

**UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Caracterización de Peligrosidad Latente y Afectación  
Potencial, para Presas Existentes en Chile, Mediante un  
Modelo Multicriterio.**

Por:

**Nicolás Javier Cartes Pinto**

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de  
la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil.

Profesor Guía: Yerel Morales Pino.

Profesor Co-Guía: Juan González Ortega.

Mayo 2020

# Índice

Ítem	pág.
1 Generalidades .....	10
1.1 Introducción .....	10
1.2 Objetivo General .....	12
1.3 Objetivos específicos.....	12
1.4 Alcances del estudio.....	12
2 Marco Teórico .....	13
2.1 Definición de Riesgo y Peligro .....	13
2.2 Marcos legales y estipulaciones en políticas.....	13
2.3 Inicio de Políticas de seguridad de presas de los países con mayor cantidad de grandes presas .....	15
2.4 Modelos Multicriterio .....	16
2.5 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP).....	17
2.5.1 Ventajas y Desventajas de la Metodología AHP .....	18
2.6 Preparación y Organización Para Usar AHP .....	19
2.6.1 Definición de los participantes.....	19
2.6.2 Información requerida .....	19
2.6.3 Tiempo y otros recursos asociados con el proceso.....	21
3 Metodología.....	22
3.1 Construcción de Jerarquías .....	22
3.1.1 Objetivo o Foco .....	23
3.1.2 Criterios.....	23
3.1.3 Sub Criterios .....	23
3.1.4 Alternativas .....	23
3.2 Principio de prioridades .....	24
3.3 Principio consistencia lógica .....	26
3.4 Proceso para realizar AHP .....	27
3.4.1 Definición de un grupo de expertos.....	27
3.4.2 Selección de criterios .....	28
3.4.3 Especifique las variables e indicadores.....	28
3.4.4 Esquema jerárquico .....	29

3.4.5	Construcción de las prioridades.....	29
3.4.6	Comprobar Consistencia.....	29
3.4.7	Análisis de los indicadores.....	30
3.4.8	Cálculo del Índice.....	30
3.4.9	Establecer Ranking.....	31
3.4.10	Análisis de Sensibilidad.....	31
4	Emplazamiento, características e información relevante.....	32
4.1	Región de Arica y Parinacota (XV).....	32
4.1.1	Embalse Caritaya.....	32
4.2	Región de Antofagasta (II).....	33
4.2.1	Embalse Conchi.....	33
4.3	Región de Atacama (III).....	34
4.3.1	Embalse Santa Juana.....	34
4.3.2	Embalse Lautaro.....	34
4.3.3	Embalse Lagunas Del Huasco.....	34
4.4	Región de Coquimbo (IV).....	35
4.4.1	Embalse Recoleta.....	35
4.4.2	Embalse Paloma.....	35
4.4.3	Embalse Cogotí.....	35
4.4.4	Embalse Puclaro.....	35
4.4.5	Embalse La Laguna.....	35
4.4.6	Embalse Culimo.....	36
4.4.7	Embalse Corrales.....	36
4.4.8	Embalse El Bato.....	36
4.5	Región de Valparaíso (V).....	37
4.5.1	Embalse Aromos.....	37
4.5.2	Embalse Pitama.....	37
4.5.3	Embalse Lo Orozco.....	37
4.5.4	Embalse Lo Ovalle.....	37
4.5.5	Embalse Los Perales De Tapihue.....	37
4.5.6	Embalse Purísima.....	38
4.5.7	Embalse Cerrillos.....	38

4.5.8	Embalse Chacrillas.....	38
4.6	Región Metropolitana (R.M.) .....	39
4.6.1	Embalse El Yeso .....	39
4.6.2	Embalse Rungue .....	39
4.6.3	Embalse Huechún.....	39
4.7	Región del Libertador Bernardo O´Higgins (VI).....	40
4.7.1	Embalse Convento Viejo II .....	40
4.7.2	Embalse Los Cristales .....	40
4.7.3	Embalse Lolol .....	40
4.8	Región del Maule (VII).....	41
4.8.1	Embalse Ancoa .....	41
4.8.2	Embalse El Planchón .....	41
4.8.3	Embalse Laguna Del Maule .....	41
4.8.4	Embalse Digua .....	41
4.8.5	Embalse Bullileo .....	41
4.8.6	Embalse Tutuvén.....	42
4.9	Región del Bio Bio (VIII).....	43
4.9.1	Embalse Tucapel.....	43
4.9.2	Embalse Coihueco .....	43
4.10	Región de la Araucanía (IX) .....	44
4.10.1	Embalse Huelehueico.....	44
5	Definición del análisis.....	45
5.1	Descripción.....	45
5.2	Identificación y definición de los criterios .....	45
5.2.1	Descripción de los criterios .....	46
5.2.2	Árbol Jerárquico .....	56
6	Desarrollo del Modelo .....	58
6.1	Modelación de la rotura de presas en HEC-RAS .....	58
6.1.1	Parámetros utilizados para la modelación.....	58
6.2	Información para evaluar el modelo.....	64
6.2.1	Información Ambiental .....	64
6.2.2	Información Social.....	66

6.2.3	Información Económica .....	69
6.2.4	Información Técnico Estratégico.....	70
6.3	Asignación de peso a los criterios .....	72
6.3.1	Ponderación de Criterios.....	73
6.3.2	Ponderación de Sub-Criterios .....	74
6.4	Vector Propio de los Criterios .....	76
6.5	Ranking.....	78
6.6	Variaciones producto de modificaciones en el modelo.....	88
6.6.1	Modelo con criterio Dga y sin valores de $\alpha$ ni $V$ .....	88
6.6.2	Modelo con variaciones de ponderadores .....	91
7	Conclusiones .....	94
	Bibliografía .....	98
	Anexo .....	101

## Lista de Figuras

Figura 1.1 - Tendencias medidas por grandes aseguradoras de eventos geológicos, hidrometeorológicos, climáticos y tecnológicos”[4].....	10
Figura 1.2 - “Antes y después rotura presa Brunadinho, Brasil, Enero 2019” [6] .....	11
Figura 2.1 - Grandes presas en el mundo, según la DGA se definen grandes presas con altura de muro mayores a 30 metros y capacidad superior a 60 millones de m <sup>3</sup> (Fuente: Ministerio de Obras Públicas) .....	15
Figura 3.1 - Esquema jerárquico (Fuente: Elaboración Propia).....	22
Figura 3.2 - Identificación de los criterios .....	28
Figura 4.1 – Localización embalses XV región .....	32
Figura 4.2 - Localización embalses II región .....	33
Figura 4.3 - Localización embalses III región .....	34
Figura 4.4 - Localización embalses IV región.....	36
Figura 4.5 - Localización embalses V región .....	38
Figura 4.6 - Localización embalses región metropolitana.....	39
Figura 4.7 - Localización embalses VI región.....	40
Figura 4.8 - Localización embalses VII región.....	42
Figura 4.9 - Localización embalses VIII región.....	43
Figura 4.10 - Localización embalses IX región.....	44
Figura 5.1 - Esquema jerárquico de criterios y sub criterios .....	57
Figura 6.1 - Máximas alturas en simulación de inundación en Santiago (Fuente: HEC-RAS) .....	60
Figura 6.2- Altura de inundación en Santiago a través del tiempo (Fuente: HEC-RAS) ....	61
Figura 6.3 - Máximas alturas en simulación de inundación con malla 100x100 en Santiago (Fuente: HEC-RAS) .....	62
Figura 6.4 - Ejemplo de tabla para ser rellenada por especialistas .....	73
Figura 6.5 - Esquema jerárquico con ponderaciones de criterios y subcriterios.....	77
Figura 6.6 – Ponderación de subcriterios técnicos-estratégicos .....	89

## Lista de Tablas

Tabla 3.1 - Escala de prioridades de Saaty.....	24
Tabla 3.2 - Índice aleatorios por tamaños de matriz .....	27
Tabla 3.3 - Análisis de los indicadores .....	30
Tabla 3.4 - Cálculo de ranking (Índice) por criterios o alternativas .....	31
Tabla 5.1 – Resumen de subcriterios .....	46
Tabla 6.1 Tiempo de llegada de la primera ola a la primera ciudad aguas abajo de la presa .....	63
Tabla 6.2 – Ponderación de importancia en la información ambiental primer grupo .....	65
Tabla 6.3 – Ponderación de Importancia en la información ambiental segundo grupo .....	65
Tabla 6.4 – Ponderación de Importancia en la información ambiental tercer grupo .....	65
Tabla 6.5 - Integrantes del focus group .....	72
Tabla 6.6 – Ponderación de criterios.....	73
Tabla 6.7 – Ponderación de sub-criterio ambiental .....	74
Tabla 6.8 - Ponderación sub-criterio social.....	74
Tabla 6.9 – Ponderación sub-criterio económico.....	74
Tabla 6.10 - Ponderación sub-criterio técnico-estratégico .....	75
Tabla 6.11 - Ponderación por presa de importancia en criterio ambiental.....	78
Tabla 6.12 - Ponderación por presa de importancia en criterio ambiental.....	79
Tabla 6.13 - Ponderación por presa de importancia en criterio social.....	80
Tabla 6.14 - Ponderación por presa de importancia en criterio social.....	81
Tabla 6.15 - Ponderación por presa de importancia en criterio económico.....	82
Tabla 6.16 - Ponderación por presa de importancia en criterio económico.....	83
Tabla 6.17 - Ponderación por presa de importancia en criterio técnico-estratégico .....	84
Tabla 6.18 - Ponderación por presa de importancia en criterio técnico-estratégico .....	85
Tabla 6.19 - Ponderación por presa de importancia global.....	86
Tabla 6.20 - Ponderación por presa de importancia global ordenada de mayor a menor .	87
Tabla 6.21 - Ranking con criterio Dga y sin valores de $Q$ ni $V$ .....	90
Tabla 6.22 – Ranking con variaciones de ponderadores en el modelo.....	91
Tabla 6.23 – Variaciones en el Ranking .....	92
Tabla 6.24 - Variaciones en el Ranking.....	93
Tabla 7.1 – Información relevante de los primeros y últimos cinco del ranking .....	95
Tabla A.0.1 – Ponderación del área de zona de protección.....	101
Tabla A.0.2 – Ponderación del área de zona de protección.....	102
Tabla A.0.3 - Ponderación zonas de riesgo o de vulnerabilidad ambiental .....	103
Tabla A.0.4 - Ponderación zonas de riesgo o de vulnerabilidad ambiental .....	104

Tabla A.0.5 - Ponderación zonas patrimoniales.....	105
Tabla A.0.6 - Ponderación zonas patrimoniales.....	106
Tabla A.0.7 – Ponderación de cantidad de población en riesgo .....	107
Tabla A.0.8 – Ponderación de Interrupción de servicios directamente .....	108
Tabla A.0.9 - Ponderación de Interrupción de servicios directamente .....	109
Tabla A.0.10 – Datos de Interrupción de servicios indirectamente .....	110
Tabla A.0.11 - Datos de Interrupción de servicios indirectamente.....	111
Tabla A.0.12 - Ponderación de Interrupción de servicios indirectamente.....	112
Tabla A.0.13 - Ponderación de Interrupción de servicios indirectamente.....	113
Tabla A.0.14 - Ponderación de zonas agrícolas .....	114
Tabla A.0.15 - Ponderación de zonas agrícolas .....	115
Tabla A.0.16 - Ponderación de infraestructura publica .....	116
Tabla A.0.17 - Ponderación de infraestructura privada.....	117
Tabla A.0.18 - Ponderación de costo de reposición del embalse .....	118
Tabla A.0.19 - Ponderación de la capacidad del embalse .....	119
Tabla A.0.20 - Ponderación de la capacidad del embalse .....	120
Tabla A.0.21 - Ponderación de la cantidad de sismos soportados .....	121
Tabla A.0.22 - Ponderación de ciudades aguas abajo.....	122
Tabla A.0.23 - Ponderación del caudal peak.....	123
Tabla A.0.24 - Ponderación del caudal peak.....	124
Tabla A.0.25 - Ponderación de riesgo de volcanes .....	125
Tabla A.0.26 - Resumen de información para preas.....	126
Tabla A.0.27 - Resumen de información para preas.....	127
Tabla A.0.28 - Resumen de información de preas .....	128
Tabla A.0.29- Resumen de información de preas.....	129
Tabla A.0.30- Resumen de información de preas.....	130
Tabla A.0.31- Resumen de información de preas.....	131
Tabla A.0.32 - Zonas de conservación.....	132
Tabla A.0.33 - Sitios prioritarios.....	133
Tabla A.0.34 - Otras medidas de conservación.....	135

## Resumen de la memoria

La finalidad de este trabajo fue crear un ranking de peligro y afectación potencial para 36 presas construidas por el Estado de Chile a partir de criterios definidos por expertos en el área. Este ranking es precedente para futuras investigaciones más detalladas de los peligros y riesgos que conlleva la rotura de una presa, así también tener una pauta para la óptima distribución de recursos que puedan en un futuro destinarse a la prevención y alerta ante este tipo de eventos.

La priorización de las presas consideradas en esta memoria fue realizada mediante un análisis multicriterio, llamado proceso de análisis jerárquico o por su sigla en inglés AHP (Analytic Hierarchy Process) , desarrollado por Thomas L. Saaty(1980) [1] , basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso y que se utiliza para resolver problemas en los que se necesita priorizar distintas opciones y posteriormente elegir cual es la más adecuada, conveniente o en este caso peligrosa.

En el desarrollo del modelo participaron ingenieros del Ministerio de Obras Públicas. Este modelo fue compuesto por quince subcriterios que se evaluaron en todas las presas. Agrupados en cuatro criterios: Ambiental, Social, Económico y Técnico-Estratégico.

La aplicación del modelo multicriterio se dividió en tres etapas. La primera tiene como propósito recolectar la información, la segunda asignar pesos a los criterios y subcriterios del modelo y la tercera etapa, una vez estimadas las ponderaciones se evaluó la información de los criterios con una escala de importancia 10 a 1000.

Los resultados obtenidos a partir del modelo multicriterio indican que existen tres presas con un claro mayor peligro, estas son: El Yeso con 576,153 puntos, Laguna del Maule con 561,469 puntos y Cogotí con 436,454 puntos.

# 1 Generalidades

## 1.1 Introducción

La sociedad está cada vez más expuesta a peligros de índole natural y/o artificial, aun así, no se dimensiona en su totalidad la importancia de implementar medidas de seguridad que puedan disminuir o neutralizar el peligro para obras de gran envergadura.

Países como China, Estados Unidos, India, Japón y España, con gran cantidad de presas<sup>1</sup>, han desarrollado distintas leyes y protocolos[2] [3] destinados a disminuir los potenciales peligros de la rotura de una presa, tales como: clasificación adecuada de cada presa, presentación de análisis de peligro de cada presa, planes de emergencia y otros. Desafortunadamente este tipo de medidas no se refleja en otros países y solo surgen cuando se pierden vidas humanas.[4]

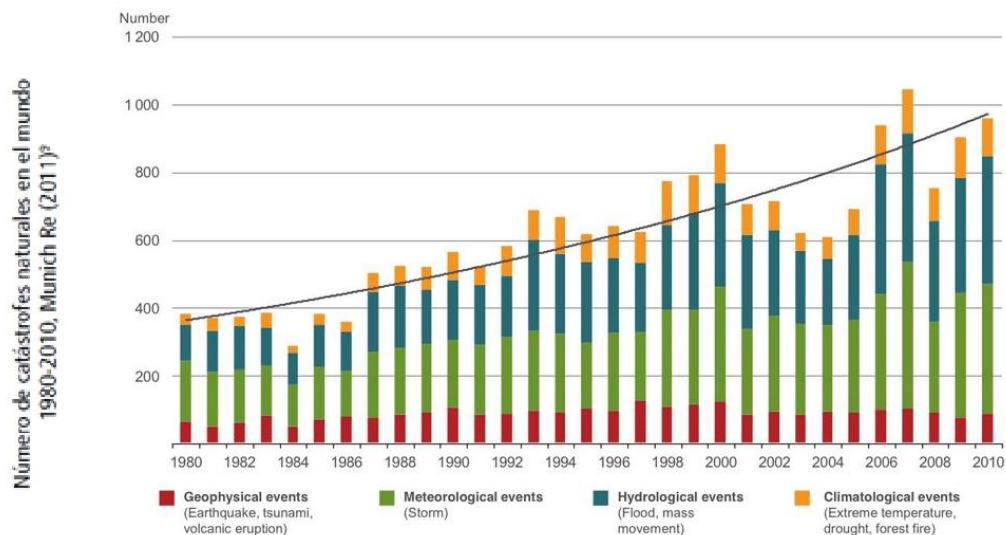


Figura 1.1 - Tendencias medidas por grandes aseguradoras de eventos geológicos, hidrometeorológicos, climáticos y tecnológicos[4]

Como se muestra en la Figura 1.1, el número de catástrofes a nivel mundial ha ido en aumento y Chile no está lejos de esta realidad. En términos de costos en infraestructura para nuestro país, este tipo de eventos han significado una cifra aproximada de US \$33.200.000.000 en los últimos 38 años.[5]

<sup>1</sup> En el presente trabajo se entiende que la presa es la estructura que permite almacenar o contener crecidas del río almacenando el agua para usos futuros y que el embalse es el cuerpo de agua que contiene la presa, sin embargo, en el presente trabajo ambos términos son utilizados indistintamente.

Los perjuicios económicos pueden ser grandes, sin embargo en lo que respecta a presas no son las únicas consecuencias de una inadecuada clasificación de peligrosidad y/o un inadecuado protocolo ante su eventual rotura, sino que puede afectar con resultados fatales a la población cercana ubicada aguas debajo de las presas.



*Figura 1.2 - “Antes y después rotura presa Brunadinho, Brasil, Enero 2019” [6]*

La Figura 1.2 muestra la rotura de la presa Brunadinho de Brasil que, según cifras oficiales, hasta el 18 de Febrero del 2019 se estimaron 169 muertos y 141 desaparecidos.[7]. Actualmente se cuenta con información de que fueron 270 los fallecidos.

Debido a la antigüedad de gran parte de las presas construidas por el Ministerio de Obras Públicas en su fase de diseño no fueron considerados análisis ambientales ni técnicos estratégicos.

En Chile no existe una clasificación de presas en función de su peligro o riesgo, por lo que se hace necesario generar un modelo de clasificación de las presas existentes y que esta misma herramienta pueda ser utilizada en un análisis comparativo de peligro para presas que se construyan a futuro y además elaborar los respectivos protocolos e implementar medidas de seguridad adicionales a las presas ya existentes.[8] [1].

El Departamento de Proyectos de Riego perteneciente al Ministerio de Obras Públicas en conjunto con la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Valparaíso desarrollará este trabajo para lograr que el Estado pueda enfocarse en las presas que requieren mayor atención, se obtendrá así un primer listado en el cual se podrán observar en los primeros puestos aquellas presas que poseen mayor relevancia, esto será una primera aproximación y pondrá sobre la mesa el nivel de peligro que estas representan en un nivel general ante una emergencia. El método a utilizar para desarrollar este listado, desde ahora llamado ranking, es el Analytic Hierarchy Process (AHP) el cual requiere información de entrada que será recabada u obtenida de diferentes fuentes, en particular algunos datos se obtendrán con modelos de inundación mediante el uso de HEC-RAS con su módulo bidimensional.

## **1.2 Objetivo General**

- Proveer una herramienta de planificación en materia de seguridad de presas para un universo de presas de riego construidas por el Estado, creando un ranking enfocado en los peligros y afectaciones potenciales, sin considerar riesgos asociados como la probabilidad de ocurrencia de rotura.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Identificar el universo de presas para determinar el ranking.
- Definición de áreas relevantes del modelo tales como: económica, técnica, ambiental, social, etc.
- Seleccionar los criterios relevantes a incorporar en el modelo.
- Priorizar o ponderar los criterios por el Focus Group (panel de expertos).
- Determinar el ranking de presas.
- Realizar análisis de sensibilidad y mencionar las medidas de prevención o disminución de efectos nocivos de las presas.

## **1.4 Alcances del estudio**

- Lo trascendental de esta memoria es ser precedente de futuros análisis que puedan profundizar más en los peligros y afectaciones potenciales de cada presa.
- Este trabajo aplica el Analytic Hierarchy Process (AHP) a 36 presas construidas por el Estado de Chile.
- La metodología puede ser aplicada en otras presas de índole privada o bien incorporando públicas y privadas.
- La memoria presenta datos existentes que no son variables en el tiempo, acotando el uso de esta información.

## 2 Marco Teórico

### 2.1 Definición de Riesgo y Peligro

En el diario vivir las personas se comunican y utilizan palabras que les permiten entenderse, sin embargo, muchas veces existe confusión entre una y otras, debido a su similitud. En reiteradas ocasiones se piensa que ciertas palabras son sinónimos lo que no es así, como es el caso de riesgo y peligro, cada uno puede tener acepciones muy diferentes dependiendo de cómo sean utilizadas. ¿Por qué es importante definir qué se entiende por riesgo y como se aborda en un ámbito profesional?, debido a como se concibe este significado es como se aplicarán los métodos para estudiarlo, analizarlo, evaluarlo, comunicarlos y prevenirlos.[9]

El riesgo siempre ha estado presente en cualquier actividad. En un principio se consideraba de una manera intuitiva y luego siendo consciente de este, el conocimiento de los riesgos ha permitido prevenir y enfrentar desastres naturales, tecnológicos sanitarios; proteger inversiones; disminuir los accidentes laborales, en una lista tan larga que se haría interminable.[9]

Riesgo está definido de la siguiente manera:

“Probabilidad de que un fenómeno, de origen natural o humano, se produzca en un determinado tiempo y espacio el cual es un peligro (potencial) a la vida, bienes materiales, al medioambiente y/o la salud.”[9]

Por otra parte, un peligro se entiende como "un factor de exposición que puede afectar a la salud, bienes materiales, al medioambiente y/o a la vida"[9]

Es decir, el peligro es una cualidad de la fuente de daño; el riesgo es una probabilidad de dañar si se entra en contacto con esa fuente en determinadas circunstancias. Siendo así el peligro una fuente o situación con potencial de daño en términos de lesión o enfermedad, daño a la propiedad, al ambiente o una combinación de estos.[9]

### 2.2 Marcos legales y estipulaciones en políticas

A nivel internacional existían pocos marcos de políticas, legales y reguladores que rigieran la construcción de grandes presas antes de los años 70 , en particular para aspectos sociales y ambientales, sin embargo, varios países actualizaron sus marcos de políticas y regulaciones en los años 80 y 90 dando énfasis a las preocupaciones sociales y ambientales, la participación pública, la eficiencia y la recuperación de costos. En la actualidad existe un amplio cuerpo de regulaciones potencial o explícitamente aplicables a grandes presas en la esfera internacional, con referencia a los sectores tanto público como privado.[10]

Las regulaciones existentes en la mayoría de los países tienden a centrarse en la valoración preliminar e implementación de proyectos, eventualmente pudiendo no prestar atención suficiente a la evaluación de opciones demenor importnacia en las primeras fases del proceso de toma de decisiones donde se toman opciones fundamentales, es decir considerar una evaluación en la cual

se incluyan otras variables no esenciales del proyecto. Pocos realizan valoraciones y evaluación de desempeño regulares que podrían retroalimentar para una toma de decisiones mejor informada basada en experiencias pasadas, ni tampoco buscan recurrir a quienes pueden verse perjudicados por un proyecto concreto.[10]

En muchos casos la presión social ha generado suficiente impulso para asegurar que se produzcan negociaciones constructivas, y que los proyectos de presas no se impongan sin consulta a comunidades desplazadas.[10]

*“El estudio de verificación demuestra que, desde los años 50, una cantidad creciente de proyectos han exigido seguridad de la presa, análisis económicos de costo-beneficio y planes financieros. Pero las técnicas de valoración económica preliminar, como el análisis de riesgo y de distribución, sólo se exigieron en los años 90 para el 20% de los proyectos de grandes presas. El análisis de sensibilidad es más común y se ha convertido en norma para proyectos financiados por concesiones. La seguridad de las presas es un elemento clave para las presas del mundo que han llegado a envejecer y muchas entidades han asumido el reto, con el apoyo de las redes de ingeniería de ICOLD”[10]*

A través de los años siempre ha existido la noción de seguridad en las presas, pero un análisis de riesgos o en este caso de peligros en la fase de planificación eventualmente podían o no ser considerados en el siglo XX, sin embargo esto ha ido cambiando en los últimos 30 años, los proyectos de construcción van en aumento y que los esfuerzos realizados a nivel global con ayuda del ICOLD van de continuo en aumentar la seguridad de las presas y así evitar futuras catástrofes, incentivando y apoyando a las entidades responsables a mejorar la seguridad de las presas existentes y de aquellas que se contruiran. En el caso particular de Chile no se ha realizado una clasificación de peligrosidad, a pesar de que existen normativas y manuales de otros países que hablan al respecto. Esto podría deberse a la falta de iniciativas políticas y ministeriales que puedan aportar a este tema y además, como se muestra en la Figura 2.1, Chile tiene un porcentaje muy bajo a nivel mundial de grandes presas, sin embargo, esto último no debería tomarse como un motivo que aminore el peligro o que impida la realización de este ranking de peligro en presas construidas por el Estado.

