma similar al sector en que está construido el embalse y que la altura de escurrimiento es normal.

La capacidad natural máxima de conducción del cauce aguas abajo se ha supuesto igual a la crecida centenaria, de acuerdo a la experiencia.

Los posibles efectos hacia aguas abajo dependen de la distancia en relación al cauce a que se encuentra el punto de análisis, la relación entre el caudal de vaciamiento y la capacidad del cauce y de la rama del cauce en que se encuentra dicho punto.

A continuación resumen las hipótesis adoptadas.

- La falla alcanza un ancho de 1,5 veces la altura del agua.
- En la garganta se produce altura crítica (2/3 altura de embalse)
- La diferencia entre la altura crítica y la altura por aguas abajo es de 1,5
- El tiempo de vaciamiento es $2V/Q$ máx. Donde: V = Volumen embalsado, en m^3 y Q máx.= Caudal máximo de vertedero, en m^3/s .

Para caracterizar la onda de vaciamiento sobre la base de las hipótesis anteriores sus parámetros principales son los siguientes:

- Altura inicial = H = Altura del Muro, en m
- Volumen de agua en vaciamiento = V = Volumen embalsado, m^3

- Ancho medio de inundación = $\frac{Lc \cdot hind}{H}$

Lc = Largo del coronamiento, en m;
 $hind$ = Altura de inundación, en m.

$$hind = (2)^{5/3} \cdot \frac{Qn \cdot H}{\sqrt{i} \cdot Lc}$$

Donde:

Q = Caudal máximo de diseño vertedero, en m^3/s
 n = Coeficiente de rugosidad del cauce ("Manning")
 i = Pendiente longitudinal media del cauce, en tanto por uno.

b) Criterio de Definición de Potencialidad de Ocurrencia de Efectos en el Valle

El objetivo del presente acápite es estimar los riesgos asociados a una falla por vaciamiento de un embalse ante la ocurrencia de un fenómeno desencadenante, que logre efectivamente producir un daño estructural serio al muro de la presa. Esta probabilidad de daño no se encuentra asociada al evento desencadenante mismo, ya que se pretende evaluar

sólo los daños posibles ante la ocurrencia del vaciamiento. El hecho de si se producirá o no el evento o si se dañará o no el embalse, tiene sus probabilidades de ocurrencia propias y la seguridad final se evalúa como el producto de ellas.

La estimación de eventuales daños corresponde a la forma en que la onda de crecida se propagaría en forma teórica. Sin embargo, tal determinación requiere de un análisis específico caso a caso, dependiendo de las características propias de cada valle y de cómo se incorpora el cauce en estudio a otros cauces más importantes aguas abajo.

Como criterio general se estima el caudal de vaciamiento y del ancho de la zona inundada, en base a recomendaciones generales de la literatura, según lo indicado en el numeral precedente. Se estimará también, el caudal centenario del cauce en estudio, asumiendo que corresponde a máxima capacidad aceptada por éste sin daños importantes. Para estimar la probabilidad de daño específico se hará un análisis particular de cada cauce, de acuerdo a planos del IGM a escala 1:50.000 y a google earth, complementado con la información de terreno.

Las probabilidades de daños son las siguientes.

Según la Cercanía a la Faja probable de Inundación

	E1
Dentro de la faja de inundación	0,50 a 1,0
Fuera de la faja de inundación	0,05 a 0,5

Según la Cercanía al Punto de Vaciamiento

	E2
Dentro del cauce secundario en que se encuentra el embalse	0,8 a 1,0
En el cauce que recibe al anterior, sin ser un cauce importante	0,5 a 0,8
En un cauce mayor.	0,05 a 0,5

La probabilidad de falla es el mayor valor entre el Factor E1 y el Factor E2.

10. RESULTADOS

Los resultados del análisis de riesgo de cada uno de los embalses, según la metodología precedente explicada, se pueden consultar en el Anexo 1.

Según los análisis efectuados, se han clasificado los embalses en los siguientes grandes grupos.