País	Cantidad	%
China	22.000	46,3%
USA	6.575	13,8%
India	4.291	9,0%
Japón	2.675	5,6%
España	1.196	2,5%
Canadá	793	1,7%
Corea del Sur	765	1,6%
Turquía	625	1,3%
Brasil	594	1,2%
Francia	569	1,2%
<b>Chile</b>	<b>90</b>	<b>0,2%</b>
Otros	7.372	15,5%
Total	47.545	

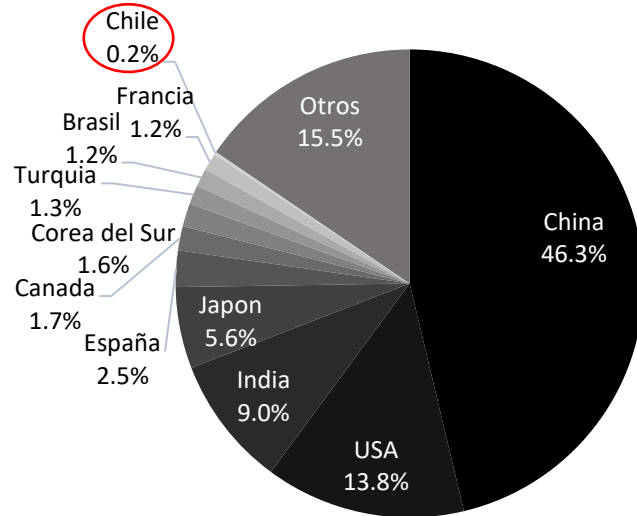


Figura 2.1 - Grandes presas en el mundo, según la DGA se definen grandes presas con altura de muro mayores a 30 metros y capacidad superior a 60 millones de m<sup>3</sup> (Fuente: Ministerio de Obras Públicas)

### 2.3 Inicio de Políticas de seguridad de presas de los países con mayor cantidad de grandes presas

Si bien, existen desde hace ya bastante tiempo políticas para la construcción de presas las cuales consideran buenas prácticas en el diseño y ejecución, sin embargo, para asegurar el bajo peligro de una presa esto se realizaba de una manera más intuitiva y desde hace relativamente poco tiempo existen políticas en seguridad de presas que tengan normativas claras y fundadas. En los cinco países con mayor presencia de grandes presas los años en que se comenzó a implementar políticas públicas al respecto son los siguientes:

- China en el año 1991 [11]
- Estados Unidos en el año 1977 [12]
- India en el año 1999 [13]
- Japón en el año 1997 [14]
- España en el año 1995 [8]

En cuanto a seguridad los países más cercanos a Chile como Argentina, la ORSEP (Organismo Regulador de Seguridad de Presas) es quien fiscaliza la seguridad estructural de las presas, sin embargo, aún no existe una clasificación de peligro o riesgo de las mismas [15], en cambio Brasil en su informe de seguridad de presas se encontraron 45 embalses con mayor vulnerabilidad considerándose para esta evaluación daño potencial asociado, características técnicas, listado de conservación y plan de seguridad de la presa.[16]

Actualmente Chile no cuenta con un organismo que se encargue de la seguridad de presas como son el ORSEP (Argentina), MITECO (España) y FEMA (Estados Unidos) los cuales entre sus funciones se destacan:

- Aprobar clasificación peligro de la presa
- Realizar ranking de peligro de las presas a su cargo
- Información de riesgo según estado de proyectos
- Inspección de presas
- Aprobación de normativas de explotación del recurso
- Evaluar revisiones e informes de seguridad de la presa
- Establecer por razones de seguridad vaciados parciales
- Velar por el cumplimiento de la ley de seguridad de presas
- Mantener actualizado el registro de presas

En Chile a pesar de que no hay un organismo como tal, el encargado de velar por la seguridad en el proceso constructivo es la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), en particular el Departamento de Proyectos de Riego (DPR) quien es el encargado de formular licitaciones, verificar que los diseños solicitados cumplan con la normativa, solicitar estudios, tomar parte como inspectores fiscales, entre otras funciones. En cuanto a seguridad de presas, si bien existen leyes y normativas de construcción, la limitante de la DOH es que no es un organismo preocupado constantemente por la seguridad de las presas a través del tiempo (desde su elaboración hasta su post abandono)

## 2.4 Modelos Multicriterio

El Estado debe alcanzar sus diferentes objetivos con sus recursos, tales como personas, dinero, materiales y funciones de gestión. Para lograr esto, la jefatura de los funcionarios públicos están en un proceso continuo de toma de decisiones.

Una decisión adecuada eventualmente puede llevar a una mayor eficiencia en el proceso, un mejor uso de los recursos y resultados más beneficiosos.

La toma de decisiones puede ser realizada por un grupo de trabajo o personas individuales, por lo general las decisiones individuales son tomadas en los niveles inferiores de gestión y las decisiones grupales en niveles superiores de gestión. El tomador de decisiones en un grupo, se le dificulta su labor, debido a que veces existen diferencias en el nivel de importancia dado por los participantes a los distintos factores involucrados, obligando a solicitar más información técnica para tomar decisiones de alta calidad, es decir cuando un grupo no está de acuerdo en la importancia de algún factor involucrado el tomador de decisiones debe pedir más información técnica para asegurar que la importancia dada sea la adecuada [17]

La pregunta que surge a continuación es ¿cómo determinar el nivel de importancia de cada factor y condensar toda la información para tomar la mejor decisión?

Para dar solución a esta incógnita es que surgen los modelos multicriterio enfocados a dar una solución adecuada a un conjunto de alternativas a través de diferentes criterios. Este tipo de modelo es necesario para esta memoria debido a que es una de las recomendaciones por la Comisión Mundial de Presas [18].

La comisión mundial de presas indica tres modelos multicriterio que son adecuados para una clasificación de peligrosidad de presas, las cuales son:

**Modelo de utilidad multiatributo (MAUT):** Busca entregar una preferencia del decidor sobre un conjunto de criterios y se fundamenta en la maximización de la función utilidad, todo par de acciones son susceptibles a ser comparadas y el orden de preferencias es transitivo. Este modelo no contempla un orden jerárquico y solo se contempla un listado de criterios que se comparan entre ellos, por lo que en el orden y ponderación de los criterios no expresaran claramente un conjunto de criterios, agrupados en un ámbito que sea más relevante.[19]

**Método de superación:** Se busca determinar si una alternativa supera a otra buscando criterios que señalen su supremacía, sin embargo, las relaciones entre criterios no necesariamente son transitivas lo cual es una clara desventaja para el ranking que se busca realizar.[19]

**Proceso de análisis jerárquico (AHP):** El método AHP se caracteriza por su flexibilidad, la cual facilita el comprender de mejor manera los problemas. Esto permite llevar a cabo un proceso ordenado y gráfico de las etapas requeridas en la toma de decisiones. Asimismo, el AHP permite analizar por separado la contribución de cada componente del modelo respecto al objetivo general.[19]

De los tres modelos, el proceso de análisis jerárquico cuenta con la posibilidad de organizar de mayor a menor y además compararlas entre si, a diferencias de las otras dos mencionadas que carecen de alguna de estas cualidades, en base a las consideraciones realizadas, se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico, buscando con este optimizar lo recursos que pueden ser empleados en un futuro para la seguridad de presas.

## 2.5 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

El proceso de análisis jerárquico (AHP) es un proceso de análisis multicriterio desarrollado a fines de 1970 por el doctor en matemáticas Thomas L. Satty. [17]

Thomas L. Satty reconoce que sus primeras investigaciones surgieron debido a que él siendo parte del Departamento de Control de Armas de los Estados Unidos y la Agencia de Desarme, se encontraba con la dificultad de que los métodos de toma de decisiones eran complejos, deficientes y poco adecuados a la realidad tanto matemática como su relevancia en el mundo real. Él se preguntaba cómo podría transformar esta toma de decisiones en un proceso jerárquico capaz de lograr los objetivos propuestos con una mayor facilidad y mejores resultados. Es así como surge el proceso de análisis jerárquico (AHP)[17]

El proceso de análisis jerárquico (AHP) requiere que, quien tome la decisión, proporcione evaluaciones subjetivas de los criterios necesarios, ya que ningún criterio puede tener una dominación absoluta por sobre otro ni tampoco puede existir una idea preconcebida de que un criterio siempre será más relevante que otro, siendo posible que en la presentación de información se encuentre con otro criterio que puede tener mayor relevancia que el que se pensaba en un inicio. Finalmente, el resultado entregado por el proceso de análisis jerárquico (AHP) es un jerarquización de prioridades de las mejores alternativas para una decisión.[17]

Una de las grandes ventajas de este método es que permite ingresar información cualitativa que en algunos casos puede ser relevante en la toma de decisiones y que son difícil de ingresar en otros modelos de toma de decisiones o que sencillamente no se pueden ingresar.[17]

Las cualidades que destacan de este modelo son:

- Posibilidad de comparar criterios y escalas diferentes
- Independencia de los resultados entre distintas alternativas
- El cambio en las soluciones debido a introducción de nueva información

Esto último lo diferencia de los modelos clásicos que siempre arrojan el mismo orden de clasificación en las alternativas, incluso cuando se cambian las prioridades en los criterios o se agregan criterios cualitativos que no estaban considerados, lo cual eventualmente no es representativo[17]

Una definición simple del modelo de análisis jerárquico sería, "El AHP consiste en desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión."[17]

El AHP se fundamenta[17] en:

- La estructuración del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, subcriterios y alternativas).
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de "pesos".
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.
- Síntesis.
- Análisis de Sensibilidad.

### **2.5.1 Ventajas y Desventajas de la Metodología AHP**

Como en todo ámbito de estudio, el Proceso Analítico Jerárquico posee ventajas y desventajas:

Ventajas [17]:

- Presenta un sustento matemático.
- Permite desglosar y analizar un problema complejo por partes.
- Permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- Incluye la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso.
- Genera una síntesis y da la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.

Desventajas [17]:

- Si la estructura jerárquica del proceso de decisión se encuentra mal diseñada, o no se consideran factores importantes para la investigación, los pesos de los criterios pueden distorsionarse, causando errores en los resultados obtenidos, debido a esto es necesario un grupo con vasta experiencia en el área a tomar una decisión.

## **2.6 Preparación y Organización Para Usar AHP**

El equipo de toma de decisiones debe prestar especial cuidado en la planificación y aplicación del método teniendo en consideración los siguientes puntos descritos en el presente capítulo [17].

### **2.6.1 Definición de los participantes**

Quien o quienes estén a cargo de la toma de decisiones deben seleccionar un grupo (focus group) adecuado de participantes en la toma de decisiones teniendo presente cuantos serán los participantes, el nivel educacional de los mismos, experiencia en el área, a quien representan y sus posibles aportes a la toma de decisión. [17]

Al inicio de este proceso se debe contar con un grupo de participantes al cual llamaremos focus group que, por su experiencia, capacidades técnicas o por su eventual relación con esta toma de decisiones es importante incluir ya que pueden entregar información relevante y/o dar sugerencias a los tomadores de decisiones. El focus group sostuvo reuniones para designar los criterios y sub criterios utilizados para la toma de decisiones, además cada participante individualmente debió ponderar los criterios entre si según se explica más adelante.

### **2.6.2 Información requerida**

Este punto es clave para el proceso AHP, debiendo en primera instancia identificar la calidad y cantidad de información necesaria. Esta información puede ser técnica, científica o dada por la experiencia de los participantes. Puede que debido al interés de los participantes se requiera obtener nueva información o complementaria, en este caso es necesario cuidar de que el tiempo requerido para obtener la información e integración al modelo, sea menor al tiempo para la toma de la decisión, sin embargo, si la información se considera crucial esta debe ser incluida a pesar de que existan retrasos.[17]

Diferentes países utilizan diferentes criterios, entre ellos los más utilizados son: Población en riesgo[8], Afecciones a servicios esenciales[8], Daños materiales[8], Daños medioambientales[8], Perjuicios, Socioeconómicos[20], Antecedentes Técnicos de la Presa [21], Proyección de población en un futuro[21], Hidrogramas[21] y plan de seguridad de la presa[16]. Pudiendo integrarse otros parámetros, pero siendo estos los más relevantes.

No en todos los países se utilizan todos estos criterios al mismo tiempo por lo que a continuación se menciona cuáles son los criterios que se utilizan en los distintos países y su forma de clasificación en cuanto a seguridad de presas.

En España existe un manual para realizar la clasificación por peligro de una presa asignándola dentro de un grupo según distintos criterios, los cuales son[8]:

- Población en riesgo
- Afecciones a servicios esenciales
- Daños materiales
- Daños medioambientales

Según cual sea el resultado estas se clasifican como presa de categoría A, B o C, siendo las de categoría A y B las más peligrosas y la categoría C la menos peligrosa y que solo causaría pérdidas materiales de mediana importancia y solo incidentalmente pérdida de vidas humanas. [8]

En los Estados Unidos se le da prioridad para la clasificación por peligro a la posible pérdida de vidas humanas, pérdidas económicas debido a daño o derrumbe de estructuras, antecedentes técnicos de la presa, proyección de población en un futuro, hidrogramas. Cada presa es clasificada en un grupo los cuales son mencionados a continuación desde el más peligroso al menos peligroso [21]:

- High Hazard Potential
- Significant Hazard Potential
- Low Hazard Potential
- Minimal Hazard Potential

En Sudamérica, Argentina cuenta con un organismo regulador de seguridad de presas el cual abreviado por sus siglas se nombra como ORSEP, este vela por la seguridad en la construcción y mantenimiento de las presas en Argentina [22]. En el 2017 se realizó una clasificación de peligro en una zona complejo de Cerro Colorado, Argentina. Desde el 2018 se está trabajando para realizar una clasificación de presas por sus peligros potenciales tomando en consideración los siguientes parámetros [22]:

- Estudio hidrológico.
- Análisis de componentes mecánicos y estructurales, informes de estado y seguimiento.
- Conocimiento de las zonas de inundación.
- Estudio de daños económicos y población en las zonas afectadas.
- Conocimiento de las normas de operación y capacidad de atenuación de crecidas del embalse.
- Estudio de medidas correctivas, costo de implementación y reposición de las obras.

En Brasil existe la Agencia Nacional de Aguas (ANA), encargado de la seguridad de presas en este país, la clasificación es realizada según distintos criterios dados por el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), mediante la Resolución N.º 143/2012 los cuales son[23]:

- Categorías de peligro
- Daño potencial asociado
- Volumen del embalse

### **2.6.3 Tiempo y otros recursos asociados con el proceso**

Es esencial definir el tiempo con que se cuenta para la toma de decisión, esto afectará en la cantidad de información a integrar en el método, la cantidad de participantes, fechas límites para distintas etapas del proceso, entre otros.[17]

Además debe considerarse un anfitrión o facilitador, quien debe preocuparse de animar al grupo, orientar, planificar y preocuparse de que el grupo o también llamado focus group entienda el método de trabajo.[17]

### 3 Metodología

En este capítulo se presentará los pasos a seguir para realizar en el método AHP y los posibles cursos de acción frente a algunas dificultades.

El método AHP tiene tres principios fundamentales que serán detallados en el presente capítulo:

- Construcción de las jerarquías
- Establecimiento de prioridades
- Consistencia Lógica

#### 3.1 Construcción de Jerarquías

La construcción de jerarquía se realiza para poder llegar a tener identificado los roles que toma cada criterio y su nivel de participación o influencia que podría tener sobre el objetivo o foco. La construcción de jerarquías sigue el siguiente lineamiento:

- Objetivo o foco
- Criterios
- Subcriterio
- Alternativas

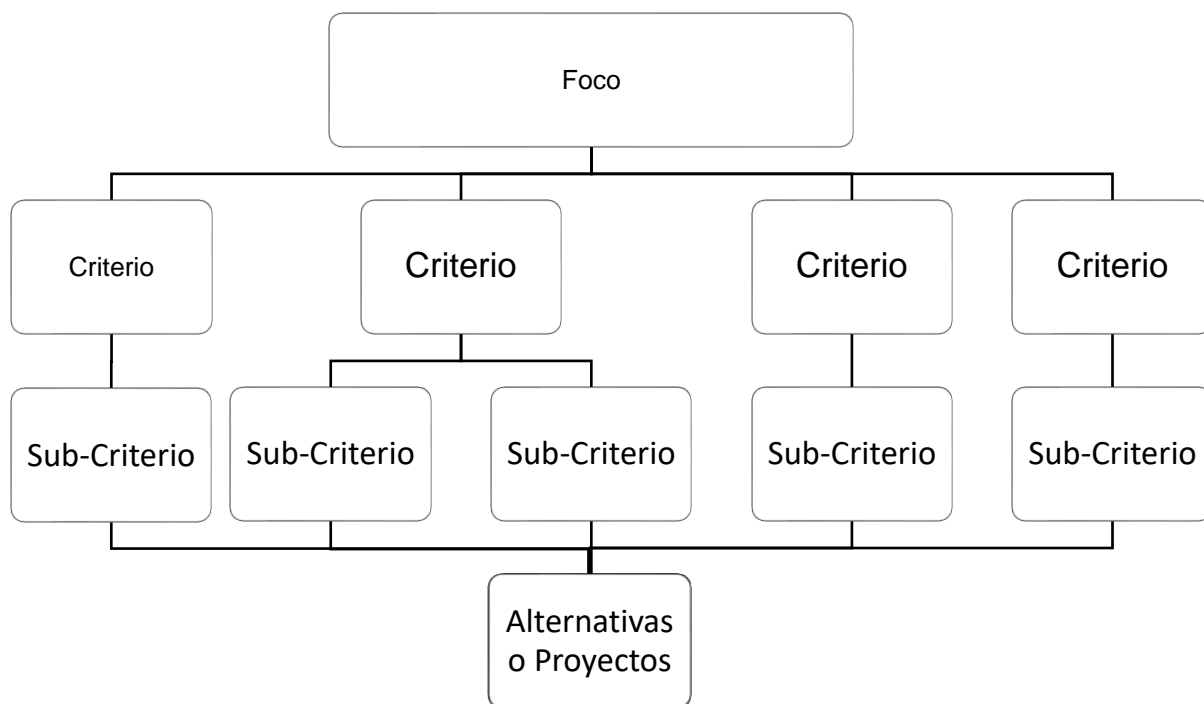


Figura 3.1 - Esquema jerárquico (Fuente: Elaboración Propia)

En la Figura 3.1, se muestra cómo se podría estructurar jerárquicamente la elección de un proyecto para establecer un ranking de peligrosidad latente y afectaciones potenciales en presas de riego construidas por el Estado de Chile

### **3.1.1 Objetivo o Foco**

Es el objetivo o foco al cual se intenta alcanzar mediante alguna de las alternativas que se dispone. Clasificando las alternativas mediante una priorización de estas.

### **3.1.2 Criterios**

Son los aspectos relevantes que eventualmente afectan al objetivo y deben caracterizar la preferencia de los implicados en la toma de decisiones. Se pueden incluir aspectos cuantitativos y cualitativos.

### **3.1.3 Sub Criterios**

Son los aspectos relevantes que eventualmente afectan a un criterio y deben caracterizar la preferencia de los implicados en la toma de decisiones. Se pueden incluir aspectos cuantitativos y cualitativos.

### **3.1.4 Alternativas**

Son propuestas factibles mediante las cual se puede lograr el objetivo general.

## 3.2 Principio de prioridades

Se propone una escala de prioridades (Satty[1], Tabla 3.1) como forma de facilitar la clasificación de los criterios. La mente humana es muy buena en realizar elecciones entre dos alternativas y se le dificulta la decisión mientras más alternativas tenga, es por esto que se realiza una síntesis de los conjuntos de juicios dando como resultado la escala de intensidades de preferencias (prioridad).

Tabla 3.1 - Escala de prioridades de Saaty

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual Importancia	Dos actividades contribuyen de igual forma al objetivo
3	Moderada Importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Importancia fuerte	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes Hipótesis del método

Se debe crear una matriz para cada criterio o subcriterio de la jerarquía pudiendo así determinar las prioridades de cada elemento en el nivel inferior a este criterio o subcriterio.

Cuando existen varios expertos se debe llegar a un consenso, sin embargo, cuando esto no ocurre Satty resolvió este inconveniente integrando los juicios a través de la media geométrica (Ecuación 3.1) de la siguiente forma:

$$A_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n a_{ij}^n} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

$A_{ij}$  = Es el resultado de la integración de los juicios para el par de criterios i,j.

$a_{ij}^n$  = Es el juicio del involucrado para el par de criterios.

$n$  = Corresponde al número de involucrados que expresan sus juicios sobre los criterios.

Para el establecimiento de prioridades se realiza una matriz de comparaciones pareadas de criterios.

Sea A una matriz nxn y sea  $a_{ij}$  el elemento (i, j) de A. Se dice que A es una matriz de comparaciones pareadas de n alternativas, si  $a_{ij}$  es la medida de preferencia del criterio en i cuando se compara con el criterio en j. Cuando  $j=i$ , el valor de  $a_{ij} = 1$  pues se compara el criterio con sí mismo.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Además, se cumple que  $a_{ij} * a_{ji} = 1$ , es decir:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Una vez elaborada la matriz de comparaciones pareadas se puede calcular la prioridad de cada uno de los elementos que se comparan. El proceso matemático que se requiere es el cálculo de vectores y valores propios (Ecuación 3.2) el cual puede expresarse como:

$$A * w = \lambda * w \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

A = Matriz recíproca de comparaciones a pares (preferencia de un criterio sobre otro).

w = Vector propio que representa el ranking u orden de prioridad.

$\lambda$  = Máximo valor propio que representa una medida de la consistencia de los juicios.

Para el cálculo se considera las prioridades de cada criterio en términos de la meta global.

$$\begin{matrix} \text{Criterio 1} \\ \text{Criterio 2} \\ \vdots \\ \text{Criterio n} \end{matrix} \begin{bmatrix} P'1 \\ P'2 \\ \vdots \\ P'n \end{bmatrix}$$

Donde n es el número de criterios y  $P'n$  es la prioridad del criterio i con respecto a la meta global, para  $i= 1,2,\dots,n$

### 3.3 Principio consistencia lógica

En el sentido de consistencia el ser humano es capaz de establecer relaciones claras entre objetos o idea de manera que las relaciones muestren congruencia[19]. Al llevar esto a un aspecto matemático es necesario que existan transitividad y proporcionalidad; en la primera se debe respetar las relaciones de orden entre ellos es decir si,  $A > B \wedge B > C$  se puede deducir que  $A > C$  y en la segunda es que las proporciones en orden de magnitud deben cumplirse con un rango de error permitido. Por ejemplo, si A es mayor 3 veces que C y C es mayor dos veces que B, entonces A debe ser 6 veces mayor que B, estos criterios serían 100% consistentes, sin embargo, se permite una variación en este último punto.[19]

Dado que no se puede emitir una valoración exacta, esto implica que los juicios no sean totalmente consistentes, no obstante, cumplirá con su relación de transitividad pero que no cumplirá con la proporcionalidad en su totalidad.

Es por esto que se requiere un valor de consistencia que dependerá del grado de dispersión del focus group, el cual se llama relación de consistencia y corresponde al resultado entre el índice de consistencia y el índice aleatorio. El índice de consistencia es una medida de la desviación de consistencia de la matriz de comparaciones y el índice aleatorio es el índice de consistencia de una matriz recíproca aleatoria, con recíprocos del mismo rango de escala 1 a 9.

La proporción de consistencia no debe superar el 10%, para que sea evidente un criterio unificado.

Para el cálculo de la relación de consistencia, Saaty definió una nueva relación (Ecuación 3.3) que ofrece un cálculo más sencillo que la Ecuación 3.2 y se expresa de la siguiente manera:

$$\lambda_{Max} = V * B \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

$\lambda_{Max}$  = Es el máximo valor propio de la matriz de comparaciones a pares.

$V$  = Es el vector de prioridades o vectores propios, que ya se obtuvo de la matriz de comparaciones.

$B$  = es una matriz fila correspondiente a la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparaciones a pares. Es una matriz de  $m \times 1$ , donde m es el número de columnas de la matriz de comparaciones.

Como resultado el AHP calcula la razón de consistencia (RC), como se muestra en la Ecuación 3.4, como el cociente entre el índice de consistencia A (IC) y el índice de consistencia aleatorio (IA):

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

El índice de consistencia (Ecuación 3.5) de A (IC) se calcula como:

$$IC = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Para obtener el índice de consistencia aleatorio (IA) se necesita antes un valor índice o índice aleatorio (Ver Tabla 3.2). Para este existe una tabla elaborada por Saaty que muestra los valores índices o índice aleatorio para una serie de matrices aleatorias:

Tabla 3.2 - Índice aleatorios por tamaños de matriz

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

El tamaño de matriz representa la cantidad de criterios para cada conjunto de criterios en un mismo nivel de jerarquía.

El AHP mide la inconsistencia global de diversos criterios agrupados en una matriz y es evidencia de un criterio informado una Relación de Consistencia menor a 0.1 (Ecuación 3.4), por lo tanto, no es necesario reevaluar los juicios expresados en la matriz de comparaciones. En caso contrario, si la Relación de Consistencia fuera mayor, se haría necesario reevaluar los criterios. Esto significaría que se vuelva a consultar a los expertos.