- En uso y en buen estado
- En uso y en regular estado
- En uso y en mal estado
- Fuera de uso y en buen estado
- Fuera de uso y en regular estado
- Fuera de uso y en mal estado
- Resumen Riesgo Total Por Embalse

a) En Uso y en Buen Estado

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	USO
1	SAUSALITO	DE VALPARAÍSO	Si, Recreación
3	LLIULLIU	DE VALPARAÍSO	Si, Riego
7	PEÑUELAS	DE VALPARAÍSO	Si, Agua Potable
9	LA LUZ	DE VALPARAÍSO	Si, Recreación
10	PERALITO	DE VALPARAÍSO	Si, Riego
17	POZA AZUL O LAGUNA QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Si, Agua Potable
18	LAS PALMAS DE QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Si, Riego
20	CASAS DE QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Si, Riego
21	LAS REPRESAS	DE VALPARAÍSO	Si, Riego
1	PÉREZ CALDERA	METROPOLITANA	Si, Relaves
2	MINERA FLORIDA	METROPOLITANA	Si, Relaves
3	CARÉN	METROPOLITANA	Si, Relaves
4	EL PARRÓN	METROPOLITANA	Si, Riego
6	LAS TÓRTOLAS	METROPOLITANA	Si, Relaves
7	OVEJERÍA	METROPOLITANA	Si, Relaves
8	EL CHILQUE	METROPOLITANA	Si, Riego
9	REINA NORTE	METROPOLITANA	Si, Riego
10	CHADA	METROPOLITANA	Si, Riego
11	EL YESO	METROPOLITANA	Si, Agua Potable
12	RUNGUE	METROPOLITANA	Si, Riego
13	LO ERMITA	METROPOLITANA	Si, Riego
1	EL CERRILLO	DEL MAULE	Si, Riego
2	SANTA CECILIA	DEL MAULE	Si, Riego
3	EL MAITÉN	DEL MAULE	Si, Riego
6	GUAICO III	DEL MAULE	Si, Riego y Recreación
8	CORRALONES VIEJO	DEL MAULE	Si, Riego
9	LA CRIANZA	DEL MAULE	Si, Riego
11	HUENCUECHO NORTE II	DEL MAULE	Si, Riego
1	EL CASTILLO O MALQUERIDA	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego
2	HUELEHUEICO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego, Recreación, Energía
4	SANTA ALDEA	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego
5	MALALCO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego
6	LAGUNA TEMUCO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego y Recreación
7	MARÍA ESTER	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego

b) En Uso y en Regular Estado

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	USO
2	SAN JUAN	DE VALPARAÍSO	Si, Riego y Recreación
4	SANTA ROSA	DE VALPARAÍSO	Si, Riego
5	SAN JORGE	DE VALPARAÍSO	Si, Riego
22	LOS LEONES	DE VALPARAÍSO	Si, Riego y Recreación
24	EL CARRIZO	DE VALPARAÍSO	Si, Riego
5	GUAICO I	DEL MAULE	Si, Riego
10	HUENCUECHO NORTE I	DEL MAULE	Si, Riego
12	SAN MARCOS	DEL MAULE	Si, Riego
14	SANTA TERESA DE PERQUIN	DEL MAULE	Si, Riego
3	CHUMPIRRO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego
8	PASO MALO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego

c) En Uso y en Mal Estado

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	USO
4	LAS MERCEDES	DEL MAULE	Si, Riego
7	CORRALONES II	DEL MAULE	Si, Riego

d) Fuera de uso y en Buen Estado

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	USO
12	EL MELÓN	DE VALPARAÍSO	No, Riego
16	LA GLORIA	DE VALPARAÍSO	No, Riego
23	LOS CORONELES	DE VALPARAÍSO	No, Riego
14	LOICA	METROPOLITANA	No, Riego
19	CACHAGUA	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación
8	LO OROZCO	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación
15	LOS PERALES DE TAPIHUE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación

e) Fuera de uso y en Regular Estado

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	USO
14	LA LAGUNA DE CATAPILCO	DE VALPARAÍSO	No, Riego
13	SANTA LUCRECIA	DEL MAULE	No, Riego
11	LOS LEONES DE LIMACHE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación
6	LO OVALLE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación

f) Fuera de Uso y en Mal Estado

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	USO
13	EL BOSQUE	DE VALPARAÍSO	No, Riego
5	LA REINA	METROPOLITANA	No, Riego

g) Resumen Riesgo Total Por Embalse

Catastro e Inspección Preliminar de Embalses Regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Maule y de la Araucanía

Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	USO	CLASIFICACIÓN	ESTADO	RIESGO HAZOP	
			Y TIPO	(Categoría)	EMBALSE	% ANUAL	TIPO DE
			DE USO				RIESGO
1	SAUSALITO	DE VALPARAÍSO	Sí, Recreación	A	BUENO	2,1	SÍSMICO
2	SAN JUAN	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego y Recreación	A	REGULAR	2,1	SÍSMICO
3	LLIULLIU	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego	B	BUENO	0,15	SÍSMICO
4	SANTA ROSA	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego	A	REGULAR	0,15	SÍSMICO
5	SAN JORGE	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego	B	REGULAR	9,5	ESCORRENTÍA
6	LO OVALLE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	B	REGULAR	2,1	SÍSMICO
7	PEÑUELAS	DE VALPARAÍSO	Sí, Agua Potable	C	BUENO	0,15	SÍSMICO
8	LO OROZCO	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	B	BUENO	0,15	SÍSMICO
9	LA LUZ	DE VALPARAÍSO	Sí, Recreación	B	BUENO	38	ESCORRENTÍA
10	PERALITO	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego	A	BUENO	7,6	ESCORRENTÍA
11	LOS LEONES DE LIMACHE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	A	REGULAR	19	ESCORRENTÍA
12	EL MELÓN	DE VALPARAÍSO	No, Riego	B	BUENO	48	ESCORRENTÍA
13	EL BOSQUE	DE VALPARAÍSO	No, Riego	A	MALO	0,15	SÍSMICO
14	LA LAGUNA DE CATAPILCO	DE VALPARAÍSO	No, Riego	B	REGULAR	2,1	SÍSMICO
15	LOS PERALES DE TAPIHUE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	B	BUENO	0,15	SÍSMICO
16	LA GLORIA	DE VALPARAÍSO	No, Riego	A	BUENO	2,1	SÍSMICO
17	POZA AZUL O LAGUNA QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Sí, Agua Potable	B	BUENO	0,15	SÍSMICO
18	LAS PALMAS DE QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego	A	BUENO	0,15	SÍSMICO
19	CACHAGUA	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	A	BUENO	9,5	ESCORRENTÍA
20	CASAS DE QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego	A	BUENO	19	ESCORRENTÍA
21	LAS REPRESAS	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego	A	BUENO	2,1	SÍSMICO
22	LOS LEONES	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego y Recreación	A	REGULAR	2,4	SÍSMICO
23	LOS CORONELES	DE VALPARAÍSO	No, Riego	A	BUENO	47,5	ESCORRENTÍA
24	EL CARRIZO	DE VALPARAÍSO	Sí, Riego	A	REGULAR	0,15	SÍSMICO