## 3.4 Proceso para realizar AHP

### 3.4.1 Definición de un grupo de expertos

El método multicriterio requiere la construcción de un modelo que sirva para la evaluación de el o los proyectos. Este modelo se realiza a partir de un estudio de los objetivos relevantes. Por lo tanto, es necesario un grupo de expertos, en este caso de presas, que sepa identificar estos criterios para la posterior construcción del modelo. [19]

Deben quedar resueltas preguntas como: quienes, cuantos, nivel de educación requerido, a quien representan, porque deben formar parte del proceso; ya sea por su conocimiento de la situación del problema o porque representan a un grupo de interés, entre otros. [17]

### 3.4.2 Selección de criterios

La selección de criterios dependerá del nivel jerárquico donde se quiera implementar la iniciativa y dependerá de cuáles son los objetivos que se deban considerar ya sea de política, planes, programas y los del propio proyecto (Figura 3.2). [19]



Figura 3.2 - Identificación de los criterios

Se deben incluir aspectos vitales tanto cuantitativos como cualitativos, además los criterios deben cumplir con una relación causal entre estos y los objetivos especificados del análisis. [17]

### 3.4.3 Especifique las variables e indicadores

Se debe identificar los indicadores para los criterios con la mayor rigurosidad posible cuidando de que los indicadores representan claramente los criterios que serán utilizados. Para ello es necesario que estos sean divididos en variables (subcriterios) que pueden ser “medidas” y evaluadas. [19]

#### **3.4.4 Esquema jerárquico**

Una vez definido los criterios se construye un esquema jerárquico del modelo, se deben ordenar los criterios por niveles desde los más generales hasta los más específicos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

#### **3.4.5 Construcción de las prioridades**

Se debe ingresar juicios con respecto de la importancia relativa de los criterios y sus subcriterios. Además, se debe establecer las relaciones de importancia entre ellos. [19]

Los indicadores pueden estar guiados por información científica y/o técnica y dada por la experiencia, útiles para evaluar los criterios del modelo. Esta evaluación se realiza por combinaciones de pares frente a un tercer elemento, el cual consiste en que cada experto debe darle un valor a cada elemento del nivel de jerarquía en comparación a otro generando así una matriz cuadrada de un tamaño tal cual, sea la cantidad de criterio globales existan. [17]

#### **3.4.6 Comprobar Consistencia**

Para el método AHP se debe verificar la consistencia, para ello se debe realizar el proceso mencionado en el capítulo 3.3 y el valor debe ser inferior al 10%, en caso de que la relación de consistencia sea mayor se debe reingresar los juicios y volver a calcular los ponderadores y la relación de consistencia hasta que sea menor al 10%

### 3.4.7 Análisis de los indicadores

Los indicadores de cada criterio pueden ser cuantitativos o cualitativos por lo que es necesario antes de comenzar, revisar la información con detención para identificar cuáles son los criterios que podrían ser cualitativos y cuales son cuantitativos.

En caso de que la información sea cualitativa, esta debe ser “cuantificada” según el modelo que se esté utilizando, en este caso la escala dada por Satty para el modelo AHP. Con el fin de poder realizar este proceso de manera ordenada se construye una tabla que permita su homologación numérica y en estas se debe establecer la relación entre una escala cualitativa y cuantitativa (Tabla 3.3).

Para el método AHP es importante que el rango de las escalas de las tablas, tanto cuantitativas como cualitativas, sea el mismo.

Tabla 3.3 - Análisis de los indicadores

Indicador Cualitativo	Correlativo Numérico		Proyecto	Indicador Cualitativo	Correlativo Numérico
Alto	9	→	A	Medio bajo	3
Medio alto	7		B	Alto	9
Medio	5		C	Medio	5
			D	Medio alto	7

Indicador Cuantitativo	Indicador Cualitativo		Proyecto	Indicador Cuantitativo	Indicador Cualitativo	Correlativo Numérico
9-7	Alto	→	A	5-3	Medio	3
7-5	Medio alto		B	1-0	Bajo	9
5-3	Medio		C	9-7	Alto	5
3-1	Medio bajo		D	3-1	Medio bajo	7
1-0	Bajo					

### 3.4.8 Cálculo del Índice

El cálculo de un índice para cada uno de los criterios ayuda a ordenar las alternativas en un ranking. Para el cálculo de este índice es necesario multiplicar cada índice normalizado o también llamado cálculo de vectores y valores propios que anteriormente se definió en el capítulo 3.2, por su correspondiente ponderador. Este proceso debe ser realizado para cada una de las alternativas o proyectos que se esté evaluando.

### 3.4.9 Establecer Ranking

Se ordenan jerárquicamente los índices calculados para cada alternativa o proyecto de mayor a menor (Tabla 3.4) y se le da mayor importancia a aquel que obtuvo un mayor valor en la evaluación. Teniendo en consideración que  $w > x > y > z$

Tabla 3.4 - Cálculo de ranking (Índice) por criterios o alternativas

Proyecto o alternativa	Índice		Proyecto o alternativa	Índice	Ranking
A	y	→	B	w	1
B	w		D	x	2
C	z		A	y	3
D	x		C	z	4

### 3.4.10 Análisis de Sensibilidad

Se debe realizar un análisis del comportamiento del ranking obtenido anteriormente frente a cambios en las ponderaciones de los principales criterios, para esto es necesario definir posibles escenarios y compararlos con el escenario actual de evaluación. Finalmente se debe identificar bajo qué condiciones los proyectos o alternativas se mantiene o existe poca variación,

## 4 Emplazamiento, características e información relevante

A lo largo de Chile existe una gran cantidad de embalses dedicados para distintos fines de los cuales en este estudio se abordan 36 grandes embalses construidos por el Estado y destinados para riego. A continuación, se muestra su ubicación según región y se entrega una breve descripción del mismo.

### 4.1 Región de Arica y Parinacota (XV)

#### 4.1.1 Embalse Caritaya

Está ubicado en el sector precordillerano en la comuna de Camarones que pertenece a la provincia de Arica, localizado a 165 Km de la ciudad de Pisagua (ver Figura 4.1), con un volumen total de 42 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Caritaya el cual pertenece a la cuenca de Quebrada Río Camarones. El tipo de presa es enrocado y fue construida en el año 1935.

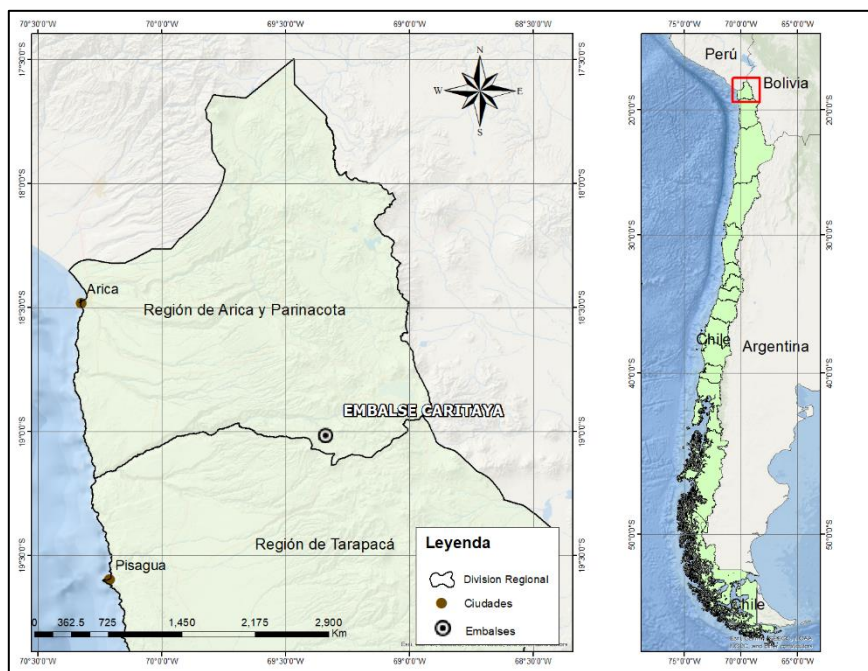


Figura 4.1 – Localización embalses XV región

## 4.2 Región de Antofagasta (II)

### 4.2.1 Embalse Conchi

Está ubicado en el sector precordillerano en la comuna de Calama que pertenece a la provincia de El Loa, localizado a 70,4 Km de la ciudad de Calama (ver Figura 4.2), con un volumen total de 22 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Loa el cual pertenece a la cuenca Río Loa. El tipo de presa es enrocado y fue construido en el año 1976.

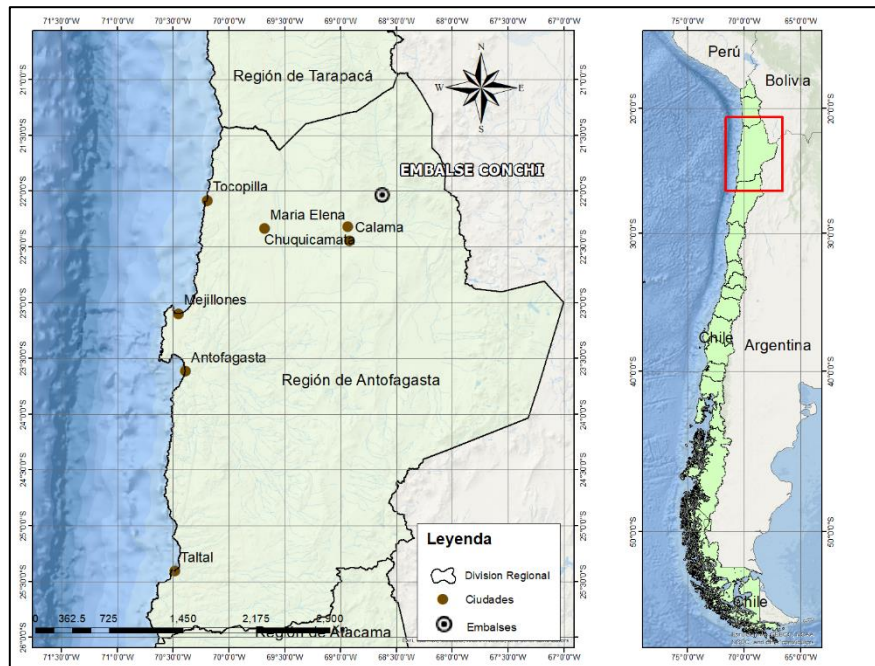


Figura 4.2 - Localización embalses II región

## 4.3 Región de Atacama (III)

### 4.3.1 Embalse Santa Juana

Está ubicado en sector valle de la comuna de Vallenar que pertenece a la provincia del Huasco, localizado a 18,6 Km de la ciudad de Vallenar (ver Figura 4.3) con un volumen total de 160 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Huasco el cual pertenece a la cuenca del mismo nombre. El tipo de presa es enrocado y fue construido en el año 1995.

### 4.3.2 Embalse Lautaro

Está ubicado en sector precordillerano de la comuna de Tierra Amarilla que pertenece a la provincia de Copiapó, localizado a 96,9 Km de la ciudad de Copiapó (ver Figura 4.3), con un volumen total de 37 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Copiapó el cual pertenece a la cuenca del Río Copiapó. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1939.

### 4.3.3 Embalse Lagunas Del Huasco

Está ubicado en sector precordillerano de la comuna de Alto del Carmen que pertenece a la provincia del Huasco, localizado a 103 Km de la ciudad de Vallenar (ver Figura 4.3), con un volumen total de 14 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Tránsito el cual pertenece a la cuenca del Huasco. El tipo de presa es por gravedad y fue construida en el año 1911.

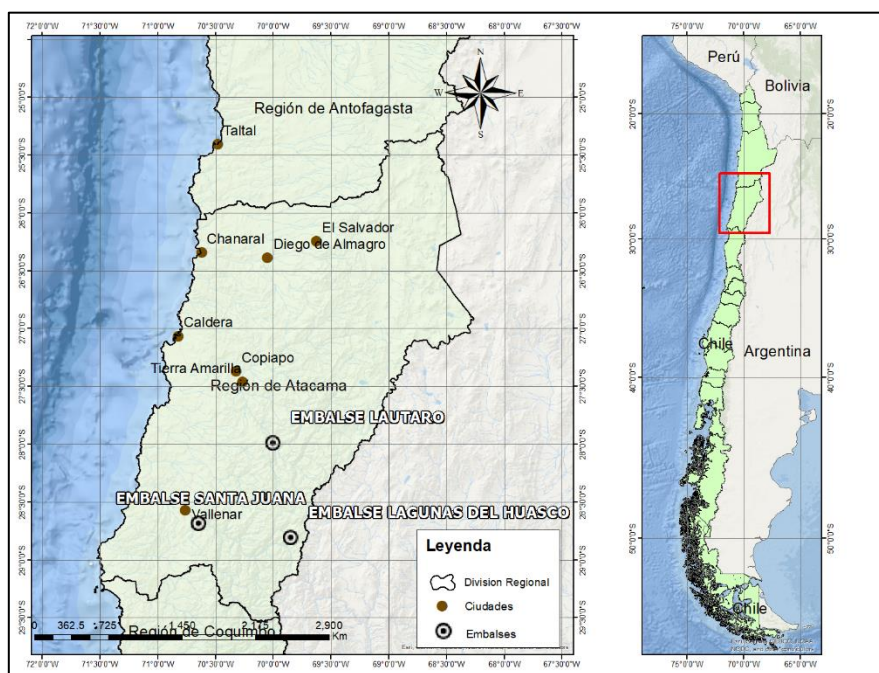


Figura 4.3 - Localización embalses III región

## **4.4 Región de Coquimbo (IV)**

### **4.4.1 Embalse Recoleta**

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Ovalle que pertenece a la provincia de Limarí, localizado a 17,6 Km de la ciudad de Ovalle (ver Figura 4.4), con un volumen total de 100 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Hurtado el cual pertenece a la cuenca del Río Limarí. El tipo de presa es de Tierra y fue construida en el año 1934.

### **4.4.2 Embalse Paloma**

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Monte Patria que pertenece a la provincia de Limarí, localizado a 44,6 Km de la ciudad de Ovalle (ver Figura 4.4), con un volumen total de 740 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Grande el cual pertenece a la cuenca del Río Limarí. El tipo de presa es de Tierra y fue construida en el año 1967.

### **4.4.3 Embalse Cogotí**

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Combarbalá que pertenece a la provincia de Limarí, localizado a 20,61 Km de la ciudad de Combarbalá (ver Figura 4.4), con un volumen total de 150 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Huatulame el cual pertenece a la cuenca del Río Limarí. El tipo de presa es de enrocado y fue construida en el año 1940.

### **4.4.4 Embalse Puclaro**

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Vicuña que pertenece a la provincia del Elqui, localizado a 15,36 Km de la ciudad de Vicuña (ver Figura 4.4), con un volumen total de 200 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Elqui el cual pertenece a la cuenca del Río Elqui. El tipo de presa es de enrocado y fue construida en el año 2000.

### **4.4.5 Embalse La Laguna**

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Vicuña que pertenece a la provincia de Elqui, localizado a 67,16 Km de la ciudad de Vicuña (ver Figura 4.4), con un volumen total de 40 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río La Laguna el cual pertenece a la cuenca del Río Elqui. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1937.

#### 4.4.6 Embalse Culimo

Está ubicado en sector costero en la comuna de Los Vilos que pertenece a la provincia del Choapa, localizado a 31,57 Km de la ciudad de Los Vilos (ver Figura 4.4), con un volumen total de 10 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Quilimarí el cual pertenece a la cuenca del Río Quilimarí. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1933.

#### 4.4.7 Embalse Corrales

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Salamanca que pertenece a la provincia del Choapa, localizado a 14,9 Km de la ciudad de Salamanca (ver Figura 4.4), con un volumen total de 50 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Camisas el cual pertenece a la cuenca del Río Choapa. El tipo de presa es de enrocado y fue construida en el año 2000.

#### 4.4.8 Embalse El Bato

Está ubicado en sector de precordillerano en la comuna de Illapel que pertenece a la provincia del Choapa, localizado a 29,06 Km de la ciudad de Illapel (ver Figura 4.4), con un volumen total de 25,5 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Illapel el cual pertenece a la cuenca del Río Choapa. El tipo de presa es de enrocado y fue construida en el año 2009.

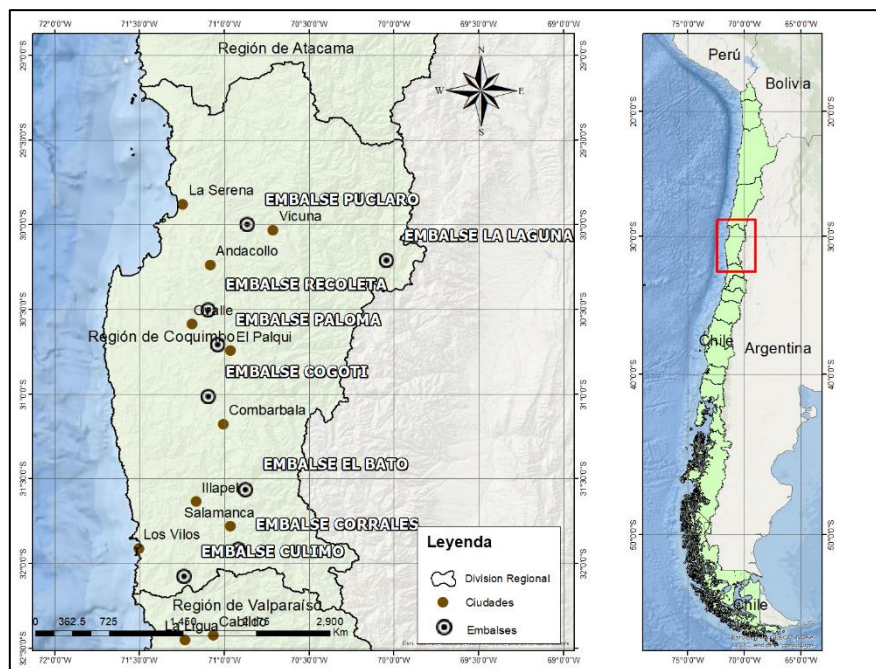


Figura 4.4 - Localización embalses IV región

## **4.5 Región de Valparaíso (V)**

### **4.5.1 Embalse Aromos**

Está ubicado en sector costero en la comuna de Limache que pertenece a la provincia de Quillota, localizado a 14,3 Km de la ciudad de Limache (ver Figura 4.5), con un volumen total de 65 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Limache el cual pertenece a la cuenca del Río Aconcagua. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1978.

### **4.5.2 Embalse Pitama**

Está ubicado en sector costero en la comuna de Casablanca que pertenece a la provincia de Valparaíso, localizado a 14,3 Km de la ciudad de Casablanca (ver Figura 4.5), con un volumen total de 2,1 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Pitama el cual pertenece a la cuenca de Costeras Río Aconcagua-Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1931.

### **4.5.3 Embalse Lo Orozco**

Está ubicado en sector costero en la comuna de Casablanca que pertenece a la provincia de Valparaíso, localizado a 9,67 Km de la ciudad de Casablanca (ver Figura 4.5), con un volumen total de 5,5 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río La playa el cual pertenece a la cuenca de Costeras Río Aconcagua-Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1931.

### **4.5.4 Embalse Lo Ovalle**

Está ubicado en sector costero en la comuna de Casablanca que pertenece a la provincia de Valparaíso, localizado a 8,53 Km de la ciudad de Casablanca (ver Figura 4.5), con un volumen total de 13,5 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Lo Ovalle el cual pertenece a la cuenca de Costeras Río Aconcagua-Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1932.

### **4.5.5 Embalse Los Perales De Tapihue**

Está ubicado en sector costero en la comuna de Casablanca que pertenece a la provincia de Valparaíso, localizado a 10,61 Km de la ciudad de Casablanca (ver Figura 4.5), con un volumen total de 11,6 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río perales el cual pertenece a la cuenca de Costeras Río Aconcagua-Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1932.

#### 4.5.6 Embalse Purísima

Está ubicado en sector costero en la comuna de Casablanca que pertenece a la provincia de Valparaíso, localizado a 9,1 Km de la ciudad de Casablanca (ver Figura 4.5), con un volumen total de 2,4 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río el membrillo el cual pertenece a la cuenca de Costeras Río Aconcagua-Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1931.

#### 4.5.7 Embalse Cerrillos

Está ubicado en sector costero en la comuna de San Antonio que pertenece a la provincia de San Antonio, localizado a 10,38 Km de la ciudad de San Antonio (ver Figura 4.5), con un volumen total de 3,4 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Leyda el cual pertenece a la cuenca del Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1932.

#### 4.5.8 Embalse Chacrillas

Está ubicado en sector precordillerano en la comuna de Putaendo que pertenece a la provincia de San Felipe, localizado a 20,62 Km de la ciudad de Putaendo (ver Figura 4.5) con un volumen total de 31,4 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Rocín el cual pertenece a la cuenca del Río Aconcagua. El tipo de presa es de enrocado y fue construida en el año 2014.

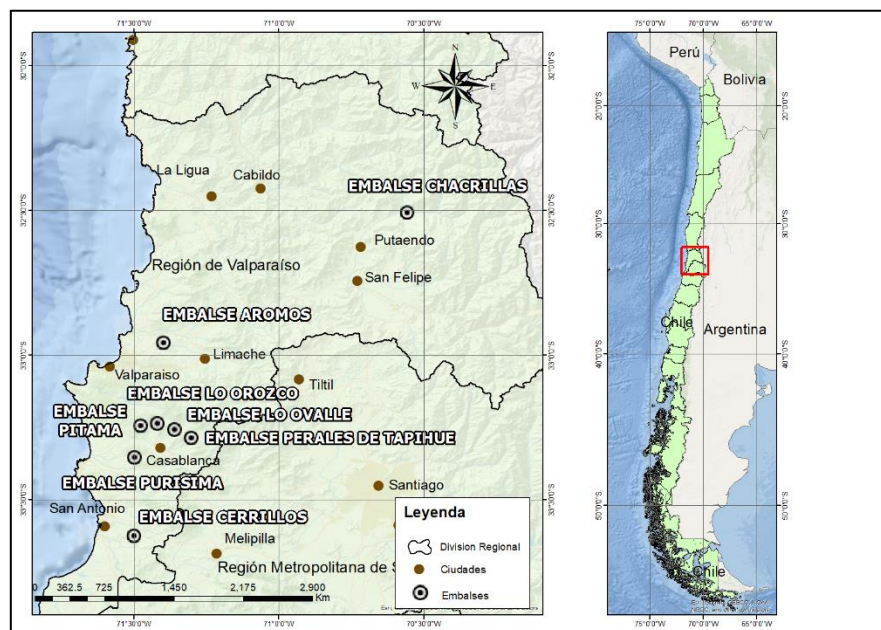


Figura 4.5 - Localización embalses V región

## 4.6 Región Metropolitana (R.M.)

### 4.6.1 Embalse El Yeso

Está ubicado en sector cordillerano en la comuna de San José de Maipo que pertenece a la provincia de Cordillera, localizado a 47 Km de la ciudad de Puente Alto (ver Figura 4.6), con un volumen total de 250 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río yeso el cual pertenece a la cuenca del Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1967.

### 4.6.2 Embalse Rungue

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Tiltill que pertenece a la provincia de Chacabuco, localizado a 7,4 Km de la ciudad de Tiltill (ver Figura 4.6), con un volumen total de 2,28 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río rungue el cual pertenece a la cuenca del Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1962.

### 4.6.3 Embalse Huechún

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Tiltill que pertenece a la provincia de Chacabuco, localizado a 12,44 Km de la ciudad de Tiltill (ver Figura 4.6), con un volumen total de 30 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Chacabuco el cual pertenece a la cuenca del Río Maipo. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1932.

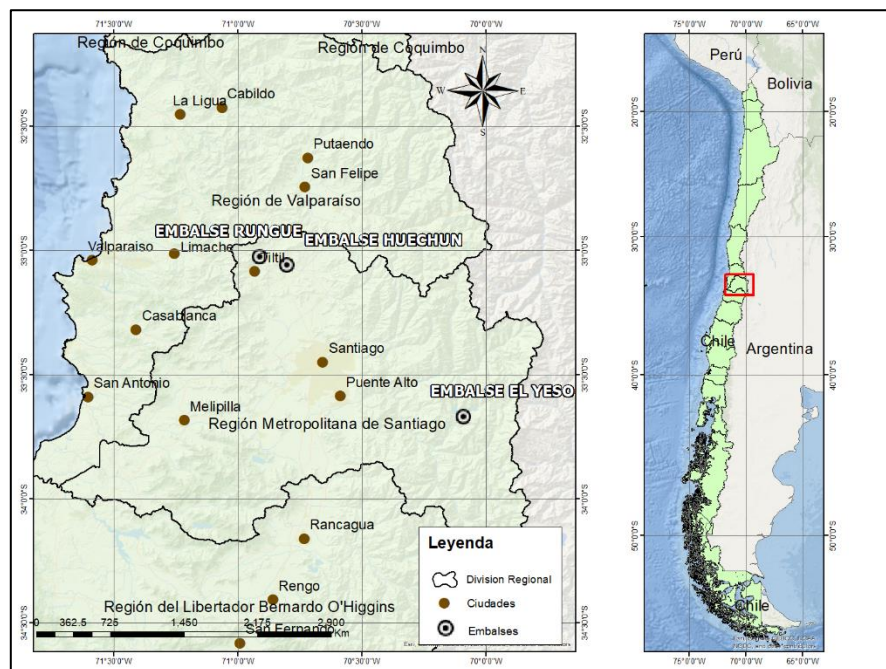


Figura 4.6 - Localización embalses región metropolitana

## 4.7 Región del Libertador Bernardo O'Higgins (VI)

### 4.7.1 Embalse Convento Viejo II

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Chimbarongo que pertenece a la provincia de Colchagua, localizado a 9,5 Km de la ciudad de Chimbarongo (ver Figura 4.7), con un volumen total de 237 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Chimbarongo el cual pertenece a la cuenca del Río Rapel. El tipo de presa es de tierra y fue iniciada su construcción en el año 1972 y terminado en 1993 para posteriormente realizar una ampliación finalizada el año 2009.

### 4.7.2 Embalse Los Cristales

Está ubicado en sector cordillerano en la comuna de Rengo que pertenece a la provincia del Cachapoal, localizado a 36,25 Km de la ciudad de Rengo (ver Figura 4.7), con un volumen total de 8,5 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Claro el cual pertenece a la cuenca del Río Rapel. El tipo de presa es enrocado y fue construida en el año 1977.

### 4.7.3 Embalse Lolol

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Lolol que pertenece a la provincia del Colchagua, localizado a 20,06 Km de la ciudad de Santa Cruz (ver Figura 4.7), con un volumen total de 6,4 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río La Fortaleza el cual pertenece a la cuenca de Costeras Río Rapel - Estero Nilahue. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1938.

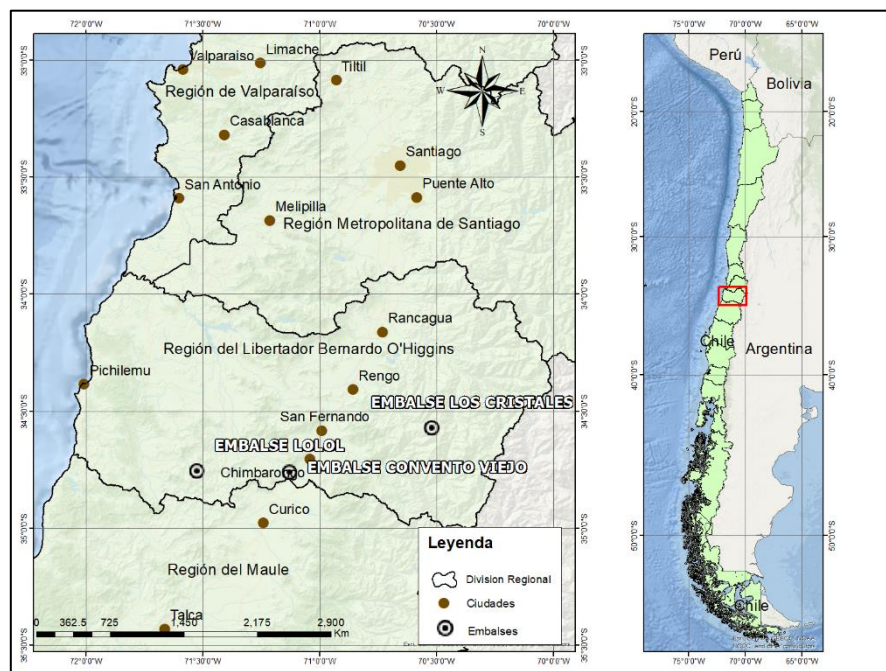


Figura 4.7 - Localización embalses VI región

## **4.8 Región del Maule (VII)**

### **4.8.1 Embalse Ancoa**

Está ubicado en sector precordillerano en la comuna de Linares que pertenece a la provincia de Linares, localizado a 37,6 Km de la ciudad de Linares (ver Figura 4.8), con un volumen total de 80 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Ancoa el cual pertenece a la cuenca del Río Maule. El tipo de presa es de enrocado y fue construida en el año 2012.

### **4.8.2 Embalse El Planchón**

Está ubicado en sector cordillerano en la comuna de Romeral que pertenece a la provincia del Curicó, localizado a 63,61 Km de la ciudad de Curicó (ver Figura 4.8), con un volumen total de 73 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Teno el cual pertenece a la cuenca del Río Mataquito. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1952.

### **4.8.3 Embalse Laguna Del Maule**

Está ubicado en sector cordillerano en la comuna de San Clemente que pertenece a la provincia de Talca, localizado a 96 Km de la ciudad de Linares (ver Figura 4.8) con un volumen total de 1420 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Maule el cual pertenece a la cuenca del Río Maule. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1957.

### **4.8.4 Embalse Digua**

Está ubicado en sector precordillerano en la comuna de Parral que pertenece a la provincia de Linares, localizado a 27,64 Km de la ciudad de Parral (ver Figura 4.8), con un volumen total de 220 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Cato el cual pertenece a la cuenca del Río Maule. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1968.

### **4.8.5 Embalse Bullileo**

Está ubicado en sector precordillerano en la comuna de Parral que pertenece a la provincia de Linares, localizado a 40,83 Km de la ciudad de Parral (ver Figura 4.8), con un volumen total de 60 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Bullileo el cual pertenece a la cuenca del Río Maule. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1949.

#### 4.8.6 Embalse Tutuvén

Está ubicado en sector costero en la comuna de Cauquenes que pertenece a la provincia de Cauquenes, localizado a 10 Km de la ciudad de Cauquenes (ver Figura 4.8), con un volumen total de 13 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Tutuvén el cual pertenece a la cuenca del Río Maule. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1951.

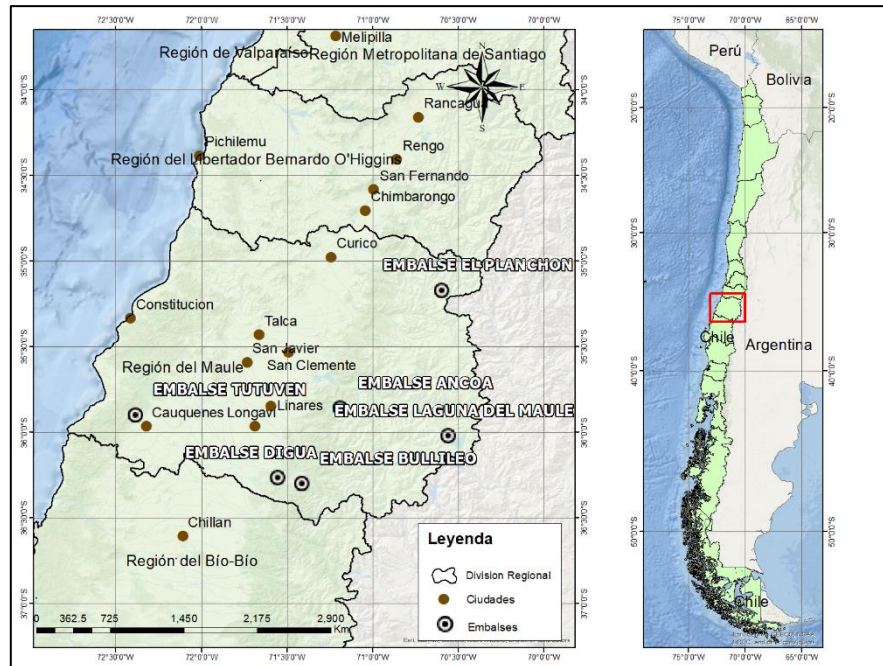


Figura 4.8 - Localización embalses VII región

## 4.9 Región del Bio Bio (VIII)

### 4.9.1 Embalse Tucapel

Está ubicado en sector costero en la comuna de Tucapel que pertenece a la provincia del Biobío, localizado a 41,4 Km de la ciudad de Los Ángeles (ver Figura 4.9), con un volumen total de 0,4 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Tucapel el cual pertenece a la cuenca del Río Biobío. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1957.

### 4.9.2 Embalse Coihueco

Está ubicado en sector precordillerano en la comuna de Coihueco que pertenece a la provincia del Ñuble, localizado a 27,75 Km de la ciudad de Chillan (ver Figura 4.9), con un volumen total de 29,2 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río Pullami el cual pertenece a la cuenca del Río Itata. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1971.

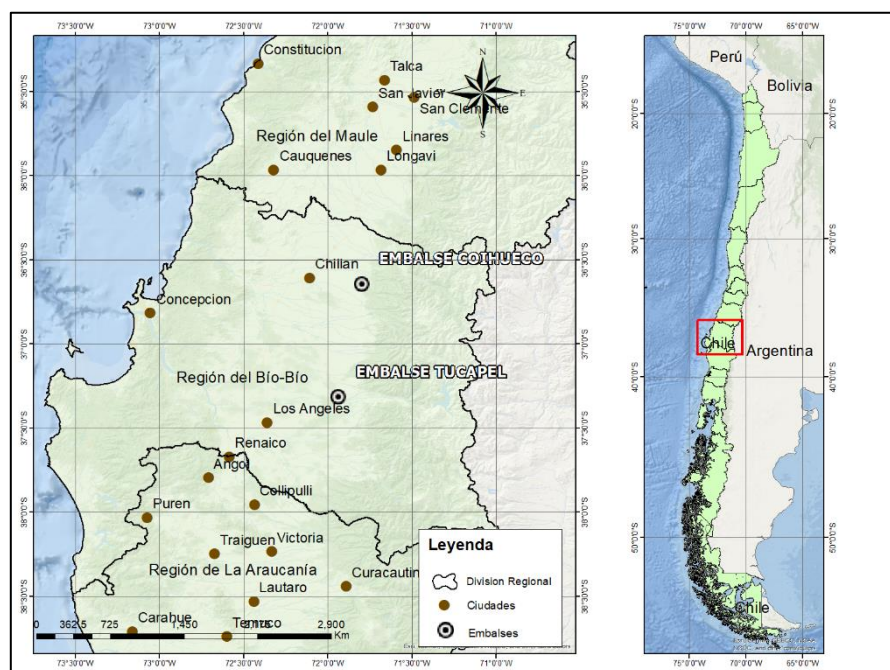


Figura 4.9 - Localización embalses VIII región

## 4.10 Región de la Araucanía (IX)

### 4.10.1 Embalse Huelehueico

Está ubicado en sector de valle en la comuna de Renaico que pertenece a la provincia del Malleco, localizado a 16,8 Km de la ciudad de Angol (ver Figura 4.10), con un volumen total de 5,2 hectómetros cúbicos y que almacena las aguas del río los coipos el cual pertenece a la cuenca del Río Biobío. El tipo de presa es de tierra y fue construida en el año 1930.

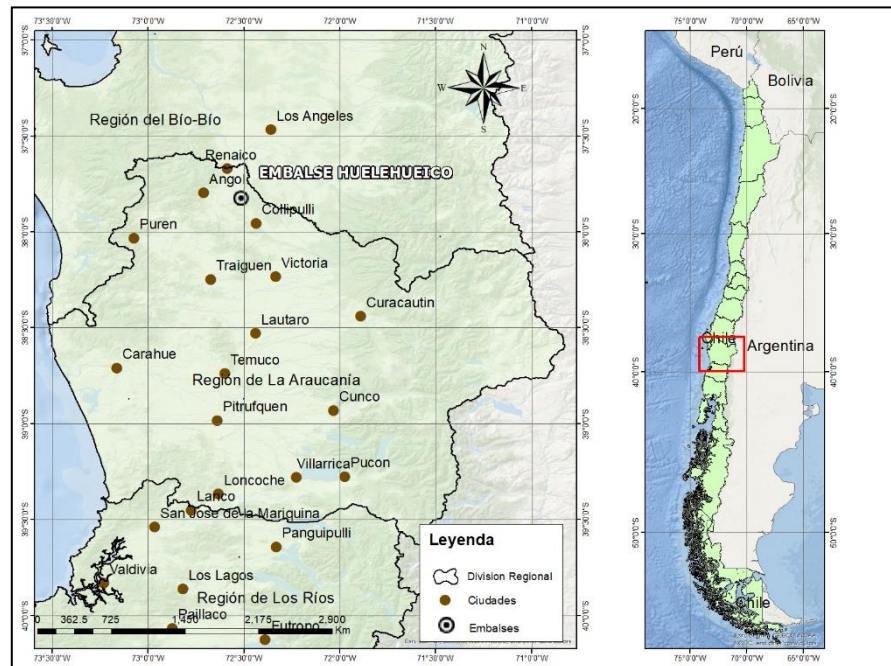


Figura 4.10 - Localización embalses IX región

## **5 Definición del análisis**

### **5.1 Descripción**

La elaboración del presente análisis fue realizada en conjunto entre la Universidad de Valparaíso y el Departamento de Proyectos de Riego del Ministerio de Obras Públicas. Consiste en el desarrollo de un listado de las presas más peligrosas y con mayores afectaciones potenciales, debido a la importancia que esto implica para poder desarrollar las futuras medidas de mitigación de estos peligros y afectaciones. Por ello una instancia importante para el desarrollo de este cometido corresponde a la selección de un método que sea adecuado, entonces es que se decide utilizar el análisis multicriterio, específicamente el método AHP, el cual se definió en el capítulo 0 y que es capaz de crear un listado de prioridades comparándolos al mismo tiempo.

El estudio comprende 36 presas construidas por el estado de Chile, que se incluirán en el análisis para generar el listado. La totalidad de ellas están destinadas para riego, lo que en algunos casos se conjuga con agua potable (Aromos, Conchi y El Yeso) y generación eléctrica (Laguna del Maule).

### **5.2 Identificación y definición de los criterios**

Para el proceso de identificación de los criterios de una posible inundación producto de la rotura de una presa, se buscó cuáles son los criterios más utilizados en las organizaciones de otros países que están destinadas al análisis de la seguridad de presas como son el MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica) en España, Ministry of Water Resources en India, FEMA (Federal Emergency Management Agency) en Estados Unidos, y ORSEP (Organismo Regulador de Presas) en Argentina, de todos estos organismos se obtuvieron aquellos criterios más relevantes, los cuales están descritos en el capítulo 5.2.1. En la preselección de criterios se propusieron diversas alternativas, pero para tener un trabajo eficiente es necesario tener conocimiento previo de la materia a tratar, ya que entre algunas de las propuestas de criterios era considerar un evento hidrológico importante en la zona, mecánica de suelos, entre otros factores.

El identificar los criterios correctos es de suma importancia, pues estos componen una parte fundamental del proceso de análisis jerárquico y son determinantes para la construcción de un modelo robusto. Es por esta razón que se debe contar con personal especializado que pueda orientar e indicar que criterios deben incluirse en el modelo.

Una vez definidos los criterios más relevantes en una rotura, se procede a reunir toda la información necesaria para ellos, es decir, cada presa debe tener el mismo nivel o tipo de información. En caso de no contar todas las presas con la información necesaria para incluirse como criterio, se busca información de carácter similar para incluir en el criterio, ya que se debe evitar dejar un criterio fundamental fuera del estudio. Cuando la información necesaria es inexistente, se busca algún criterio similar para poder utilizar, de no ser posible, como última opción queda desestimar el criterio.

## 5.2.1 Descripción de los criterios

A modo de presentación rápida, en la tabla 5.1 se ve un resumen de los subcriterios que posteriormente pasan a ser descritos de forma detallada.

Tabla 5.1 – Resumen de subcriterios

N°	Nombre
1	Zonas de Protección
2	Zonas de Vulnerabilidad Ambiental
3	Zonas Patrimoniales
4	Cantidad de personas posiblemente afectadas
5	Interrupción de Servicios Directamente
6	Interrupción de Servicios Indirectamente
7	Zonas Agrícolas
8	Daño a Infraestructura Pública
9	Daño a Infraestructura Privada
10	Costo de reposición del embalse
11	Capacidad del embalse
12	Cantidad de sismos soportados
13	Ciudades aguas abajo
14	Caudal peak
15	Riesgo Volcánico

### 5.2.1.1 Ambiental

Se relaciona con el impacto ambiental producido aguas abajo de la rotura de la presa, ya sea producto de la misma rotura, el paso del agua o los efectos de ello en la flora y fauna de la zona, el paisaje, los suelos y posiblemente contaminando las aguas producto del paso de este evento hidrológico y se representa a través de las zonas debidamente reconocidas como lugares ambientalmente sensibles o de cuidado.

Si bien existen diversos factores que se pueden incluir, como los mencionando en el capítulo 5.2, es necesario contar con información cuantificable o que pueda ser parametrizada, es por esto que se determinó que existen tres parámetros que a juicio de los especialistas deben ser incluidos, los cuales son zonas de protección, zonas de vulnerabilidad ambiental y zonas patrimoniales.

#### 5.2.1.1.1 Zonas de protección

“El ambiente que nos rodea nos proporciona muchos recursos que se pueden utilizar para proporcionar ganancias directas, recursos de subsistencia o beneficios menos tangibles como lo es el bienestar espiritual o mental. Se entiende que, la mayoría de las áreas protegidas han sido creadas y son manejadas con el objeto de conservar la biodiversidad, pero existen muchos otros valores

importantes que los administradores y las agencias de las áreas protegidas deben valorar y cuantificar”[24].

En relación con lo anterior, algunos de los valores mencionados por la CEPAL son:

- Biodiversidad
- Empleo
- Alimentos
- Agua
- Valores Culturales y Espirituales
- Salud y recreación
- Conocimiento
- Mitigación del cambio climático
- Servicios de polinización
- Materiales

Entiéndase por zonas de protección a todo lugar debidamente establecido por el estado o por algún organismo internacional debidamente acreditado para este fin y que se encuentre aguas debajo de las presas, para todos los sitios que conforman este estudio se consideraron los más relevantes tanto a nivel nacional como internacional. Los criterios establecidos tienen en cuenta que a causa de su destrucción se provocaría un daño irreparable al ecosistema de la zona o del planeta, sin mencionar las repercusiones legales que tendría la destrucción de estos sitios, por ello se consideró relevante su inclusión para este estudio. Los antecedentes fueron recabados a través de la información entregada por el Estado de Chile<sup>2</sup> en que se da a conocer datos tanto de sitios internacionales como nacionales. Las zonas de protección comprometidas a nivel nacional que se incluyen son:

- Parques Nacionales
- Reservas Nacionales
- Reservas Forestales
- Monumento Naturales
- Reservas Región Virgen
- Área Marina Costera Protegida
- Parque Marino, Reserva Marina
- Santuario de la Naturaleza
- Área Protegida Privada
- Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, letra d)
- Sitio Prioritario (Estrategia Regional de Biodiversidad) en que se incluyen los Humedales

En lo que respecta a nivel internacional se consideran:

- Sitios Ramsar
- Reservas de la Biosfera
- Bien Nacional Protegido
- Paisaje de Conservación

---

<sup>2</sup> Áreas protegidas, Ministerio del Medio Ambiente (<http://areasprotegidas.mma.gob.cl/>)

#### **5.2.1.1.2 Zonas de vulnerabilidad ambiental**

“La importancia que tiene el estudio de la vulnerabilidad ambiental, como una dimensión vital para ser considerada en la proyección del desarrollo de una región, hace necesario disponer de mecanismos para evaluarla y en consecuencia para mitigar sus posibles impactos, fortaleciendo con ello la capacidad de la región para diseñar estrategias adaptativas para minimizar con ello la menor pérdida económica, social y ambiental.”[25]

Cada vez que existe un efecto nocivo sobre el medioambiente, este puede verse afectado de diversas maneras, en algunos casos de forma insignificante y en otro de manera muy grave. Eventualmente si se realizan las acciones necesarias este perjuicio se puede disminuir, frenar o recuperar por completo, pero cuando ya existe una zona que está comprometida ambientalmente debido a daños que se han hecho con anterioridad una nueva acción nociva puede comprometer aún más la zona, pudiendo probablemente hacer irrecuperable el territorio en cuestión. El documento de donde se obtuvo la información menciona que son “riesgos”, es decir, aun no ocurren daños de ningún tipo, pero debido a los diversos factores se estima que uno o más efectos nocivos podrían ocurrir, debido a esto es necesario saber que zonas aguas abajo de las presas analizadas son las más comprometidas, por consiguiente, se definieron las áreas según las zonas delimitadas por la CEPAL (Comisión económica para América Latina y el Caribe) en el informe “Espacios sub-nacionales especiales: áreas de alta vulnerabilidad ambiental”[26] en el que se catalogan las zonas de cero a cinco, siendo cinco el valor de más alta vulnerabilidad y cero el que esta no existe.

#### **5.2.1.1.3 Zonas patrimoniales**

“Hoy en día el patrimonio cultural está intrínsecamente ligado a los desafíos más acuciantes a los que se enfrenta toda la humanidad, que van desde el cambio climático y los desastres naturales (tales como la pérdida de biodiversidad o del acceso a agua y alimentos seguros), a los conflictos entre comunidades, la educación, la salud, la emigración, la urbanización, la marginación o las desigualdades económicas. Por ello se considera que el patrimonio cultural es esencial para promover la paz y el desarrollo social, ambiental y económico sostenible.”[27]

Las zonas patrimoniales son lugares y/o estructuras que debido a su historia y legado es necesario conservar para las generaciones futuras, por ende, cuentan con un valor patrimonial, es decir, tienen un valor incalculable, ya que no es solo un valor monetario sino también un valor emocional para todos los que son, fueron o serán parte de su historia. Por dichas razones se consideró relevante incluir en este estudio a todas las zonas patrimoniales debidamente reconocidas por el Estado, en el cual se incluyen zonas típicas o pintorescas y rutas patrimoniales obtenidas desde el catálogo nacional de información geoespacial en la sección patrimonio<sup>3</sup>.

#### **5.2.1.2 Social**

Toma en consideración el impacto producido aguas abajo de la presa desde el punto de vista de los perjuicios que podrían ser ocasionados a la población, ya sea por la misma rotura, el paso del agua o de manera indirecta pudiendo afectar a la población lejana al sitio de inundación.

---

<sup>3</sup> catálogo nacional de información geoespacial (<http://www.geoportal.cl/visorgeoportal/>)

En el criterio social a juicio de los especialistas se deben considerar tres aspectos relevantes que son personas afectas, servicios directos afectados y servicios indirectos afectados para los cuales se obtuvo toda la información requerida para llevar a cabo el análisis.

#### **5.2.1.2.1 Cantidad de personas posiblemente afectadas**

La declaración universal de derechos humanos dice en su artículo 3 “Todo individuo tiene derecho a la vida, a la libertad y a la seguridad de su persona.”[28]. En este sentido se ve claramente vulnerada la seguridad de todos aquellos que se encuentren zonas abajo de una presa, los que pueden poner eventualmente en riesgo su vida, en especial aquellos que están en la zona de inundación.

El ser humano como tal es parte fundamental de toda sociedad y sin él no existirán las obras que a través de los siglos se han mantenido y que en algunos casos siguen aún funcionando. Además, el solo hecho de la vida misma de una persona tiene un valor incalculable, razón por la cual se consideraron las personas afectadas ante este tipo de eventos. Para esto se tomó en cuenta el número de personas que posiblemente pueden ver afectada su salud de alguna u otra manera o que fallezcan debido a la inundación. Lo anterior en base a la información disponible de las ciudades, pueblos y caseríos aguas abajo de la presa, información obtenida del Instituto Nacional de Estadísticas (INE)<sup>4</sup>.

#### **5.2.1.2.2 Interrupción de servicios directamente**

Los servicios básicos (agua, luz y gas) de calidad son una condición “sine qua non” para la erradicación efectiva de la pobreza.”[29] Además la falta o escases de agua potable y conducción de aguas servidas afecta directamente a la salud de las personas.[30]

Para una zona afectada por un desastre, ya sea un terremoto, incendio, inundaciones o cualquier otro, es esencial asegurar los servicios básicos (agua potable, alcantarillado y energía eléctrica) para garantizar el alimento y mantener un ritmo de vida básico y así también evitar infecciones, problemas de salud pública y mantener sistemas de soporte vital. La zona cercana al desastre es la más afectada pudiendo en alguna ocasión verse en extremo desprovista de estos elementos básicos y llevando inevitablemente a disminuir sus posibilidades de supervivencia. Por otra parte, se considera que eventualmente pueden existir zonas, dentro de la misma ciudad, que no se hayan visto afectadas por la inundación misma y que aun así no cuentan con servicios básicos.

Por todo lo antes mencionado se consideró como afectación directa a toda ciudad, pueblos o caseríos que fueron afectadas por la inundación, aunque algunas de las zonas de la ciudad no hayan sido afectadas por la inundación sus servicios básicos si fueron considerados, debido a la posible interrupción producto de daño en las líneas de transmisión de los servicios. La información se obtuvo desde la Comisión Nacional de Electricidad (CNE)<sup>5</sup> y se consideró el daño a las plantas de tratamiento de aguas servidas y subestaciones existentes a la fecha, todas ubicadas aguas abajo de la presa.