1	PÉREZ CALDERA	METROPOLITANA	Sí, Relaves	B	BUENO	0,07	SÍSMICO
2	MINERA FLORIDA	METROPOLITANA	Sí, Relaves	B	BUENO	47,5	ESCORRENTÍA
3	CARÉN	METROPOLITANA	Sí, Relaves	C	BUENO	10,5	ESCORRENTÍA
4	EL PARRÓN	METROPOLITANA	Sí, Riego	A	BUENO	0,07	SÍSMICO
5	LA REINA	METROPOLITANA	No, Riego	A	MALO	0,07	SÍSMICO
6	LAS TÓRTOLAS	METROPOLITANA	Sí, Relaves	C	BUENO	47,5	ESCORRENTÍA
7	OVEJERÍA	METROPOLITANA	Sí, Relaves	C	BUENO	0,07	SÍSMICO
8	EL CHILQUE	METROPOLITANA	Sí, Riego	A	BUENO	0,07	SÍSMICO
9	REINA NORTE	METROPOLITANA	Sí, Riego	A	BUENO	0,07	SÍSMICO
10	CHADA	METROPOLITANA	Sí, Riego	A	BUENO	4,8	ESCORRENTÍA
11	EL YESO	METROPOLITANA	Sí, Agua Potable	C	BUENO	0,07	SÍSMICO
12	RUNGUE	METROPOLITANA	Sí, Riego	B	BUENO	0,07	SÍSMICO
13	LO ERMITA	METROPOLITANA	Sí, Riego	A	BUENO	0,07	SÍSMICO
14	LOICA	METROPOLITANA	No, Riego	A	BUENO	47,5	ESCORRENTÍA
1	EL CERRILLO	DEL MAULE	Sí, Riego	A	BUENO	0,1	SÍSMICO
2	SANTA CECILIA	DEL MAULE	Sí, Riego	A	BUENO	0,1	SÍSMICO
3	EL MAITÉN	DEL MAULE	Sí, Riego	A	BUENO	0,2	SÍSMICO
4	LAS MERCEDES	DEL MAULE	Sí, Riego	A	MALO	1,6	SÍSMICO
5	GUAICO I	DEL MAULE	Sí, Riego	A	REGULAR	0,2	SÍSMICO
6	GUAICO III	DEL MAULE	Sí, Riego y Recreación	A	BUENO	47,5	ESCORRENTÍA
7	CORRALONES II	DEL MAULE	Sí, Riego	A	MALO	0,1	SÍSMICO
8	CORRALONES VIEJO	DEL MAULE	Sí, Riego	A	BUENO	0,1	SÍSMICO
9	LA CRIANZA	DEL MAULE	Sí, Riego	A	BUENO	0,1	SÍSMICO
10	HUENCUECHO NORTE I	DEL MAULE	Sí, Riego	A	REGULAR	0,1	SÍSMICO
11	HUENCUECHO NORTE II	DEL MAULE	Sí, Riego	A	BUENO	0,1	SÍSMICO
12	SAN MARCOS	DEL MAULE	Sí, Riego	A	REGULAR	1,6; 1,9	SÍSMICO; ESCORRENTÍA
13	SANTA LUCRECIA	DEL MAULE	No, Riego	A	REGULAR	0,1	SÍSMICO
14	SANTA TERESA DE PERQUIN	DEL MAULE	Sí, Riego	A	REGULAR	0,1	SÍSMICO
1	EL CASTILLO O MALQUERIDA	DE LA ARAUCANIA	Sí, Riego	B	BUENO	0,16	SÍSMICO
2	HUELEHUEICO	DE LA ARAUCANIA	Sí, Riego, Recreación, Energía	B	BUENO	47,5	ESCORRENTÍA
3	CHUMPIRRO	DE LA ARAUCANIA	Sí, Riego	A	REGULAR	47,5	ESCORRENTÍA
4	SANTA ALDEA	DE LA ARAUCANIA	Sí, Riego	A	BUENO	0,16	SÍSMICO
5	MALALCO	DE LA ARAUCANIA	Sí, Riego	A	BUENO	0,16	SÍSMICO
6	LAGUNA TEMUCO	DE LA ARAUCANIA	Sí, Riego y Recreación	A	BUENO	19	ESCORRENTÍA
7	MARÍA ESTER	DE LA ARAUCANIA	Sí, Riego	A	BUENO	0,19	SÍSMICO
8	PASO MALO	DE LA ARAUCANIA	Sí, Riego	A	REGULAR	47,5	ESCORRENTÍA