---

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Estadísticas (<http://geoine-ine-chile.opendata.arcgis.com/>)

<sup>5</sup> Comisión Nacional de Electricidad (<http://energiamaps.cne.cl/>)

### **5.2.1.2.3 Interrupción de servicio indirectamente**

“Las cifras demuestran que el acceso al agua potable pasa a ser un reto de prioridad inmediata. A pesar de todo el avance científico y tecnológico con el que se cuenta, existen zonas donde no se dispone de agua potable, y se debe considerar además que lo más crítico no es tanto la cantidad del recurso disponible, sino la distribución del mismo”[31]. En base a ello se considera necesario proteger las líneas de distribución del agua potable, así como también el acceso a energía eléctrica, ya que son servicios que impactan sobre la salud de las personas, en especial de mujeres y niños.[32]

En un desastre ya sea un terremoto, incendio, inundaciones o cualquier otro, eventualmente puede existir zonas alejadas de la inundación en donde producto de la misma se limita o corta el suministro de algún servicio. Para estos efectos fueron considerados los oleoductos, gaseoductos, rutas de transmisión eléctrica y áreas de generación de energía eléctrica que afecten a otra zona, restringiendo así la producción, ritmo de vida y condiciones básicas de salubridad, sin mencionar las posibles pérdidas económicas producidas por este abrupto corte o delimitación de servicios, ya sea por daños en equipos, detención de industrias y daño en mercadería que requiera refrigeración. Para un periodo corto de tiempo puede no tener grandes efectos, sin embargo, no se sabe el tiempo que tome restablecer los servicios, ya que esto dependerá de la magnitud del daño causado, condiciones de accesibilidad y condiciones económicas que no son parte de este estudio, por lo que eventualmente puede darse el caso en que el periodo sea tan prologado que pueda dañar la economía y sistema de vida de la localidad y/o del país. La información fue obtenida desde la Comisión Nacional de Electricidad<sup>6</sup>, considerando el daño aguas abajo de la rotura.

### **5.2.1.3 Económico**

Se relaciona con los costos que significarían la pérdida de bienes que se encuentren ubicados aguas abajo de la presa, y/o la devaluación de estos ante los efectos de la rotura de la presa. Para este criterio a juicio de los especialistas se consideraron cuatro aristas, zonas agrícolas, daño a estructura pública, daño a estructura privada y costo de reposición del embalse.

#### **5.2.1.3.1 Zonas Agrícolas**

“Sin lugar a dudas el rol y valorización de la agricultura como agente de desarrollo del país ha cambiado significativamente en los últimos cincuenta años. En los años sesenta la agricultura se caracterizaba principalmente por ser un proveedor de alimentos crecientemente deficitario para el mercado interno y de mano de obra para otros sectores de la economía. En la actualidad este sector es señalado como uno de los pilares estratégicos de nuestro desarrollo, no sólo por su importante contribución al Producto Interno Bruto (PIB) y por ser una relevante fuente de empleo, sino también porque en su desempeño como sector exportador, ha generado una imagen de calidad y seriedad en los principales mercados del mundo que ha contribuido significativamente a la conformación de una visión del país como un socio confiable y seguro.” Carlos Furche G. (Ex Ministro de Agricultura) [33]

---

<sup>6</sup> Comisión Nacional de Electricidad (<http://energiamaps.cne.cl/>)

Las zonas agrícolas abastecen no solo una región sino también a Chile completo incluso llegando algunos productos a ser exportados a otros países, siendo una fuente importante de recursos de la población y de Chile. El daño a la agricultura podría afectar la economía y el sustento de muchas familias, además de que en las zonas de inundación tomará un tiempo adicional para volver a ser cultivadas y poder volver a cosechar en especial aquellos productos que tienen un tiempo de crecimiento asociado, como podría ser el caso de los frutales. Para la consideración de las zonas agrícolas afectas se tomaron todas aquellas que en el mapa de inundación fueron afectadas y se comparó con el total de hectáreas de riego que cada embalse está destinado a sustentar y aquellas áreas que no fueron afectas por la inundación también se consideraron debido a que no existiría una seguridad de riego para estas. La información se obtuvo desde el modelo en HEC-RAS contrastada con el mapa satelital de Google Earth.

### **5.2.1.3.2 Daño a infraestructura pública**

“El Estado, por mandato constitucional, se encuentra al servicio de la persona humana y por ello tiene el deber de promover el bien común y contribuir a la creación de las condiciones sociales necesarias para la mayor realización posible de todas las personas, tanto en un plano espiritual como material (Art. 1º Inciso cuarto, Constitución Política de la República). En este sentido, podemos constatar una íntima vinculación entre el deber constitucional del Estado de velar por las condiciones de realización de las personas y las Infraestructuras Públicas, en tanto estas últimas permiten o mejoran las posibilidades de realización de las personas. En efecto, las Infraestructuras Públicas siempre tienen por objeto prestar un servicio a la comunidad, si no a ella en su totalidad, a un amplio sector de la población. Es por ello que las Infraestructuras consisten en redes u organizaciones de gran escala que satisfacen necesidades colectivas, tales como el transporte público, los servicios sanitarios y de distribución eléctrica y las telecomunicaciones.”[34]

La inversión pública en grandes infraestructuras es de suma importancia, ya que es realizada a través de varios años y es un trabajo de varios gobiernos, por lo que recuperar o reconstruir este tipo de infraestructura se hace una tarea difícil y de varios años de esfuerzo, además el eventual daño a hospitales y puentes, producto del paso de esta avenida, es un punto clave en que su destrucción dificultará aún más las tareas de ayuda y rescate, destacando la importancia de estas infraestructuras en un desastre de este tipo. La infraestructura considerada son hospitales, puentes y terrenos fiscales, la información se obtuvo desde la página del Ministerio de Bienes Nacionales<sup>7</sup>.

### **5.2.1.3.3 Daño a infraestructura privada**

“Una inundación o un terremoto pueden ser desastrosos para las personas pobres, pero tener un impacto insignificante en la riqueza o la producción global de un país si afectan a personas que no poseen casi nada y tienen ingresos muy bajos. Al centrarse en pérdidas económicas, el planteamiento tradicional de la evaluación del riesgo sólo mide el impacto en las personas lo suficientemente ricas para tener algo que perder, y se pierde la mayoría de las repercusiones en los más pobres.”[35] .

En la actualidad la mayoría de las grandes obras que son construidas por privados tienen la concecion por una cierta cantidad de años, ante una eventual catástrofe las consecuencias de

---

<sup>7</sup> Infraestructura de Datos Geoespaciales del Ministerio de Bienes Nacionales (<http://www.ide.cl/infraestructura-publica.html>)

pérdidas o destrucción de estas también repercuten directamente a la población en fuentes de trabajo y entrega de servicios tanto tangibles como intangibles [36].

Los efectos considerados corresponden a casas, edificios y obras de gran embergadura de índole privada que se encuentren aguas abajo de la presa, siendo estas de importancia no solo porque tienen un valor económico sino también debido a que empresas, fábricas y las mismas personas trabajan o viven en tales infraestructuras es por esto que su daño provocaría serios problemas económicos a los afectados. La información fue obtenida desde Google Earth.

#### **5.2.1.3.4 Costo de reposición del embalse**

Para tener en consideración el Ministerio de Obras Públicas, para el año 2019 contaba con un presupuesto destinado a iniciativas de inversión para toda la Dirección de Obras Hidráulicas (Subdirección de Gestión y Desarrollo, División de Riego, División de Cauce y Drenaje Urbano y Subdirección de Agua Potable Rural) de 129.182.602.000 pesos chilenos que corresponde a 168.888.223 dólares, con el valor del dólar fijado a 763,9 pesos chilenos, esto quiere decir que como se verá más adelante, si la rotura se produjera en el embalse Ancoa costaría 124.417.519 dólares, equivalente al 73,66% del presupuesto de un año. Ha de tenerse presente que el departamento de División de Riego es quien se dedica al diseño y construcción presas.[37]

Al igual que en el subcriterio de infraestructura pública la construcción de una presa es de suma importancia, ya que es realizada a través de varios años y es un trabajo de varios gobiernos, por lo que recuperar o reconstruir este tipo de infraestructura implicaría aumentar el gasto fiscal y las fuerzas de trabajo, las cuales podrían haber sido utilizadas en otros proyectos. En el capítulo 5.2.3.4 se encuentra la información de los costos de reposición de cada embalse, para tener como referencia el valor más bajo de volver a construir una presa es de 367.770 U.F, es decir 13.266.960 dólares y corresponde al embalse Lo Ovalle y el más alto es de 3.448.946 U.F, es decir 124.417.519 dólares, con un valor del dólar de 764,9 pesos Chilenos y corresponde al embalse Ancoa.

Entiéndase por costo de reposición al valor en U.F. que supondría el tener que volver a construir la misma estructura el día de hoy, este valor fue obtenido desde el estudio "Levantamiento, Catastro y Valoración del Patrimonio de Infraestructura de Chile" desarrollado por el Ministerio de Obras Públicas y no incluye el costo de eliminar los escombros restantes de la presa ni adecuar el terreno para volver a construir la presa.

#### **5.2.1.4 Técnico-Estratégico**

Toma en consideración los aspectos tanto técnicos como estratégicos más relevantes aguas abajo de una presa y de la presa en sí misma. Para efectos de este criterio a juicio de los especialistas se consideraron cinco aspectos fundamentales de este criterio los cuales son capacidad del embalse, cantidad de sismos soportados, ciudades aguas abajo, caudal peak, riesgo volcánico de los cuales se recabó toda la información necesaria, al igual que en los criterios anteriores (ambiental, social y económico).

#### 5.2.1.4.1 Capacidad del embalse

“El proceso de rotura determina la forma y dimensiones del hidrograma de rotura por sobrevertido, junto con la capacidad de almacenamiento del embalse. La rotura estructural súbita conduce a una elevación repentina del caudal desaguado y por tanto a un hidrograma de rotura que puede ser muy destructivo si la fase previa no se ha aprovechado para realizar una evacuación rápida de la población que ocupa las zonas inundables.”[38]

Se considera de suma importancia conocer la capacidad total del embalse, que indudablemente repercutirá en la cantidad de área afectada en la cuenca, sin embargo, se estimó conveniente determinar un valor que refleje no solo la cantidad de agua sino su efecto aguas abajo, considerando para estos efectos una fórmula similar a lo que sería un cálculo de energía potencial, es por esto se formuló la siguiente expresión:

$$V = \frac{CE * \Delta H}{L} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

$V$  = Valor de capacidad del embalse

$CE$  = Capacidad del embalse en Hectómetros cúbicos

$\Delta H$  = Diferencial entre altura máxima de la presa y altura media de la ciudad más cercana ambos con sus referencias en m.s.n.m

$L$  = Distancia en kilómetros, medida por el cauce desde la presa a ciudad más cerca

En la fórmula anterior se considera que los efectos de la capacidad del embalse son mayorados mientras más capacidad tenga el embalse o mientras más diferencia de altura exista y son minorados mientras mayor sea la distancia desde la presa a la ciudad más cercana.

#### 5.2.1.4.2 Cantidad de sismos soportados

“Un movimiento sísmico importante puede ocasionar grandes olas en el embalse con el peligro de que rebasen por sobre la presa. Este peligro puede ser aún mayor cuando derrumbes o deslizamientos de tierras, producidos por el propio terremoto, caen dentro del embalse produciendo casi un maremoto interior. La ruptura de una presa puede tener consecuencias muy graves y muy inciertas por efecto de la avalancha de las aguas que pueden afectar a poblaciones ubicadas aguas abajo de la presa.”[39]

“Presas en relleno rocosa. Son más flexibles que las de hormigón y más resistentes que las de tierra, pero como se suele utilizar hormigón o arcilla para impermeabilizarlas, estos materiales pueden agrietarse con un terremoto y presentar fugas de agua. Los daños que se pueden presentar serían.”[39]

- Grietas o filtraciones menores, medianas o grandes.

- Embanques del embalse por derrumbes.
- Colapso o derrumbe de la presa.

Es considerable el daño sufrido ante sismos de gran intensidad, sin embargo, es necesario tener en consideración el daño producidos por sismos reiterados, daños que por diversas razones pueden que no hayan sido detectados[39] y debido a la acumulación daños, la estructura es más propensa a aumentar estos daños o colapsar. Se consideraron la cantidad de sismos de magnitud mayor a 7 grados soportados al 2019 por la estructura y que su epicentro se encuentre a menos de 100 km de la presa. La información fue obtenida desde USGS The Earthquake Hazards Program<sup>8</sup> y midiendo la distancia desde la presa hasta el epicentro de cada sismo.

#### **5.2.1.4.3 Ciudades aguas abajo**

“En este sentido, en un sistema de ciudades, las relaciones entre centros urbanos se desarrollan como nodos que pueden ser jerárquicos, complementarios o que efectúen una fuerte competencia entre ellos (Cattan, et al., 1999; Damette, 1994). De esta manera, en un sistema de ciudades, podremos encontrar ciudades bien posicionadas, mientras que otras estarán en un segundo o tercer nivel inferior de la jerarquía, incluso en algunas ocasiones dependiendo la escala de análisis, ciertos centros urbanos podrían estar desconectados de una red (Short, 2004).”[40]

Se considera a todos aquellos lugares con una población igual o superior a 5.000 habitantes, este subcriterio considera la posibilidad de afectar más de una ciudad y así considerar la relación e interacción entre las ciudades y cómo estas pueden relacionarse con otras ciudades que no necesariamente se hayan visto afectadas por la inundación, sino más bien son afectadas debido a que su vínculo con la ciudad afectada fue dañada o llanamente “desconectada”, por lo tanto no considera los habitantes, estructuras ni servicios aguas abajo sino las ciudades en sí, ya que los habitantes, estructuras y servicios ya fueron considerados en los subcriterios cantidad de personas afectadas, estructuras y servicios respectivamente. Específicamente lo que se considera es la relación entre distintas ciudades y el efecto que provoca dañar una red de ciudades que de una u otra manera se comunican, fortalecen y ayudan entre sí en una región. La información fue obtenida desde Google Earth buscando las ciudades localizadas aguas abajo de la presa.

#### **5.2.1.4.4 Caudal Peak**

“Una avenida o crecida de un río, también llamada popularmente riada, es un proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales, constituido por un incremento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial. Lleva consigo un ascenso del nivel de la corriente, que puede desbordar el cauce menor para ocupar progresivamente el cauce mayor, hasta alcanzar un máximo o punta de caudal o caudal-punta y descender a continuación (OLLERO, 1996). Son situaciones de estrés hídrico, sucesos hidrogeomorfológicos muy bien concentrados localmente, bien generalizados a nivel de cuenca, en los que el incremento de caudal supone un incremento de los flujos de energía (inputs y outputs) a través del sistema, que necesita estos procesos extremos para su propio equilibrio dinámico (GARZÓN, 1987). Esta sobreexcitación del comportamiento

---

<sup>8</sup> USGS The Earthquake Hazards Program (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>)

hidrológico genera consecuencias ambientales muy diferentes a las de los procesos de escorrentía normal, ya que se superan umbrales de resistencia en el sistema fluvial y se aceleran los procesos de erosión, transporte y sedimentación en la evolución ambiental de la cuenca.”[41]

Si bien se consideró la capacidad del embalse, este no siempre tiene una relación directa con el caudal peak y es de vital importancia considerar este valor para determinar la zona de inundación y sus posibles efectos aguas abajo. El caudal peak corresponde al caudal máximo producto de la rotura de presa cuando esta se encuentra en su máxima capacidad, este valor fue obtenido desde informes privados entregados por el Departamento de Proyectos Hidráulicos del Ministerio de Obras Públicas para luego ser parametrizado con la fórmula que se muestra a continuación:

$$Q = \frac{CPk}{T} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

$Q$  = Valor de caudal peak del embalse

$CPk$  = Caudal peak del embalse en m<sup>3</sup>/s

$T$  = Tiempo en minutos de llegada de la primera ola

Se considera que los efectos del caudal peak de la rotura de la presa son mayorados mientras más alto sea el caudal peak y minorados mientras más tiempo tome en llegar la primera ola a la primera ciudad que se encuentre aguas abajo.

#### 5.2.1.4.5 Riesgo Volcánico

“Hay que tener en cuenta la generación indirecta de algunos fenómenos cuya peligrosidad es muy alta. Ejemplos típicos son, las roturas de presas o el incendio de bosques. A este respecto debe considerarse muy seriamente en esta zona la existencia de taludes inestables. Parece evidente que unos simples temblores volcánicos podrían desencadenar el brusco desprendimiento de estas masas rocosas.”[42]

Si bien se desconoce cuál será el real comportamiento de las cenizas y el flujo piroclástico o si estos lograrán realmente llegar a la presa, si es posible prever con seguridad que la erupción puede tener tal magnitud que derretirá la nieve alojada en la cima produciendo un lahar que eventualmente puede destruir una presa. Se considero también la posibilidad de que producto de los sismos generados por la erupción, estos puedan provocar grandes movimientos de rocas que caigan en embalse lo que puede terminar en un sobrevertido del embalse. Además, se tomó en cuenta que el material piroclástico puede alcanzar el vaso del embalse, incluso pudiendo llegar a la presa causando serios daños en su capacidad y/o destruyendo la estructura de contención. La información fue obtenida desde el catálogo nacional de información geoespacial en la sección desastres naturales <sup>9</sup>, la cual se enlazo a Google Earth y se comparó con los embalses cercanos que podrían ser afectados.

---

<sup>9</sup> catálogo nacional de información geoespacial (<http://www.geoportal.cl/visorgeoportal/>)

## 5.2.2 Árbol Jerárquico

El Analytic Hierarchy Process (AHP) descompone el problema de decisión en una jerarquía donde son desglosados en criterios y subcriterios, es decir “sub-problemas” que son comprendidos más fácilmente, cada uno de los cuales puede ser analizado de forma independiente. Los elementos de la jerarquía pueden relacionarse con cualquier aspecto del problema de decisión, sea este cualitativo o cuantitativo, siendo utilizada cualquier cosa que afecte a la toma de la decisión, así como fue mencionado en el capítulo 3.1, 3.2 y 3.3. A continuación, en la Figura 5.1, se muestra la jerarquía utilizada para este análisis.

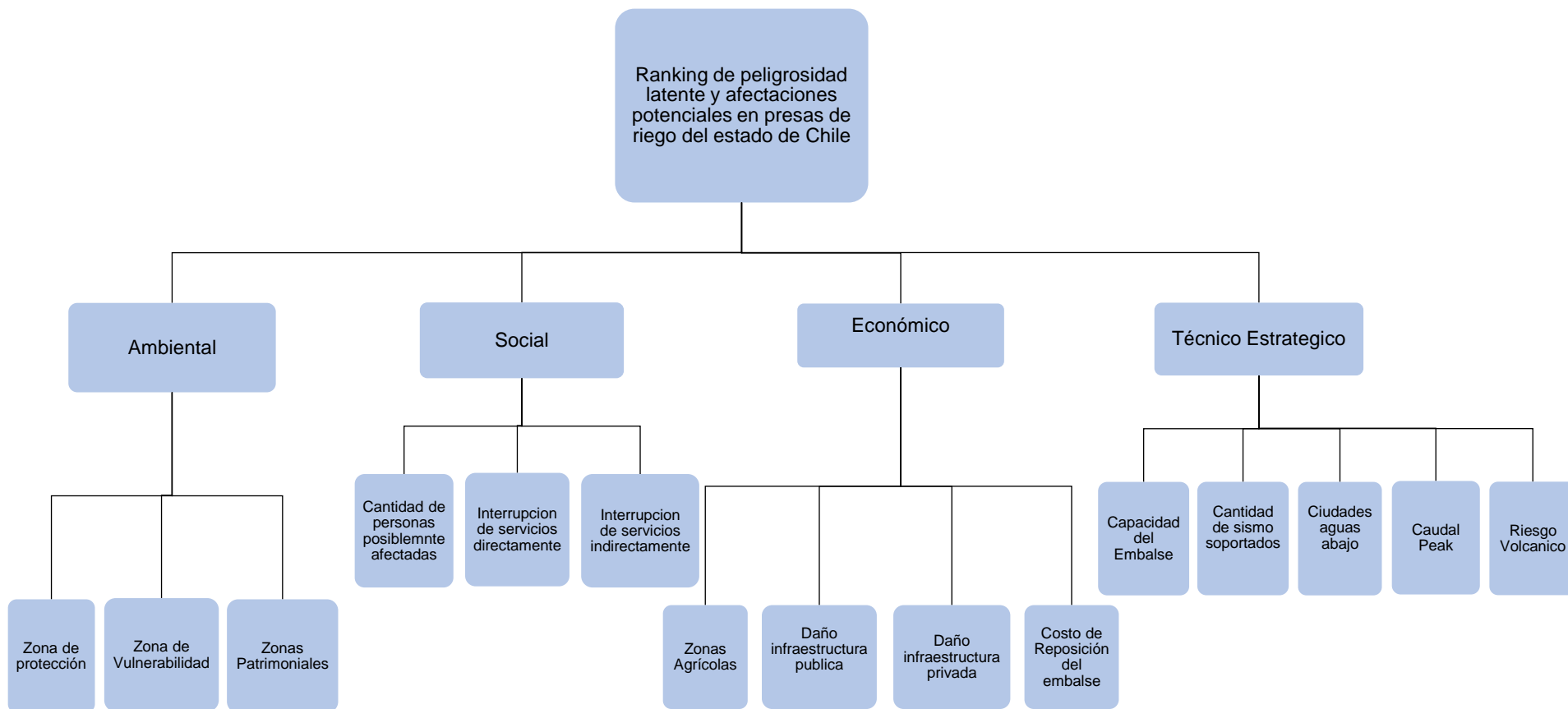


Figura 5.1 - Esquema jerárquico de criterios y sub criterios

## 6 Desarrollo del Modelo

### 6.1 Modelación de la rotura de presas en HEC-RAS

HEC-RAS es un programa desarrollado por US Army Corps of Engineers que se utiliza para modelar la hidráulica de flujo de aguas de ríos naturales y de canales. Esta herramienta permite al usuario realizar un flujo estable unidimensional, cálculos de flujo inestable unidimensional y bidimensional, cálculos de transporte de sedimentos, lecho móvil y modelado de la temperatura del agua, calidad del agua, entre otros.

En su versión 5.0.7 se pueden generar datos geoespaciales adicionales para el análisis de la velocidad, el esfuerzo cortante, la potencia de la corriente, el espesor del hielo y los datos de inundaciones.

El programa tiene su primer lanzamiento en 1968 (Versión 0), que solo calculaba perfiles de flujo en canales trapezoidales, sin embargo, no es hasta 1995 que cuenta con una interfaz (Versión 1) y es desarrollado como herramienta computacional. En estas evaluaciones de rotura de presas se hará zuso del análisis bidimensional disponible en el programa.

#### 6.1.1 Parámetros utilizados para la modelación

Al comenzar con el desarrollo del modelo para el análisis de cada presa, son necesarios los archivos DEM (Digital Elevation Model) que se utilizan para identificar la topografía del terreno y se obtienen del satélite Alos Palsar de la NASA<sup>10</sup>. Al ser mediciones satelitales, no son exactas, por lo que es necesario considerar un margen de error y en este caso se ha corroborado que el satélite Alos Palsar arroja un error cuadrático medio en elevación de 3,06 metros [43], por lo cual en zonas cuyos valores sean menores a dicha medida, se podría inferir que estas eventualmente no lleguen a ser inundadas.

El programa requiere que se definan e ingresen parámetros a utilizar, para los cuales se detallan las siguientes consideraciones aplicadas en este trabajo:

Grillas:

- Se consideran 200 metros de ancho y 200 metros de largo para cada grilla, de manera tal que en el intervalo de tiempo (60 segundos), se cumpla la condición de Courant, que se obtiene de la relación entre espacio, velocidad y tiempo.[44]
- Rugosidad de Manning de 0,06, considerado este valor debido modelación de llanura de inundación en la Tesis de Magister, “Aplicación de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 para calculos bidimensionales del flujo de agua en ríos”, la cual incluye una ciudad y gran cantidad de cultivos [44].
- Normal Depth (pendiente de línea de energía o pendiente de fondo aguas abajo) de 0,001, se asume este valor considerando que las planicies son mejor representada sus zonas de inundación [45].

---

<sup>10</sup>NASA Earth Data ASF Data Search Vertex ( <https://search.asf.alaska.edu/#/>)

El conjunto de celdas forman un cauce suficientemente largo para que el flujo de la rotura desemboque en el mar, asumiendo así la condición que aguas abajo el flujo llegue con altura normal [46]

Hidrograma:

- Tiempo base adecuado para que cada embalse pueda ser vaciado completamente.
- 10 minutos como tiempo, en el cual se produce el caudal peak.

Según la literatura, el tiempo del caudal peak, considerando una falla repentina de la presa de hormigón, puede llegar a ser de 15 minutos[47], en casos de presas de material suelto (CFRD) se estiman 6 minutos[48]. Los valores anteriores no son el resultado de una metodología exacta y lo que suceda en un caso real puede variar significativamente, ajustándose los valores anteriores o no, sin embargo, para tener uniformidad en la evaluación y ser un parámetro que afecte a todas las presas por igual, se consideran 10 minutos para todas las presas.

Tiempo de Simulación

- Ventana de tiempo (día y hora de inicio y día y hora de término).

La ventana de tiempo varía dependiendo de cada presa, se define un lapso suficiente para que la crecida llegue al mar.

Configuración de cálculos:

- Definición de Intervalos:

Computation Interval = 1 Minuto

Mapping output interval = 1 Minuto

Hydrograph output Interval = 1 Minuto

Detailed output interval = 1 Minuto

Un aspecto clave para establecer las presas con mayores peligros y afectaciones potenciales, es contar con un modelo que sea capaz de mostrar el área de inundación en una rotura, por eso es importante definir una forma adecuada de realizar este análisis. El detalle de cómo se llevó a cabo este proceso se encuentra en la presentación: “Modelación de Inundación por Rotura de Presas en HEC-RAS 5.0.7”, anexa en el CD de esta memoria de título, al igual que los respectivos modelos realizados para cada presa.