En el Cuadro 10-1 se incluye un cuadro resumen con los principales tópicos del diagnóstico efectuado.

Catastro e Inspección Preliminar de Embalses Regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Maule y de la Araucanía

CUADRO 10-1																	
RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO																	
Nº	NOMBRE EMBALSE	REGIÓN	USO Y TIPO DE USO	CLASIFICACIÓN (Categoría)	ESTÁTICO SATURADO AGUAS ARRIBA	ESTÁTICO SECO AGUAS ABAJO	ESTABILIDAD			CAUDAL VERTEDERO (m³/s)	FILTRACIONES		ESTADO EMBALSE	% ANUAL	RIESGO HAZOP		
							ESTÁTICO AGUAS ARRIBA VACIAMIENTO RÁPIDO	DINÁMICO SATURADO AGUAS ARRIBA	DINÁMICO SECO AGUAS ABAJO		VALOR DE L (m)	CUMPLE CONDICIÓN CRITERIO LANE			TIPO DE RIESGO		
											SI	NO					
1	SAUSAITO	DE VALPARAÍSO	Si, Recreación	A	1,59	2,12	1,44		1,24	1,66	60	16,8	X	BUENO	2,1	SÍSMICO	
2	SAN JUAN	DE VALPARAÍSO	Si, Riego y Recreación	A	1,66	2,37	1,47		1,3	1,85	47	12,6	X	REGULAR	2,1	SÍSMICO	
3	LLIULLU	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	B	1,91	2,07	1,54		1,43	1,58	348	48,2	X	BUENO	0,15	SÍSMICO	
4	SANTA ROSA	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	A	2,64	3,81	2,51		2,08	2,88	5,3	5,1	X	REGULAR	0,15	SÍSMICO	
5	SAN JORGE	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	B	1,63	2,18	1,47		1,3	1,74	2,65	9,6	X	REGULAR	9,5	ESCORRENTIA	
6	LO OVALLE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	B	1,63	2,16	1,45		1,26	1,67	310	18	X	REGULAR	2,1	SÍSMICO	
7	PENUELAS	DE VALPARAÍSO	Si, Agua Potable	C	1,91	2,87	1,91		1,47	2,14	411	20,6	X	BUENO	0,15	SÍSMICO	
8	LO ORRICO	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	B	1,88	2,23	1,92		1,42	1,73	173	19,6	X	BUENO	0,15	SÍSMICO	
9	LA LUZ	DE VALPARAÍSO	Si, Recreación	B				MURO DE HORMIGÓN			50			X	BUENO	38	ESCORRENTIA
10	PERALITO	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	A	1,9	2,39	1,75		1,47	1,86	25	12,7	X	BUENO	7,8	ESCORRENTIA	
11	LOS LEONES DE LIMACHE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	A	2,16	3,34	1,93		1,73	2,56	2,4	5	X	REGULAR	19	ESCORRENTIA	
12	EL MELÓN	DE VALPARAÍSO	No, Riego	B	2,13	2,82	2,08		1,6	2,08	0,14	23,5	X	BUENO	48	ESCORRENTIA	
13	EL BOSQUE	DE VALPARAÍSO	No, Riego	A	1,72	2,44	1,54		1,35	1,5	0,08	3,7	X	MALO	0,15	SÍSMICO	
14	LA LAGUNA DE CATAPILCO	DE VALPARAÍSO	No, Riego	B	1,51	2,33	1,34		1,16	1,76	39	22,2	X	REGULAR	2,1	SÍSMICO	
15	LOS PERALES DE TAPIHUE	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	B	2,22	2,12	2,05		1,59	1,62	526	19,4	X	BUENO	0,15	SÍSMICO	