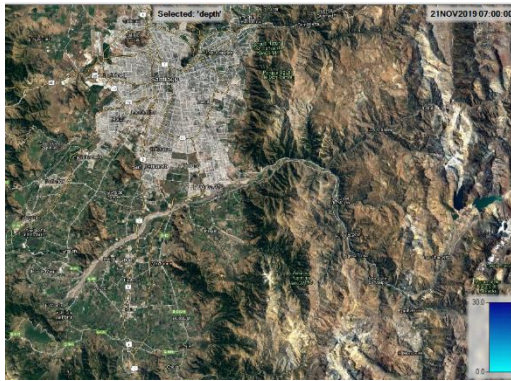
Al realizar este procedimiento se obtuvo una simulación visual de cómo serían las alturas máximas de inundación (Figura 6.1)



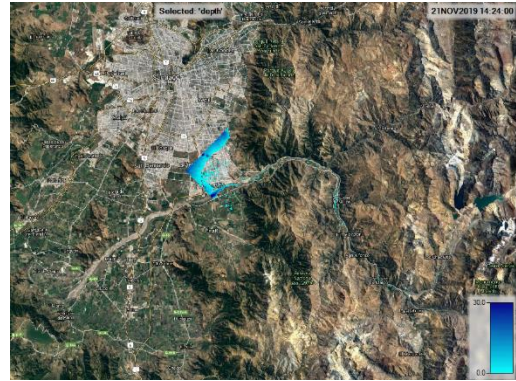
Figura 6.1 - Máximas alturas en simulación de inundación en Santiago (Fuente: HEC-RAS)

Además de tener una visualización completa de las alturas máximas de inundación, también se puede visualizar el avance del fluido en el transcurso del tiempo. Ejemplo es la Figura 6.2 donde se muestra el avance a través del tiempo del flujo de agua post rotura de la presa El Yeso, es con esta visualización que se estima cuál es el tiempo de llegada de la primera ola.

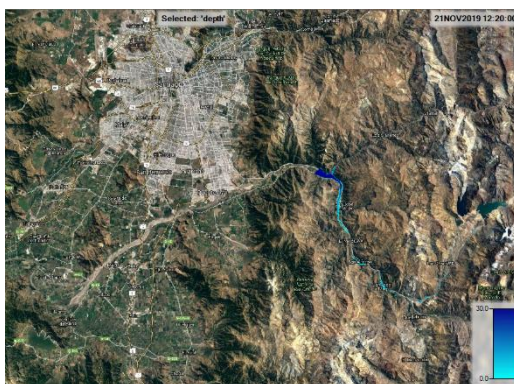
Cabe destacar que los modelos de inundación realizados no necesariamente ocurrirán de la misma manera en la realidad, sin embargo la información obtenida mediante los modelos realizados es una buena estimación para los fines informativos que se utilizan en el presente estudio. Para un análisis aún más exacto, es necesario contar con levantamientos detallados de terreno, lo cual no es incorporado en este trabajo debido a que este tipo de información tiene un costo adicional considerable.



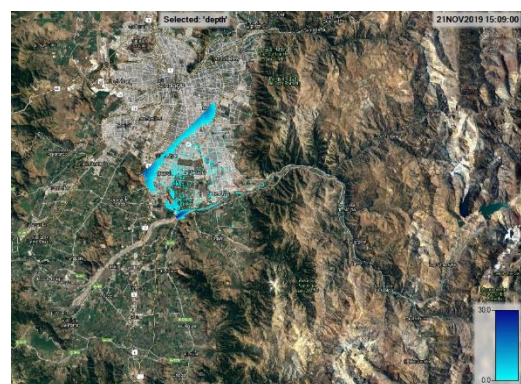
[A]



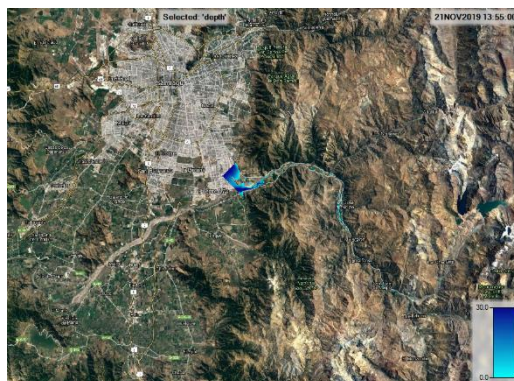
[D]



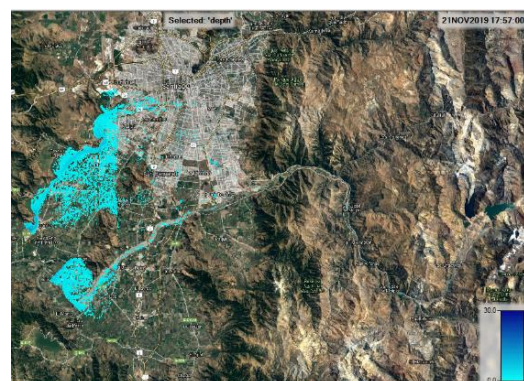
[B]



[E]



[C]



[F]

Figura 6.2- Altura de inundación en Santiago a través del tiempo (Fuente: HEC-RAS)

Al modelo de inundación del embalse El Yeso realizado en HEC RAS se le realizó un análisis de sensibilidad variando el tamaño de la malla de 200x200 metros con intervalos de cálculos cada 1 minuto a 100x100 metros y con su intervalo de cálculo a 30 segundos, lo que provocó que las alturas de inundación fueran mayores con variaciones máximas de 3 metros de diferencia como se aprecia en la figura 6.3., sin embargo, la zona de inundación permaneció casi sin cambio excepto en las zonas más cercanas a la costa en donde se aprecia una leve disminución en las zonas inundadas.

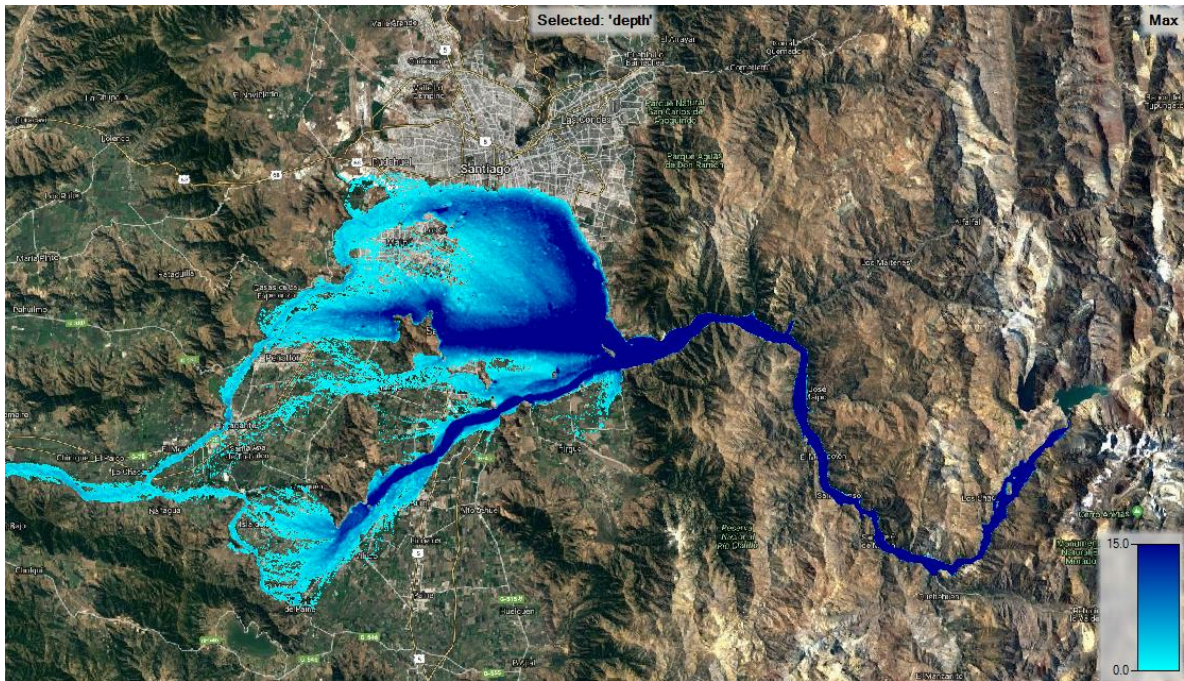


Figura 6.3 - Máximas alturas en simulación de inundación con malla 100x100 en Santiago (Fuente: HEC-RAS)

Por lo que podemos inferir que eventualmente la simulación ante variaciones de malla tiende a mantener sus zonas de inundación pero sus alturas pueden variar. Además es recomendable poder realizar un análisis con un enmallado más fino en zonas donde se presentan grandes cambios de pendiente o expansiones de flujo en la zona de inundación.

La información extraída de los modelos es el tiempo de llegada de la primera ola (*Tabla 6.1*) y, de manera indirecta utilizando el mapa de inundación, se obtiene información de zonas de protección, zonas patrimoniales, personas afectadas, interrupción de servicio indirectos, interrupción de servicios directos, zonas agrícolas afectadas, daño de infraestructura pública, daño a infraestructura privada y ciudades aguas abajo. Todos los datos antes mencionados se encuentran en el capítulo 6.2.

Tabla 6.1 Tiempo de llegada de la primera ola a la primera ciudad aguas abajo de la presa

Numero	Nombre	Tiempo de arribo de primera ola (min)
1	Ancoa	248
2	Aromos	90
3	Bullileo	360
4	Caritaya	130
5	Cerrillos	110
6	Chacrillas	108
7	Cogotí	36
8	Coihueco	30
9	Conchi	149
10	Convento Viejo II	130
11	Corrales	117
12	Culimo	172
13	Digua	158
14	El Bato	176
15	El Yeso	160
16	Huechún	431
17	Huelehueico	427
18	L o Ovalle	102

Numero	Nombre	Tiempo de arribo de primera ola (min)
19	Lolol	36
20	La Laguna	616
21	Laguna del Huasco	344
22	Laguna del Maule	572
23	Laguna del Planchón	433
24	Lautaro	132
25	Los Cristales	235
26	Los Perales de Tapihue	146
27	Orozco	10
28	Paloma	125
29	Pitama	15
30	Puclaro	234
31	Purísima	127
32	Recoleta	87
33	Rungue	37
34	Santa Juana	97
35	Tucapel	15
36	Tutuvén	153

## 6.2 Información para evaluar el modelo

De acuerdo con el modelo propuesto para determinar un ranking de peligrosidad y afectaciones potenciales de las 36 presas que comprenden este estudio, se recopila información para llevar cabo la evaluación del modelo. Colaboran en esta instancia el Departamento de Proyectos de Riego del Ministerio de Obras Públicas y otros organismos competentes, en su mayoría provenientes del Estado de Chile y se emplea el programa HEC-RAS 5.0.7 para realizar un modelo de inundación para cada presa del estudio.

A los componentes cualitativos de cada subcriterio (si es que hay más de uno) mencionado en el capítulo 5 se le asigna valores de 0 a 100 y en algunos casos extremos puede llegar hasta 1000, que al igual que los componentes cuantitativos (si es que hay más de uno) son ponderados, según la fórmula explicada en este capítulo. Es necesario tener en cuenta que la definición de la escala para el conjunto de cada subcriterio es una decisión del modelador, la cual debe ser consistente con la importancia dada por los especialistas y según lo que dicta la jerarquía de los componentes ponderados. Aun así, es una decisión de carácter arbitrario, que eventualmente podría estar sujeta a modificaciones si es que cambia el modelador.

En todos los casos, tanto para información cuantitativa como para cualitativa, luego de realizar las ponderaciones respectivas de los datos de cada uno de los subcriterios obtenidos, se homogenizan los valores a través de interpolación en escala de 10 a 1000 considerando el valor mínimo de los datos obtenidos en un subcriterio como 10 y el valor máximo de un subcriterio 1000 (a esto se hace alusión cuando se habla de interpolación), permitiendo así que todos los valores para un subcriterio puedan ser comparados y trabajados numéricamente, sin embargo, en el caso de que los datos cuantitativos de un subcriterio sean muy cercanos entre sí, se interpolan entre 10 y 1000 considerando el valor mínimo como 0, esto se realiza para evitar que valores muy cercanos entre sí presente grandes diferencia en el modelo. Cabe destacar que esta escala es una representación de la “importancia” que tiene cada presa en función del subcriterio considerado.

Se considera relevante mencionar también que existieron algunos subcriterios que fueron propuestos, para los que se recopiló la información necesaria, pero a juicio de los especialistas no se consideraron en el estudio.

### 6.2.1 Información Ambiental

#### 6.2.1.1 Zonas de Protección

Debido a que la información obtenida para este subcriterio (capítulo 5.2.1.1.1) es diversa, se divide en tres (según el tipo de zona), dándole un nivel de importancia a cada grupo (Tabla 6.2 a Tabla 6.4). La información anterior es procesada como se muestra en la Ecuación 6.1 obteniendo suma de escalas ponderadas la cual es interpolada obteniendo una escala final 1. Los valores calculados para cada presa se muestran en los anexos en la Tabla A.1 y Tabla A.2 al igual que el detalle de cada una de las áreas posiblemente afectadas.

Tabla 6.2 – Ponderación de importancia en la información ambiental primer grupo

Primer Grupo			
100%			
Sitio Ramsar	Reserva de la Biosfera	Bien Nacional Protegido (BNP)	Paisaje de conservación (PC)
100%	95%	90%	85%

Tabla 6.3 – Ponderación de Importancia en la información ambiental segundo grupo

Segundo Grupo								
75%								
Parque Nacional	Reserva Nacional	Reserva Forestal	Monumento Natural	Reserva Región Virgen	Área Marina Costera Protegida	Parque Marino	Reserva Marina	Santuario de La naturaleza
100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%

Tabla 6.4 – Ponderación de Importancia en la información ambiental tercer grupo

Tercer Grupo	
60%	
Ley 19300	ERB (Estrategia Regional de Conservación)
100%	50%

$$E_S = \sum E_{ij} * P_{ij}$$

Ecuación 6.1

$E_S$  = Suma de escalas ponderadas para cada presa.

$E_{ij}$  = Escala de cada área es cada presa.

$P_{ij}$  = Importancia de cada grupo entre 0 y 1.

### 6.2.1.2 Zonas de Vulnerabilidad Ambiental

En el informe elaborado por CEPAL se muestran las áreas con riesgos clasificados del 0 al 5, siendo los valores de importancia más altos para aquellos con mayores riesgos. Para procesar la información se anexa a Google Earth las zonas clasificadas y se determina la cantidad de metros a lo largo del cauce desde la presa hasta su desembocadura en el mar, interpolado la cantidad de metros de cada clasificación y luego ponderados según el factor de riesgo (importancia) de cada zona (Ecuación 6.2), valor el cual nuevamente es interpolado para obtener una escala final 2 de cada presa. Los porcentajes asignados a cada nivel de riesgo se presentan en la Tabla A.3 y Tabla A.4 que se encuentran en los anexos.

$$E_s = \sum E_{ij} * P_{ij} \quad \text{Ecuación 6.2}$$

$E_s$  = Suma de escalas ponderadas para cada presa.

$E_{ij}$  = Escala de 10 a 1000 de cada clasificación en cada presa.

$P_{ij}$  = Importancia de cada grupo entre 0 y 1.

### 6.2.1.3 Zonas Patrimoniales

A través de mapas de zonas patrimoniales en conjunto con las zonas de inundación (capítulo 6.1) se obtiene la cantidad en metros de rutas patrimoniales afectadas y además el área de zonas patrimoniales. Luego de transformar los valores a escala de 10 a 1000 se ponderan para obtener una suma de escalas ponderadas según la Ecuación 6.3, valor que es interpolado obteniendo una escala final 3. Los resultados obtenidos se aprecian en la Tabla A.0.5 y la Tabla A.0.6 que se encuentran en los anexos.

$$SEP_i = ERP_i + EAP_i \quad \text{Ecuación 6.3}$$

$SEP$  = Suma de escalas ponderadas

$ERP$  = Escala ruta patrimonial

$EAP$  = Escala Áreas patrimonial

## 6.2.2 Información Social

### 6.2.2.1 Cantidad de personas posiblemente afectadas

Gracias al modelo desarrollado en HEC-RAS, se pueden conocer: ciudades, pueblos o caseríos que podrían verse afectados. Además, incorporando información del Instituto Nacional de Estadísticas, se contabiliza la cantidad de personas posiblemente afectadas, considerando la totalidad de habitantes para todas las ciudades o comunas bajo dicha condición. Los valores son interpolados y mostrado en la Tabla A.7 que se encuentra en los anexos.

### 6.2.2.2 Interrupción de Servicios Directamente

Como se menciona en el capítulo 5.2.1.2.2 luego de obtener la información, se asigna un valor de importancia para cada uno de los componentes de este subcriterio. Para la interrupción de servicios directos, se considera: agua potable (100% de importancia) mientras que para las subestaciones de energía eléctrica (80% de importancia).

Para agua potable y servicios sanitarios, se considera la cantidad de plantas de tratamiento afectadas, mientras que para la energía eléctrica se considera la cantidad de subestaciones dañadas. En la recolección de información se toma en cuenta la zona de inundación, donde existan plantas de tratamiento y/o subestaciones de energía eléctrica que serían afectadas.

Luego de obtener la cantidad de plantas de tratamientos de agua potable y subestaciones de energía eléctrica afectadas, se transforma su valor a escala de 10 a 1000. Luego se ponderan y suman los valores de escala de cada una (Ecuación 6.4), información que es interpolada obteniendo una escala final 5 y es mostrada en la Tabla A.8 y Tabla A.9 que se encuentran en los anexos.

$$SEP_i = EAP_i * P_1 + ESEE_i * P_2 \quad \text{Ecuación 6.4}$$

$SEP$  = Suma de escalas ponderadas

$EAP$  = Escala agua potable

$ESEE$  = Escala subestaciones energía de eléctrica

$P_1$  = Importancia de escala agua potable, valor 1

$P_2$  = Importancia de escala subestaciones de energía eléctrica, valor 0,8

### 6.2.2.3 Interrupción de Servicios Indirectamente

Como se menciona en el capítulo 5.2.1.2.3 luego de obtener la información, se asigna un valor de importancia a cada uno de los componentes de este subcriterio. Para la interrupción de servicios indirectos se considera; la generación eléctrica (100% de importancia), bases de líneas de transmisión (90% de importancia) y oleoductos con gaseoductos (70%).

En generación eléctrica se consideran todas las centrales de biomasa, hidroeléctricas, eólicas, termoeléctricas y solares. En la recolección de información, se toma en cuenta la zona de inundación y generación eléctrica posiblemente afectadas en función de su cantidad de energía generada.

Para encontrar la cantidad de bases de líneas de transmisión dentro de las zonas de interés, se verifica el promedio de la distancia entre torres, se miden los kilómetros afectados donde existan líneas de transmisión (según el modelo de inundación en HEC-RAS) y se divide por la distancia promedio obteniendo la cantidad de bases afectadas. Finalmente, para los gaseoductos y oleoductos se mide la cantidad de metros en que la inundación podría provocar daños (Tabla A.0.10 y Tabla A.0.11).

Tanto para generación eléctrica, bases de energía eléctrica y oleoductos o gaseoductos, se considera la cantidad afectada en metros o energía según corresponda, son interpolados y obtenidos los resultados de las Tablas A.10 y A.11 que se encuentran en los anexos.

Los valores de escala de oleoductos y gaseoductos, bases de energía y generación eléctricas son ponderados y sumados (Ecuación 6.5), y su resultado es interpolado para tener así una escala final 6 (Tabla A.0.12 y Tabla A.0.13)

$$SEP_i = EAP_i * P_1 + EBE_i * P_2 + EOG_i * P_3 \quad \text{Ecuación 6.5}$$

$SEP$  = Suma de escalas ponderadas

$EGE$  = Escala generación eléctrica

$EBE$  = Escala bases de electricidad

$EOG$  = Escala oleoducto y gaseoducto

$P_1$  = Importancia de escala generación eléctrica, valor 1

$P_2$  = Importancia de escala bases de electricidad, valor 0,9

$P_3$  = Importancia de escala oleoducto y gaseoducto, valor 0,7

## 6.2.3 Información Económica

### 6.2.3.1 Zonas Agrícolas

Las zonas agrícolas comprenden aquellas zonas afectadas por la inundación y aquellas que producto de la rotura del embalse no pueden asegurar su riego para la próxima temporada. La información es obtenida de informes técnicos del Departamento de Proyectos de Riego del Ministerio de Obras Públicas, donde se detalla la cantidad de hectáreas que beneficia cada embalse. Con el modelo de inundación desarrollado en HEC-RAS se determina el área afectada, cuyas medidas son obtenidas mediante Google Earth. Ahora bien, para calcular el peligro ponderado de zonas agrícolas para cada presa se utiliza el área inundada (importancia del 100%) y el área que estaría sin riego asegurado (importancia del 50%), información con la que se realiza un promedio ponderado con respecto al área total comprometida (Ecuación 6.6). El resultado es interpolado, obteniendo de esta manera los resultados presentados en la Tabla A.14 y Tabla A.15 que se encuentran en los anexos.

$$PAF = \frac{AI * P_1 + AR * P_2}{AI + AR} \quad \text{Ecuación 6.6}$$

$PAF$  = Porcentaje área afectada

$AI$  = Área agrícola inundada

$AR$  = Área agrícola sin riego asegurado

$P_1$  = Importancia de área agrícola inundada (en porcentaje)

$P_2$  = Importancia de área agrícola sin riego asegurado (en porcentaje)

### 6.2.3.2 Daño a Infraestructura Pública

Dentro de los aspectos más relevantes en cuanto a la infraestructura pública que son considerados dentro de esta memoria, se encuentra: la cantidad de tiempo en reconstrucción, costo y recursos gestionados para volver a construir estructuras tales como puentes, infraestructura aérea, penitenciarias de alta seguridad, presas y estadios.

La información obtenida se compara con la zona de inundación en Google Earth, asignando un valor dependiendo de la infraestructura comprometida, en el caso del embalse “La Laguna”, la zona de inundación llega hasta el embalse “Puclaro”, esto podría provocar su ruptura. Además, en el caso del embalse “Laguna del Maule” podría afectar a tal cantidad de puentes y ciudades que se considera que la infraestructura alcanza el valor extremo.

En este caso se asignaron valores de importancia; nulo (0%), bajo (33,3%), medio (66,6), alto (100%) y extremo (1000%). El valor extremo es mayor que 100% ya que, en caso de afectar una presa o una gran cantidad de estructuras importantes, el asignar un valor alto no representa la magnitud del daño provocado. Finalmente, se obtuvo la escala final 8 mediante interpolación, dando como resultado los datos mostrados en la Tabla A.16 mostrada en los anexos.

### **6.2.3.3 Daño a Infraestructura Privada**

En cuanto a la infraestructura privada, se consideran todas las casas y edificios de la zona inundada. La información es comparada con la zona de inundación en Google Earth asignando un valor dependiendo de la cantidad de infraestructura comprometida. En el caso de Convento Viejo II y Laguna del Maule cuentan con las presas Rapel y Colbún respectivamente aguas abajo por lo que se asignan valores extremos. Se asignan los valores: nulo (0%), bajo (33,3%), medio (66,6%), alto (100%) y extremo (1000%) para cada caso. Posteriormente interpolando se obtiene los valores presentados en la Tabla A.17 que se encuentra en los anexos.

### **6.2.3.4 Costo de reposición del embalse**

El costo de reposición considera construir una presa de las mismas características con un valor en unidad de fomento, la información se obtiene del informe "Levantamiento, Catastro y Valoración del Patrimonio de Infraestructura de Chile" y al procesarla, mediante una interpolación se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla A.18 que se encuentra en los anexos.

## **6.2.4 Información Técnico Estratégico**

### **6.2.4.1 Capacidad del embalse**

Como se explica en el capítulo 5.2.1.4.1, es importante tener un valor que refleje la capacidad del embalse y cómo afecta este en la rotura, para lo cual se define la Ecuación 5.1.

La capacidad de cada embalse y la altura de presa se obtiene de informes facilitados por el Ministerio de Obras Públicas. La altura media de cada presa se obtuvo a través de información de los municipios y verificados con Google Earth. Para determinar un valor en la misma escala que los anteriores se interpola el valor calculado con la Ecuación 5.1 y se obtiene los resultados mostrados en la Tabla A.19 y Tabla A.20 que se encuentran en los anexos.

### **6.2.4.2 Cantidad de sismos soportados**

Se consideran los sismos registrados con mayor magnitud, que su epicentro se encuentre a menos de 100 km de la presa y que han sido soportados por las estructuras hasta el año 2019. La información de la cantidad de sismos es obtenida desde USGS The Earthquake Hazards Program, definido en el capítulo 5.2.1.4.2 y se determina midiendo la distancia desde la presa hasta el epicentro de cada sismo registrado. La cantidad de sismos obtenidos se interpolan para así obtener los valores de la Tabla A.21 que se encuentra en los anexos.

#### **6.2.4.3 Ciudades aguas abajo**

Como se menciona en el capítulo 5.2.1.4.3 se consideran las poblaciones iguales o superiores a 5.000 habitantes. El peligro asociado a cada una de las presas analizadas se obtiene a través de la interpolación y los resultados se aprecian en la Tabla A.22 que se encuentra en los anexos.

#### **6.2.4.4 Caudal peak**

Como se explica en el capítulo 5.2.1.4.4 es de importancia tener un valor que refleje el caudal peak del embalse y cómo afecta este en la rotura, lo cual se define por la Ecuación 5.2. Los porcentajes de peligro para cada caso se calculan interpolando los valores de  $Q$  obteniendo una escala final, tal como se muestra en la Tabla A.23 y Tabla A.24 que se encuentran en los anexos

#### **6.2.4.5 Riesgo Volcánico**

Como se menciona en el capítulo 5.2.1.4.5, existe la posibilidad de que flujo piroclástico o cenizas puedan afectar la nieve acumulada o al embalse mismo, es por esto que al comparar las zonas donde podría llegar este flujo se estiman cuales presas podrían ser afectadas.

Con la información obtenida se considera para casos en que el flujo llegaría hasta el embalse un 100% de importancia; cuando existiera una proximidad, pero que no llega a la presa el flujo, se considera un 20% de importancia; finalmente, en caso de que exista flujo en los alrededores, pero que es muy poco probable que llegue siquiera al embalse, se consideró un 10% de importancia, todo lo antes mencionado se realiza con una inspección visual a través del explorador mencionado en el capítulo 5.2.1.4.5 el cual cuenta con las posibles zonas donde llegaría el material piroplástico. Al interpolar estos se obtiene un valor de escala de cada presa como se muestra en la Tabla A.25 que se encuentra en los anexos.

### 6.3 Asignación de peso a los criterios

Este proceso se inicia una vez recopilada toda la información requerida para cada criterio. Con lo anterior, se asigna el peso para cada uno, sin embargo a medida que se avanza en este mismo proceso puede determinarse necesario incluir nuevos criterios o excluir alguno originalmente considerado.

Quienes participaron de esta ponderación fue un grupo de especialistas compuesto por seis profesionales del área de la Ingeniería Civil, quienes son detallados por sus nombres y cargos en la Tabla 6.5

Tabla 6.5 - Integrantes del focus group

Nombre	Cargo
Carmen Opazo	Ingeniera del Ministerio de Obras Públicas y 1° vicepresidente ICOLD en Chile
Yerel Morales	Jefa de Carrera en Ingeniería Civil, Universidad de Valparaíso
Juan González	Ingeniero del Ministerio de Obras Públicas
Luis Vidal	Ingeniero del Ministerio de Obras Públicas
Maritza Vergara	Ingeniera del Ministerio de Obras Públicas
Gerardo Carvajal	Ingeniero del Ministerio de Obras Públicas

Una vez enviada las indicaciones del proceso al focus group, detallando cómo se debe ponderar y las fechas para entregar la información, se realiza una reunión. Luego se les envía un archivo Excel y la información, en la que se incluyen los criterios y grupos de subcriterios a considerar en el modelo. Posteriormente, cada uno rellena las casillas en blanco de cada tabla (Figura 6.4), indicando su percepción de valorización de un criterio por sobre otro de acuerdo a la escala de Saaty.

	Ambiental	Social	Económico	Tec.-Estratégico
Ambiental	1,000			
Social		1,000		
Económico			1,000	
Tec.-Estratégico				1,000

Figura 6.4 - Ejemplo de tabla para ser rellenada por especialistas

Cada uno tuvo que responder ¿Cuánto más importante es el criterio Ambiental que el criterio Social?, ¿Cuánto más importante es el criterio Ambiental que el criterio Económico? y así sucesivamente hasta rellenar los espacios en blanco. En el archivo Excel se encuentra automatizado el cálculo de razón de consistencia, por lo que cada integrante del grupo tuvo que cerciorarse de que fuera menor al 10%, más adelante se muestra el detalle del cálculo de este valor.

Para agrupar todas las ponderaciones en una sola se utilizó el promedio geométrico en cada una de las casillas de la tabla, a modo de ejemplo si en la casilla ambiental-social los profesionales asignaron los valores de 9,3,5,1,7 y 8 el valor al agruparlos en uno es de 4,43 y se calcula así:

$$\text{Valor Ambiental - Social} = \sqrt[5]{9 * 3 * 5 * 1 * 7 * 8}$$

$$\text{Valor Ambiental - Social} = 4,43$$

Quedando los valores agrupados de los criterios y subcriterios como se muestra en las tablas de los siguientes capítulos y en la Figura 6.5

### 6.3.1 Ponderación de Criterios

Como se definió en el capítulo 5.2.2 existe una jerarquía, donde los criterios principales son subdivididos cada uno en subcriterios. Una vez realizada la comparación por los especialistas, esta información es reunida y los resultados se muestran en la Tabla 6.6

Tabla 6.6 – Ponderación de criterios

	Ambiental	Social	Económico	Tec.-Estratégico
Ambiental	1,000	0,491	0,863	0,397
Social	2,036	1,000	1,000	0,654
Económico	1,158	1,000	1,000	0,474
Tec.-Estratégico	2,518	1,528	2,112	1,000

Razón de Consistencia	0,011
-----------------------	-------

**Ok**  
R.C. Debe estar entre **0 y 0,1**

### 6.3.2 Ponderación de Sub-Criterios

La ponderación de los subcriterios (subdivisión de cada criterio) realizada por los especialistas, fue consolidada y se muestra a continuación. Los subcriterios considerados en el capítulo 6.2, se ponderan por los especialistas, comparando los componentes de cada subcriterio, según la escala de Satty, los resultados del proceso de consolidación de toda esta información se presentan en la Tabla 6.7 hasta la Tabla 6.10.

Tabla 6.7 – Ponderación de sub-criterio ambiental

	Z. Protección	Z. Vulnerable	Z. Patrimonial
Z. Protección	1,000	0,561	0,699
Z. Vulnerable	1,783	1,000	1,201
Z. Patrimonial	1,431	0,833	1,000

<i>Razón de Consistencia</i>	0,000
------------------------------	-------

**Ok**

R.C. Debe estar entre **0 y 0,1**

Tabla 6.8 - Ponderación sub-criterio social

	Personas Afectadas	Int. Serv. Dir.	Int. Serv. Ind.
Personas Afectadas	1,000	0,644	1,290
Int. Serv. Dir.	1,552	1,000	2,268
Int. Serv. Ind.	0,775	0,441	1,000

<i>Razón de Consistencia</i>	0,001
------------------------------	-------

**Ok**

R.C. Debe estar entre **0 y 0,1**

Tabla 6.9 – Ponderación sub-criterio económico

	Zonas Agrícolas	Daño Estr. Publica	Daño Estr. Privada	Costo rep. de embalse
Zonas Agrícolas	1,000	0,422	0,407	0,949
Daño Estr. Publica	2,371	1,000	1,059	1,035
Daño Estr. Privada	2,460	0,944	1,000	1,118
Costo rep. de embalse	1,053	0,966	0,894	1,000

<i>Razón de Consistencia</i>	0,028
------------------------------	-------

**Ok**

R.C. Debe estar entre **0 y 0,1**

Tabla 6.10 - Ponderación sub-criterio técnico-estratégico

	Volumen Emb*Personas /Tiempo	Cant. de sismos Sop.	Ciudades aguas Abajo	Caudal Peak*Personas / Tiempo	Riesgo Volcánico
Volumen Emb*Personas/ Tiempo	1,000	2,104	0,495	0,376	2,369
Cant. de sismos Sop.	0,475	1,000	0,577	0,203	1,057
Ciudades aguas Abajo	2,021	1,732	1,000	0,350	3,984
Caudal Peak*Personas/ Tiempo	2,659	4,914	2,857	1,000	5,233
Riesgo Volcánico	0,422	0,946	0,251	0,191	1,000

Razón de Consistencia	0,024
-----------------------	-------

**Ok**

R.C. Debe estar entre **0 y 0,1**

## 6.4 Vector Propio de los Criterios

El vector propio es un reflejo numérico de la importancia de un componente de una matriz de criterio o subcriterio en forma comparativa con los otros componentes de la misma matriz. Siguiendo las indicaciones presentadas en el Marco Teórico, capítulo 3.2 y con los datos presentados en la Como se definió en el capítulo 5.2.2 existe una jerarquía, donde los criterios principales son subdivididos cada uno en subcriterios. Una vez realizada la comparación por los especialistas, esta información es reunida y los resultados se muestran en la Tabla 6.6

Tabla 6.6 se procede a normalizar y obtener su vector propio. Este procedimiento se realiza en cada uno de los criterios y subcriterios.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,491 & 0,863 & 0,397 \\ 2,036 & 1 & 1,000 & 0,654 \\ 1,158 & 1,000 & 1 & 0,474 \\ 2,518 & 1,528 & 2,112 & 1 \end{pmatrix}$$

Vector propio resultante es el siguiente:

$$\begin{pmatrix} \text{Ambiental} \\ \text{Social} \\ \text{Economico} \\ \text{Tecnico - Estrategico} \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 0,150 \\ 0,253 \\ 0,202 \\ 0,394 \end{pmatrix}$$

Se observa que el valor más alto se encuentra en el criterio Técnico-Estratégico (0,394). Para saber si las ponderaciones calculadas son las adecuadas, se debe aplicar la relación de consistencia (Ecuación 3.4) y así establecer que los juicios definidos para los criterios son consistentes.

Entonces para calcular la razón de consistencia, es necesario estimar el Índice de consistencia (Ecuación 3.5) y el Índice Aleatorio (Tabla 3.2), es decir se debe utilizar las expresiones descritas en el Marco Teórico, capítulo 3.3.

Realizando los cálculos correspondientes se obtiene que la Razón de Consistencia es,

$$RC = 0,01092$$

Como el RC calculado es menor a 0,1 se puede establecer que el vector de prioridades estimado es consistente, dentro de un rango aceptable. Este proceso se repite para cada una de las matrices de sub criterios, el resultado es mostrado en el esquema jerárquico de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Los valores de vectores propios mostrados en la Figura 6.5 que son mencionados como Local (L), son valores que representa la importancia entre los criterios o los componentes de un mismo criterio o subcriterio y que sumados deben dar 1. Además se menciona el valor global (G), que es determinado al multiplicar el valor local de un componente, por ejemplo caudal peak (L=0,457), con el valor local inmediatamente superior, que para caudal peak es técnico estratégico (L=0,394) dando un valor global del caudal peak de 0,180, el cual refleja el valor de importancia de este componente en comparación entre todos los componentes de su mismo nivel de jerarquía, es decir, compara la importancia entre todos los subcriterios del modelo entre sí y la importancia de todos los criterios entre sí. Es así como podemos observar que de los quince subcriterios el más importante es el caudal peak con un G de 0,180 y de los criterios el más importante es el técnico estratégico con G = 0,394, notar que en los criterios los valores globales son iguales a los locales debido a que no existe una jerarquía superior para estos parámetros.

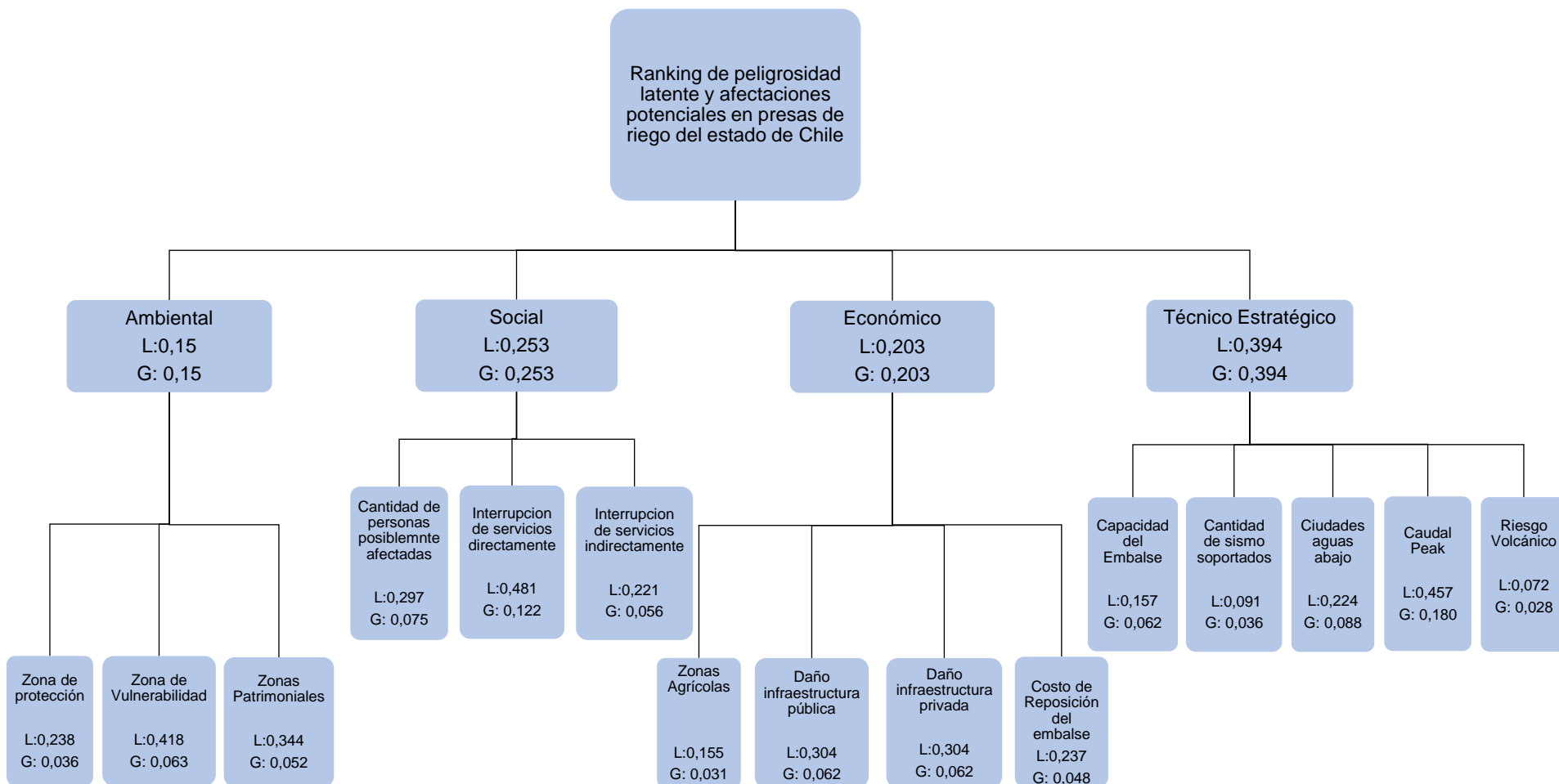


Figura 6.5 - Esquema jerárquico con ponderaciones de criterios y subcriterios

## 6.5 Ranking

Toda la información obtenida del capítulo 6.2 fue procesada según los ponderadores de la Figura 6.5, los que se transforman a porcentaje en escala de 10 a 1000, realizando una suma ponderada por cada subcriterio. Se obtiene un total mostrado en las Tablas 6.11 a Tabla 6.18. Es importante destacar que los valores totales aún no son ponderados por la importancia del criterio.

Tabla 6.11 - Ponderación por presa de importancia en criterio ambiental

N.º	NOMBRE PROYECTO	AMBIENTAL			
		15,000			
		Zona Protección	Zona Vulnerabilidad	Zona Patrimonial	TOT 1
		<b>23,800</b>	<b>41,800</b>	<b>34,400</b>	
1	Ancoa	458,015	457,486	10,000	<b>303,677</b>
2	Aromos	103,887	111,786	10,000	<b>74,892</b>
3	Bullileo	79,124	483,403	30,961	<b>231,544</b>
4	Caritaya	91,002	10,000	10,000	<b>29,279</b>
5	Cerrillos	20,309	122,188	10,000	<b>59,348</b>
6	Chacrillas	858,715	884,821	143,785	<b>623,691</b>
7	Cogotí	141,453	729,691	513,491	<b>515,317</b>
8	Coihueco	13,033	336,235	10,000	<b>147,088</b>
9	Conchi	23,836	10,000	75,617	<b>35,865</b>
10	Convento Viejo II	35,596	907,031	314,710	<b>495,871</b>
11	Corrales	60,232	585,603	104,598	<b>295,099</b>
12	Culimo	13,635	238,607	99,495	<b>137,209</b>
13	Digua	20,177	604,000	30,961	<b>267,925</b>
14	El Bato	57,412	549,873	155,178	<b>296,892</b>
15	El Yeso	1.000,000	1.000,000	31,120	<b>666,705</b>
16	Huechún	36,185	420,239	10,000	<b>187,712</b>
17	Huelehueico	11,689	71,820	10,000	<b>36,243</b>
18	L o Ovalle	386,612	272,089	10,000	<b>209,187</b>

Tabla 6.12 - Ponderación por presa de importancia en criterio ambiental

N.º	NOMBRE PROYECTO	AMBIENTAL			
		15,000			
		Z. Protección	Z. Vulnerabilidad	Z. Patrimonial	TOT 1
		<b>23,800</b>	<b>41,800</b>	<b>34,400</b>	
19	Lolol	16,492	213,707	30,642	<b>103,796</b>
20	La Laguna	133,495	835,743	1.000,000	<b>725,112</b>
21	Laguna del Huasco	216,930	10,000	10,000	<b>59,249</b>
22	Laguna del Maule	995,185	776,680	80,766	<b>589,290</b>
23	Laguna del Planchón	133,607	553,177	10,000	<b>266,466</b>
24	Lautaro	340,916	218,457	345,512	<b>291,309</b>
25	Los Cristales	14,188	200,260	81,997	<b>115,292</b>
26	Los Perales de Tapihue	463,240	327,891	10,000	<b>250,750</b>
27	Orozco	290,858	259,251	10,000	<b>181,031</b>
28	Paloma	136,321	505,082	415,658	<b>386,555</b>
29	Pitama	228,389	188,932	10,000	<b>136,770</b>
30	Puclaro	130,465	306,918	245,646	<b>243,845</b>
31	Purísima	16,193	140,060	10,000	<b>65,839</b>
32	Recoleta	106,679	462,096	391,279	<b>353,146</b>
33	Rungue	19,189	187,838	10,000	<b>86,523</b>
34	Santa Juana	86,953	99,394	10,000	<b>65,682</b>
35	Tucapel	10,000	30,569	10,000	<b>18,598</b>
36	Tutuvén	13,261	102,102	10,000	<b>49,275</b>

Tabla 6.13 - Ponderación por presa de importancia en criterio social

N.º	NOMBRE PROYECTO	SOCIAL			
		25,300			
		Personas afectadas	Int. Serv. Dir.	Int. Serv. Ind.	TOT 2
		<b>29,700</b>	<b>48,100</b>	<b>22,200</b>	
1	Ancoa	34,005	291,670	288,273	<b>214,389</b>
2	Aromos	19,638	109,931	75,824	<b>75,542</b>
3	Bullileo	10,326	191,739	190,607	<b>137,608</b>
4	Caritaya	10,157	19,062	16,261	<b>15,795</b>
5	Cerrillos	10,930	10,000	15,479	<b>11,493</b>
6	Chacrillas	38,252	791,327	852,762	<b>581,302</b>
7	Cogotí	40,634	346,293	65,184	<b>193,106</b>
8	Coihueco	13,094	91,808	43,514	<b>57,708</b>
9	Conchi	58,909	10,000	11,488	<b>24,856</b>
10	Convento Viejo II	22,065	109,931	189,918	<b>101,592</b>
11	Corrales	10,987	91,808	22,478	<b>52,413</b>
12	Culimo	10,567	10,000	15,479	<b>11,385</b>
13	Digua	10,234	109,931	107,799	<b>79,848</b>
14	El Bato	16,823	100,870	17,044	<b>57,298</b>
15	El Yeso	1.000,000	844,439	1.000,000	<b>925,175</b>
16	Huechún	12,122	209,863	78,080	<b>121,878</b>
17	Huelehueico	10,472	10,000	12,348	<b>10,662</b>
18	L o O valle	15,648	100,870	11,565	<b>55,733</b>

Tabla 6.14 - Ponderación por presa de importancia en criterio social

N.º	NOMBRE PROYECTO	SOCIAL			
		25,300			
		Personas afectadas	Int. Serv. Dir.	Int. Serv. Ind.	TOT 2
		<b>29,700</b>	<b>48,100</b>	<b>22,200</b>	
19	Lolol	10,068	10,000	10,000	<b>10,020</b>
20	La Laguna	42,745	346,293	85,790	<b>198,308</b>
21	Laguna del Huasco	10,258	19,062	28,002	<b>18,432</b>
22	Laguna del Maule	88,484	1.000,000	960,473	<b>720,505</b>
23	Laguna del Planchón	10,491	627,963	225,461	<b>355,219</b>
24	Lautaro	10,344	46,247	129,050	<b>53,966</b>
25	Los Cristales	11,003	109,931	110,898	<b>80,764</b>
26	Los Perales de Tapihue	11,513	19,062	13,846	<b>15,662</b>
27	Orozco	10,500	10,000	10,783	<b>10,322</b>
28	Paloma	37,178	182,677	65,184	<b>113,381</b>
29	Pitama	10,000	10,000	11,565	<b>10,348</b>
30	Puclaro	42,359	182,677	67,919	<b>115,526</b>
31	Purísima	10,987	10,000	10,000	<b>10,293</b>
32	Recoleta	35,897	182,677	27,905	<b>104,724</b>
33	Rungue	11,682	91,808	13,131	<b>50,544</b>
34	Santa Juana	28,526	218,924	141,491	<b>145,186</b>
35	Tucapel	10,903	10,000	10,000	<b>10,268</b>
36	Tutuvén	19,906	100,870	22,523	<b>59,430</b>

Tabla 6.15 - Ponderación por presa de importancia en criterio económico

N.º	NOMBRE PROYECTO	ECONOMICO				
		20,300				
		Zona agrícolas	Dañ. Inf. Pub.	Dañ. Inf. Priv.	Costo rep. Embalse	TOT 3
		<b>15,500</b>	<b>30,400</b>	<b>30,400</b>	<b>23,700</b>	
1	Ancoa	1.000,000	75,993	78,279	1.000,000	<b>438,899</b>
2	Aromos	1.000,000	42,997	44,134	282,654	<b>248,477</b>
3	Bullileo	1.000,000	109,000	10,000	528,061	<b>316,326</b>
4	Caritaya	1.000,000	42,997	10,000	241,751	<b>228,406</b>
5	Cerrillos	791,208	42,997	44,134	59,976	<b>163,339</b>
6	Chacrillas	1.000,000	42,997	10,000	827,417	<b>367,209</b>
7	Cogotí	176,369	1.000,000	78,279	646,205	<b>508,285</b>
8	Coihueco	637,379	42,997	78,279	173,583	<b>176,801</b>
9	Conchi	383,729	42,997	78,279	491,695	<b>212,878</b>
10	Convento Viejo II	1.000,000	75,993	1.000,000	44,132	<b>492,561</b>
11	Corrales	283,995	75,993	10,000	270,949	<b>134,376</b>
12	Culimo	336,441	75,993	44,134	237,215	<b>144,887</b>
13	Digua	1.000,000	109,000	44,134	700,740	<b>367,628</b>
14	El Bato	632,809	75,993	78,279	409,583	<b>242,055</b>
15	El Yeso	379,944	109,000	78,279	446,256	<b>221,587</b>
16	Huechún	1.000,000	75,993	78,279	28,170	<b>208,575</b>
17	Huelehueico	1.000,000	42,997	10,000	23,633	<b>176,712</b>
18	L o Ovalle	1.000,000	42,997	78,279	10,000	<b>194,238</b>

Tabla 6.16 - Ponderación por presa de importancia en criterio económico

N.º	NOMBRE PROYECTO	ECONOMICO				
		20,300				
		Zona agrícolas	Dañ. Inf. Pub.	Dañ. Inf. Priv.	Costo rep. Embalse	TOT 3
		15,500	30,400	30,400	23,700	
19	Lolol	725,424	42,997	10,000	159,950	166,460
20	La Laguna	147,964	1.000,000	44,134	264,481	403,033
21	Laguna del Huasco	10,000	10,000	78,279	28,170	35,063
22	Laguna del Maule	746,503	1.000,000	1.000,000	255,384	784,234
23	Laguna del Planchón	820,007	109,000	10,000	28,170	169,953
24	Lautaro	1.000,000	42,997	10,000	164,506	210,099
25	Los Cristales	1.000,000	75,993	44,134	173,583	232,658
26	Los Perales de Tapihue	1.000,000	42,997	78,279	23,633	197,469
27	Orozco	1.000,000	42,997	10,000	32,710	178,863
28	Paloma	201,840	75,993	78,279	764,371	259,340
29	Pitama	1.000,000	42,997	10,000	41,803	181,018
30	Puclaro	279,293	109,000	44,134	341,504	170,780
31	Purísima	330,720	10,000	10,000	69,072	73,712
32	Recoleta	546,873	75,993	78,279	319,016	207,271
33	Rungue	1.000,000	42,997	78,279	82,705	211,469
34	Santa Juana	457,826	109,000	78,279	310,061	201,380
35	Tucapel	1.000,000	10,000	44,134	28,083	178,113
36	Tutuvén	1.000,000	42,997	44,134	182,679	224,783

Tabla 6.17 - Ponderación por presa de importancia en criterio técnico-estratégico