16	LA GLORIA	DE VALPARAÍSO	No, Riego	A	1,5	1,9	1,33		1,18	1,51	13	13,9	X	BUENO	2,1	SÍSMICO	
17	POZA AZUL O LAGUNA QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Si, Agua Potable	B				MURO DE HORMIGÓN			498			X	BUENO	0,15	SÍSMICO
18	LAS PALMAS DE QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	A	1,61	2,08	1,51		1,27	1,63	49	16,9	X	BUENO	0,15	SÍSMICO	
19	CACHAGUA	DE VALPARAÍSO	No, Riego y Recreación	A	2	2,48	1,83		1,58	1,97	16	6,2	X	BUENO	9,5	ESCORRENTIA	
20	CASAS DE QUILPUÉ	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	A	2,5	3,41	2,5		1,98	2,62	0,5	7,2	X	BUENO	19	ESCORRENTIA	
21	LAS REPRESAS	DE VALPARAÍSO	Si, Riego	A	1,6	1,85	1,25		1,27	1,47	118	19,9	X	BUENO	2,1	SÍSMICO	
22	LOS LEONES	DE VALPARAÍSO	Si, Riego y Recreación	A	1,43	1,53	1,09		1,12	1,23	214	26,2	X	REGULAR	2,4	SÍSMICO	
23	LOS CORONELES	DE VALPARAÍSO	No, Riego	A	1,75	2,31	1,52		1,38	1,79	SIN VERTEDERO	12,9	X	BUENO	47,5	ESCORRENTIA	
24	EL CARRIZO	DE VALPARAÍSO	No, Riego	A	2,09	2,82	2,17		1,61	2,13	SIN VERTEDERO	5,4	X	REGULAR	0,15	SÍSMICO	
1	PÉREZ CALDERA	METROPOLITANA	Si, Relaves	B		3,08			1,92		35	338	X	BUENO	0,07	SÍSMICO	
2	MINERA FLORIDA	METROPOLITANA	Si, Relaves	B		1,33			1,05	SIN VERTEDERO		31,8	X	BUENO	47,5	ESCORRENTIA	
3	CAREN	METROPOLITANA	Si, Relaves	C	1,52	1,82	1,18		1,15	1,38	119	125,7	X	BUENO	10,5	ESCORRENTIA	
4	EL PARRÓN	METROPOLITANA	Si, Riego	A	1,52	2,13	1,54		1,15	1,59	0,22	8,7	X	BUENO	0,07	SÍSMICO	
5	LA REINA	METROPOLITANA	No, Riego	A	1,93	3,17	2,8		1,39	2,19	0,22	6,1	X	MALO	0,07	SÍSMICO	
6	LAS TORTOLAS	METROPOLITANA	Si, Relaves	C		2,33			1,58	SIN VERTEDERO		121,2	X	BUENO	47,5	ESCORRENTIA	
7	OVEJERÍA	METROPOLITANA	Si, Relaves	C		1,62			1,2		25	70,8	X	BUENO	0,07	SÍSMICO	
8	EL CHILQUE	METROPOLITANA	Si, Riego	A	2,16	2,32	1,94		1,65	1,81	157	14,6	X	BUENO	0,07	SÍSMICO	
9	REINA NORTE	METROPOLITANA	Si, Riego	A	1,81	1,94	1,34		1,34	1,57	0,14	7,1	X	BUENO	0,07	SÍSMICO	
10	CHADA	METROPOLITANA	Si, Riego	A	1,53	1,83	1,54		1,12	1,38	5,13	25,2	X	BUENO	4,8	ESCORRENTIA	
11	EL YESO	METROPOLITANA	Si, Agua Potable	C	2,28	2,04	1,67		1,66	1,56	69,4	69,4	X	BUENO	0,07	SÍSMICO	
12	RUNGUE	METROPOLITANA	Si, Riego	B	1,64	2,35	1,51		1,2	1,69	386	31,9	X	BUENO	0,07	SÍSMICO	
13	LO ERMITA	METROPOLITANA	Si, Riego	A	2,1	3,08	2,29		1,58	2,21		4,9	X	BUENO	0,07	SÍSMICO	
14	LOICA	METROPOLITANA	No, Riego	A	2,29	3,18	2,14		1,69	2,33	SIN VERTEDERO	16,7	X	BUENO	47,5	ESCORRENTIA	
1	EL CERRILLO	DEL MAULE	Si, Riego	A	2,32	3,26	2,31		1,79	2,48	29	8,5	X	BUENO	0,1	SÍSMICO	
2	SANTA CECILIA	DEL MAULE	Si, Riego	A	2,74	2,92	2,85		2,09	2,27	SIN VERTEDERO	7,1	X	BUENO	0,1	SÍSMICO	
3	EL MAITÉN	DEL MAULE	Si, Riego	A	1,59	2,53	1,37		1,3	1,91	0,9	8	X	BUENO	0,2	SÍSMICO	
4	LAS MERCEDES	DEL MAULE	Si, Riego	A	1,48	1,83	1,52		1,13	1,39	2,6	5,6	X	MALO	1,6	SÍSMICO	
5	GUAICO I	DEL MAULE	Si, Riego	A	2,78	4,04	3,24		2	2,86	0,08	3,4	X	REGULAR	0,2	SÍSMICO	
6	GUAICO III	DEL MAULE	Si, Riego y Recreación	A	2,61	3,16	2,61		2,02	2,39	2	8,6	X	BUENO	47,5	ESCORRENTIA	
7	CORRALONES II	DEL MAULE	Si, Riego	A	2,26	3,08	2,55		1,68	2,31	SIN VERTEDERO	4,4	X	MALO	0,1	SÍSMICO	
8	CORRALONES VIEJO	DEL MAULE	Si, Riego	A		2,25	1,9		1,57	1,77	4	4,8	X	BUENO	0,1	SÍSMICO	
9	LA CRIANZA	DEL MAULE	Si, Riego	A	1,5	1,67	1,52		1,15	1,26	1,4	6,6	X	BUENO	0,1	SÍSMICO	
10	HUENQUECHO NORTE I	DEL MAULE	Si, Riego	A	2,03	2,87	1,81		1,58	2,09	0,9	6	X	REGULAR	0,1	SÍSMICO	
11	HUENQUECHO NORTE II	DEL MAULE	Si, Riego	A	2,16	2,92	1,93		1,71	2,12	0,2	4,7	X	BUENO	0,1	SÍSMICO	
12	SAN MARCOS	DEL MAULE	Si, Riego	A	1,76	2,23	1,44		1,39	1,75	4	9,1	X	REGULAR	1,6; 1,9	SÍSMICO-ESCORRENTIA	
13	SANTA LUCRECIA	DEL MAULE	No, Riego	A	1,97	2,87	1,52		1,52	2,15	SIN VERTEDERO	4,6	X	REGULAR	0,1	SÍSMICO	
14	SANTA TERESA DE PERQUIN	DEL MAULE	Si, Riego	A	2,74	2,73	2,93		2,12	2,25	0,5	2,5	X	REGULAR	0,1	SÍSMICO	
1	EL CASTILLO O MALQUERIDA	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego	B	1,64	2,33	1,75		1,28	1,74	9	7,1	X	BUENO	0,16	SÍSMICO	
2	HUEHUICHO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego, Recreación, Energía	B	1,21	1,91	1,27		0,93	1,39	2,6	18,8	X	BUENO	47,5	ESCORRENTIA	
3	CHUMPIRRO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego	A	1,54	2,14	1,59		1,18	1,58	4	9,4	X	REGULAR	47,5	ESCORRENTIA	
4	SANTA ALDEA	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego	A	2,13	3,18	2,5		1,59	2,29	8	5,6	X	BUENO	0,16	SÍSMICO	
5	MALALCO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego	A	1,67	2,5	1,78		1,27	1,78	1,2	8,7	X	BUENO	0,16	SÍSMICO	
6	LAGUNA TEMUCO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego y Recreación	A	1,89	3,28	1,81		1,37	2,23	6	8,05	X	BUENO	19	ESCORRENTIA	
7	MARIA ESTER	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego	A	1,64	2,31	1,88		1,23	1,73	5	6,1	X	BUENO	0,19	SÍSMICO	
8	PASO MALO	DE LA ARAUCANIA	Si, Riego	A	1,41	1,85	1,35		1,03	1,4	0,04	3,6	X	REGULAR	47,5	ESCORRENTIA	

Nota: Factor de Seguridad Bajo el Mínimo Aceptable

Nota: si NO cumple el criterio de Lane significa que habría riesgo de filtraciones