N,º	NOMBRE PROYECTO	TECNICO-ESTRATEGICO					
		39,400					
		Capacidad	Cant, de Sismos Soportados	Ciudades Aguas Abajo	Caudal Peak	Riesgo Volcánico	TOT 4
		<b>15,700</b>	<b>9,100</b>	<b>22,400</b>	<b>45,600</b>	<b>7,200</b>	
1	Ancoa	30,284	10,000	59,500	194,519	208,000	<b>122,669</b>
2	Aromos	20,732	230,000	59,500	120,817	10,000	<b>93,326</b>
3	Bullileo	31,149	10,000	10,000	67,635	208,000	<b>53,858</b>
4	Caritaya	74,373	120,000	10,000	80,803	10,000	<b>62,403</b>
5	Cerrillos	11,567	450,000	10,000	21,788	10,000	<b>55,661</b>
6	Chacrillas	25,823	10,000	158,500	274,313	10,000	<b>166,275</b>
7	Cogotí	22,901	450,000	109,000	1.000,000	10,000	<b>525,681</b>
8	Coihueco	11,970	120,000	59,500	205,989	10,000	<b>120,779</b>
9	Conchi	14,970	120,000	59,500	109,428	10,000	<b>77,217</b>
10	Convento Viejo II	23,607	230,000	59,500	105,119	10,000	<b>86,619</b>
11	Corrales	34,757	230,000	10,000	185,707	10,000	<b>114,029</b>
12	Culimo	14,284	560,000	10,000	38,274	10,000	<b>73,616</b>
13	Digua	107,090	230,000	10,000	243,585	109,000	<b>158,906</b>
14	El Bato	26,959	230,000	59,500	81,807	10,000	<b>76,514</b>
15	El Yeso	754,917	10,000	1.000,000	185,990	1.000,000	<b>500,243</b>
16	Huechún	15,248	560,000	10,000	12,186	10,000	<b>61,871</b>
17	Huelehueico	10,000	1.000,000	10,000	10,000	10,000	<b>100,090</b>
18	L o Ovalle	11,182	560,000	59,500	23,465	10,000	<b>77,464</b>

Tabla 6.18 - Ponderación por presa de importancia en criterio técnico-estratégico

N,º	NOMBRE PROYECTO	TECNICO-ESTRATEGICO					
		39,400					
		Capacidad	Cant, de Sismos Soportados	Ciudades Aguas Abajo	Caudal Peak	Riesgo Volcánico	TOT 4
		15,700	9,100	22,400	45,600	7,200	
19	Lolol	25,656	340,000	10,000	120,668	10,000	92,953
20	La Laguna	50,098	10,000	59,500	22,480	10,000	33,074
21	Laguna del Huasco	27,908	120,000	10,000	11,669	10,000	23,583
22	Laguna del Maule	1.000,000	120,000	307,000	55,466	1.000,000	333,981
23	Laguna del Planchón	91,917	10,000	10,000	13,998	1.000,000	95,964
24	Lautaro	21,401	10,000	10,000	58,435	10,000	33,876
25	Los Cristales	24,496	230,000	10,000	25,772	109,000	46,616
26	Los Perales de Tapihue	11,652	560,000	59,500	19,795	10,000	75,864
27	Orozco	35,116	670,000	10,000	180,617	10,000	151,805
28	Paloma	288,793	340,000	59,500	507,188	10,000	321,606
29	Pitama	13,344	670,000	10,000	99,723	10,000	111,499
30	Puclaro	100,665	10,000	59,500	171,356	10,000	108,901
31	Purísima	10,930	670,000	10,000	20,731	10,000	75,099
32	Recoleta	62,542	230,000	59,500	186,638	10,000	129,904
33	Rungue	10,944	450,000	59,500	58,756	10,000	83,509
34	Santa Juana	113,153	10,000	109,000	551,050	10,000	295,090
35	Tucapel	10,036	230,000	10,000	56,142	10,000	51,067
36	Tutuvén	11,336	230,000	59,500	41,756	10,000	55,798

Al sumar los totales 1, 2, 3 y 4 de cada criterio y multiplicarlos por sus respectivos pesos asignados en cada criterio, se obtiene el total para establecer el ranking mostrado en la Tabla 6.19. Los totales más altos corresponden a aquellas presas con una mayor peligrosidad y posibles afectaciones potenciales.

Tabla 6.19 - Ponderación por presa de importancia global

<b>N,º</b>	<b>NOMBRE PROYECTO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Ancoa	<b>237,220</b>
2	Aromos	<b>117,557</b>
3	Bullileo	<b>154,981</b>
4	Caritaya	<b>79,341</b>
5	Cerrillos	<b>66,898</b>
6	Chacrillas	<b>380,679</b>
7	Cogotí	<b>436,454</b>
8	Coihueco	<b>120,141</b>
9	Conchi	<b>85,306</b>
10	Convento Viejo II	<b>234,201</b>
11	Corrales	<b>129,731</b>
12	Culimo	<b>81,878</b>
13	Digua	<b>197,628</b>
14	El Bato	<b>138,314</b>
15	El Yeso	<b>576,153</b>
16	Huechún	<b>125,710</b>
17	Huelehueico	<b>83,442</b>
18	L o Ovalle	<b>115,430</b>

<b>N,º</b>	<b>NOMBRE PROYECTO</b>	<b>TOTAL</b>
19	Lolol	<b>88,519</b>
20	La Laguna	<b>253,786</b>
21	Laguna del Huasco	<b>29,960</b>
22	Laguna del Maule	<b>561,469</b>
23	Laguna del Planchón	<b>202,151</b>
24	Lautaro	<b>113,347</b>
25	Los Cristales	<b>103,323</b>
26	Los Perales de Tapihue	<b>111,551</b>
27	Orozco	<b>125,886</b>
28	Paloma	<b>266,027</b>
29	Pitama	<b>103,811</b>
30	Puclaro	<b>143,380</b>
31	Purísima	<b>57,033</b>
32	Recoleta	<b>172,725</b>
33	Rungue	<b>101,597</b>
34	Santa Juana	<b>203,730</b>
35	Tucapel	<b>61,665</b>
36	Tutuvén	<b>90,043</b>

Se obtiene el ranking, al ordenar de mayor a menor en su importancia como se muestra en la Tabla 6.20. Mencionar que los embalses marcado con un asterico representan embalses que aguas abajo se encuentran otros embalses que se mencionan entre paréntesis.

Tabla 6.20 - Ponderación por presa de importancia global ordenada de mayor a menor

Numero	Nombre	TOTAL	Numero	Nombre	TOTAL
15	El Yeso	576,153	8	Coihueco	120,141
22	Laguna del Maule*(Colbun)	561,469	2	Aromos	117,557
7	Cogotí*(Paloma)	436,454	18	L o Ovalle	115,430
6	Chacrillas	380,679	24	Lautaro	113,347
28	Paloma	266,027	26	Los Perales de Tapihue	111,551
20	La Laguna *(Puclaro)	253,786	29	Pitama	103,811
1	Ancoa	237,220	25	Los Cristales	103,323
10	Convento Viejo II* (Rapel)	234,201	33	Rungue	101,597
34	Santa Juana	203,730	36	Tutuvén	90,043
23	Laguna del Planchón	202,151	19	L olol	88,519
13	Digua	197,628	9	Conchi	85,306
32	Recoleta	172,725	17	Huelehueico	83,442
3	Bullileo	154,981	12	Culimo	81,878
30	Puclaro	143,380	4	Caritaya	79,341
14	El Bato	138,314	5	Cerrillos	66,898
11	Corrales	129,731	35	Tucapel	61,665
27	Orozco	125,886	31	Purísima	57,033
16	Huechún	125,710	21	Laguna del Huasco	29,960

La presa El Yeso es la presa con mayor peligro y los subcriterios que aportan en mayor medida a los 576,2 puntos que la posicionan como primera en el ranking son: interrupción de servicios directos con 102,8 puntos, ciudades aguas abajo con 88,3 puntos, personas afectadas con 75,1 puntos, zona de vulnerabilidad con 62,7 puntos, lo que sumado da un 328,9 puntos. Para el caso de Laguna del Maule los subcriterios con mayor relevancia son: interrupción de servicios directos con 121,7 puntos, capacidad del embalse con 61,9 puntos, daño a infraestructura pública con 61,7 puntos, daño a infraestructura privada con 61,7 puntos, lo que sumado da un 307,0 puntos de los 561,5 puntos que la posicionan en el segundo lugar del ranking y para el embalse Cogotí los subcriterios con mayor relevancia son: caudal peak con 179,6 puntos, daño infraestructura pública con 61,7 puntos, zona de vulnerabilidad con 45,8 puntos, interrupción de servicio directo con 42,1 puntos lo que sumado da un 329,3 puntos de los 436,5 puntos que lo posicionan en el tercer lugar del ranking

## **6.6 Variaciones producto de modificaciones en el modelo**

Antes de llegar al modelo final se realizaron cambios y ajustes, en los cuales se pueden observar variaciones en los resultados con respecto al modelo final presentado en el capítulo 6.5. En este capítulo veremos cuáles fueron los cambios y sus variaciones con respecto al modelo final, teniendo presente que los modelos de este capítulo solo sirven de comparación al modelo final y no son parte de este.

### **6.6.1 Variación del modelo que incluyen criterio DGA y sin valores de $Q$ ni $V$**

En versiones iniciales del modelo se considero la clasificación de presas dada por la DGA y además las formulas de  $Q$  y de  $V$  aun no se integraban por lo que solo estaba el criterio DGA y el caudal peak de rotura de la presa, el que posteriormente fueron reemplazados por  $Q$  y  $V$  en el modelo final.

La modificación de este modelo se debe a que el valor de importancia global de la clasificación de la DGA (0,019) es muy bajo (Figura 6.6), por esto se cambió este subcriterio por el de capacidad de almacenamiento de la presa en la versión final del modelo.

Al modificar los componentes de un criterio es necesario modificar su ponderación, en este caso solo se modifican los componentes del criterio técnico-estratégico, por lo que se mantienen las ponderaciones de los criterios y de los otros subcriterios. La ponderación de criterios no cambia debido a que son de una jerarquía superior y no son modificados los componentes de esa jerarquía.

La diferencia de esta versión con la versión final es que el subcriterio de clasificación de la DGA (presas clase A,B y C) es reemplazado por el subcriterio capacidad de embalse, además el criterio de caudal peak solo consideró este parámetro en su información en cambio en la versión final se agrega a este el tiempo de llegada de la primera ola mediante la Ecuación 5.2.

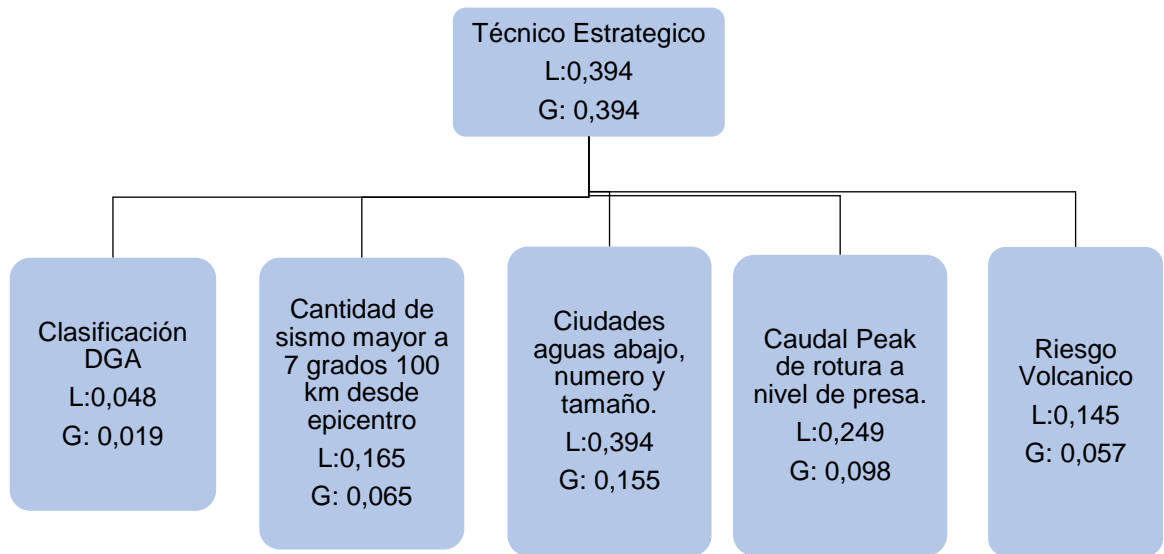


Figura 6.6 – Ponderación de subcriterios técnicos-estratégicos

“La ley de Weber (1846) establece que para poder percibir una modificación o cambio ( $\Delta s$ ) en cualquier estímulo ( $s$ ), es preciso que éste supere un porcentaje del valor inicial (just noticeable difference)” [49]. Es decir en este caso como el criterio DGA es muy bajo no representara mayores variaciones en el modelo por lo que se modifica para tener un criterio con mayor “peso”.

Al modificar el modelo, pero manteniendo la información aportada exceptuando la antes mencionada, se produce un cambio en la matriz de comparaciones pareadas y por ende en los resultados de las prioridades. Este cambio de criterios y por ende su variación en la ponderación es el primer factor que influye en el cambio en el ranking que se puede observar en la Tabla 6.21. Además, la información con mayor “peso” lo tiene ciudades aguas abajo, El Yeso tiene una importancia del 559,876 (Tabla 6.21) de los cuales el 155,231 es aportado por ciudades aguas abajo, en cambio para el modelo final este valor es 88,256.

Tabla 6.21 - Ranking con criterio Dga y sin valores de  $Q$  ni  $V$

Numero	Nombre	TOTAL
15	El Yeso	559,876
22	Laguna del Maule*(Colbun)	552,696
6	Chacillas	393,915
7	Cogotí*(Paloma)	330,162
1	Ancoa	292,388
20	La Laguna *(Puclaro)	281,251
28	Paloma	273,952
10	Convento Viejo II* (Rapel)	252,740
13	Digua	224,781
23	Laguna del Planchón	218,064
34	Santa Juana	199,306
3	Bullileo	194,377
30	Puclaro	185,719
32	Recoleta	178,647
14	El Bato	161,551
11	Corrales	145,865
16	Huechún	136,002
24	Lautaro	131,059

Numero	Nombre	TOTAL
2	Aromos	129,452
25	Los Cristales	123,146
18	L o Ovalle	122,557
26	Los Perales de Tapihue	119,674
36	Tutuvén	109,099
9	Conchi	107,565
27	Orozco	103,243
33	Rungue	102,665
12	Culimo	101,504
8	Coihueco	101,040
29	Pitama	96,514
4	Caritaya	94,152
17	Huelehueico	92,949
19	Lolol	80,966
5	Cerrillos	74,233
31	Purisima	64,807
35	Tucapel	61,377
21	Laguna del Huasco	38,439

## 6.6.2 Modelo con variaciones de ponderadores

Si bien en este modelo las ponderaciones realizadas por los especialistas dan más importancia a los criterios Técnico-estratégico y Social, para visualizar cómo afectaría un cambio en las ponderaciones, se modifican estos valores para que fueran más importantes los criterios Ambiental y Económico. Esta modificación es totalmente arbitraria y solo es utilizada para evidenciar las variaciones que se producen por esta modificación, por lo que no representa de ninguna manera los lineamientos de los integrantes del focus group. La modificación realizada cumple con la razón de consistencia menor a 0,1 y es su vector propio es el siguiente:

$$\begin{pmatrix} \text{Ambiental} \\ \text{Social} \\ \text{Economico} \\ \text{Técnico - Estratégico} \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 0,350 \\ 0,205 \\ 0,267 \\ 0,178 \end{pmatrix}$$

Con estos valores obtenemos el ranking mostrado en la Tabla 6.22

Tabla 6.22 – Ranking con variaciones de ponderadores en el modelo

Numero	Nombre	TOTAL	Numero	Nombre	TOTAL
22	Laguna del Maule *(Colbun)	622,794	26	Los Perales de Tapihue	157,201
15	El Yeso	571,215	18	L o Ovalle	150,291
6	Chacrillas	465,101	27	Orozco	140,255
7	Cogotí*(Paloma)	449,231	8	Coihueco	132,015
20	La Laguna *(Puclaro)	407,939	25	Los Cristales	127,326
10	Convento Viejo II* (Rapel)	341,313	2	Aromos	124,654
1	Ancoa	289,258	29	Pitama	118,170
28	Paloma	285,027	33	Rungue	111,972
13	Digua	236,585	12	Culimo	102,146
23	Laguna del Planchón	228,542	36	Tutuvén	99,379
32	Recoleta	223,534	19	Lolol	99,373
3	Bullileo	203,296	9	Conchi	88,231
14	El Bato	193,907	4	Caritaya	85,578
24	Lautaro	175,148	17	Huelehueico	79,869
30	Puclaro	174,011	5	Cerrillos	76,647
11	Corrales	170,205	35	Tucapel	65,260
34	Santa Juana	159,046	31	Purisima	58,202
16	Huechún	157,387	21	Laguna del Huasco	38,075

La presa con mayor peligro y afectaciones potenciales es “Laguna del Maule” notar que, lo de mayor peligro es debido principalmente a: zonas de vulnerabilidad con 113,628 e interrupción de servicios directos con 98,605, en cambio en el modelo final la importancia para zonas de vulnerabilidad es de 48,698, mientras que para interrupción de servicios directos es de 121,693, denotando así una directa relación con el cambio en los ponderadores y la importancia del ranking.

Las variaciones en el ranking son las siguientes:

Tabla 6.23 – Variaciones en el Ranking

<b>N,º</b>	<b>NOMBRE PROYECTO</b>	<b>TOTAL, VERSION FINAL</b>	<b>TOTAL, VERSION CON VARIACION EN PONDERADORES</b>	<b>Δ Totales</b>
1	Ancoa	237,220	289,258	<b>52,038</b>
2	Aromos	117,557	124,654	<b>7,097</b>
3	Bullileo	154,981	203,296	<b>48,315</b>
4	Caritaya	79,341	85,578	<b>6,237</b>
5	Cerrillos	66,898	76,647	<b>9,749</b>
6	Chacrillas	380,679	465,101	<b>84,422</b>
7	Cogotí*(Paloma)	436,454	449,231	<b>12,777</b>
8	Coihueco	120,141	132,015	<b>11,875</b>
9	Conchi	85,306	88,231	<b>2,925</b>
10	Convento Viejo II* (Rapel)	234,201	341,313	<b>107,112</b>
11	Corrales	129,731	170,205	<b>40,474</b>
12	Culimo	81,878	102,146	<b>20,267</b>
13	Digua	197,628	236,585	<b>38,957</b>
14	El Bato	138,314	193,907	<b>55,593</b>
15	El Yeso	576,153	571,215	<b>-4,938</b>
16	Huechún	125,710	157,387	<b>31,677</b>
17	Huelehueico	83,442	79,869	<b>-3,573</b>
18	L o Ovalle	115,430	150,291	<b>34,861</b>

Tabla 6.24 - Variaciones en el Ranking

<b>N,º</b>	<b>NOMBRE PROYECTO</b>	<b>TOTAL, VERSION FINAL</b>	<b>TOTAL, VERSION CON VARIACION EN PONDERADORES</b>	<b>Δ Totales</b>
19	Lolol	88,519	99,373	<b>10,854</b>
20	La Laguna *(Puclaro)	253,786	407,939	<b>154,154</b>
21	Laguna del Huasco	29,960	38,075	<b>8,115</b>
22	Laguna del Maule *(Colbun)	561,469	622,794	<b>61,325</b>
23	Laguna del Planchón	202,151	228,542	<b>26,392</b>
24	Lautaro	113,347	175,148	<b>61,800</b>
25	Los Cristales	103,323	127,326	<b>24,003</b>
26	Los Perales de Tapihue	111,551	157,201	<b>45,650</b>
27	Orozco	125,886	140,255	<b>14,368</b>
28	Paloma	266,027	285,027	<b>19,000</b>
29	Pitama	103,811	118,170	<b>14,359</b>
30	Puclaro	143,380	174,011	<b>30,631</b>
31	Purísima	57,033	58,202	<b>1,170</b>
32	Recoleta	172,725	223,534	<b>50,808</b>
33	Rungue	101,597	111,972	<b>10,375</b>
34	Santa Juana	203,730	159,046	<b>-44,684</b>
35	Tucapel	61,665	65,260	<b>3,596</b>
36	Tutuvén	90,043	99,379	<b>9,336</b>

Las variaciones en el ranking entre el modelo final y el modelo con variación en sus ponderadores es en promedio 32,32 puntos. La mayor variación es del embalse La Laguna con 154,154 puntos, mientras que el embalse Laguna del Maule presentó una variación de 61,325 puntos, mayores comparaciones pueden hacerse al observar las Tablas 6.23 y Tabla 6.24

## 7 Conclusiones

Debido a que la gran mayoría de estas obras son antiguas, fueron construidas sin análisis ambientales y técnicos estratégicos, y a ello se suma la compleja situación que puede generar la ruptura de una presa. Todo esto ha llevado a realizar este ranking que considera diversos factores vistos en esta memoria, que debido a las limitantes de tiempo y económicas propias de una Memoria de Título, es una primera instancia para futuras investigaciones más acabadas, que pueden considerar el ingreso de nuevos especialistas y nuevos criterios, lo que llevará a un análisis de mayor envergadura.

Luego del extenso análisis realizado, se obtiene el ranking de peligrosidad, del cual se desprenden las siguientes conclusiones:

Los embalses más peligrosos analizados son El Yeso y Laguna del Maule, ambos frente a una rotura afectan aproximadamente 500 km<sup>2</sup> y 600 km<sup>2</sup> respectivamente, además de una gran cantidad de personas e infraestructuras. Según los resultados obtenidos, la autoridad competente puede tomar medidas de mitigación para cada una de las presas, como incorporar la gestión de riesgo en los planes de ordenamiento territorial, elaborar lineamiento de políticas que ayuden a dar criterios de mitigación y prevención general para todas las presas, crear manuales de emergencias, educación de la población, creación de planes de alerta temprana, entre otras medidas que se puedan considerar dependiendo de los criterios de los profesionales competentes a cargo. A modo de ejemplo, si se tiene la información de que ante una rotura el tiempo de llegada de la ola es menor a “treinta minutos”, es posible crear un protocolo de alerta a la población de manera inmediata y/o automática al notarse el colapso o posible colapso. Cuando el tiempo sea mayor se puede establecer una evacuación oficial y autorizada por el estamento encargado, previa evaluación del acontecimiento.

Se determinó que la combinación que contribuye a una mayor peligrosidad debido a la morfología alargada y delgada de Chile son: presas de gran envergadura emplazadas cerca a ciudades aguas abajo. De acuerdo con lo anterior se presenta en la Tabla 7.1 información de presas de gran envergadura (capacidad, caudal peak), cercana a ciudades aguas abajo (personas afectadas) y otros factores relevantes de los tops diez y últimos cinco del ranking. A su vez, observando los valores individuales de los criterios, se desprende que aquellos valores altos, a pesar de tener tendencia de estar en los primeros lugares, no necesariamente todos están posicionados de esta manera, debido a que es la combinación del conjunto de criterios es la que determina el lugar de peligrosidad plasmado en el ranking. Además es posible observar que entre las primeras y últimas 5 presas existen diferencias considerables en parámetros como personas afectadas, capacidad y caudales peak, lo cual coincide con lo mencionado al principio y los resultados obtenidos en el ranking.

Tabla 7.1 – Información relevante de los primeros y últimos cinco del ranking

<b>Nombre</b>	<b>Tiempo llegada ola [min]</b>	<b>Personas afectadas</b>	<b>Costo de reposición en miles de UF</b>	<b>Capacidad [Hm<sup>3</sup>]</b>	<b>Caudal peak [m<sup>3</sup>/s]</b>
El Yeso	160	3200672	1725,530	250	32160
Laguna del Maule *(Colbun)	572	253839	1131,480	1420	31600
Cogotí*(Paloma)	36	99145	2347,830	150	39960
Chacrillas	108	91446	2911,816	31,4	32360
Paloma	125	87974	2715,600	740	69960
La Laguna *(Puclaro)	616	105972	1159,790	40	11340
Ancoa	248	77714	3448,947	80	52210
Convento Viejo II* (Rapel)	130	39115	474,000	237	14390
Santa Juana	97	60004	1301,650	160	59040
Laguna del Planchón	433	1698	424,320	73	3870
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Caritaya	130	616	1089,050	42	10860
Cerrillos	110	3117	523,310	3,4	1940
Tucapel	15	3029	424,050	0,4	840
Purísima	127	3300	551,620	2,4	2090
Laguna del Huasco	344	944	424,320	14	2180

Por lo general en la gestión de peligros de presas se tiende a considerar solo aspectos técnicos como los considerados por Estados Unidos, Argentina y Brasil (Capítulo 2.6.2). Sin embargo en vista de que Chile tiene una gran cantidad de eventos naturales, con mayor o menor frecuencia y diferente intensidad a través del tiempo, los cuales dañan infraestructura y que repercute en ámbitos tales como el medio ambiente, la economía y en la sociedad, en el presente trabajo se consideraron dichos ámbitos en la gestión de los peligros, obteniendo resultados que contemplan una visión global y no solo los aspectos técnicos de las presas.

En función de los resultados obtenidos en esta memoria se recomienda, en el caso de las primeras diez presas (debido a que son las más peligrosas) del ranking, considerar la verificación los siguientes puntos:

- Que el evacuador de crecidas sea el adecuado, evitando que se produzca una falla por sobrepasado ante un gran evento hidrológico.
- El estado en que se encuentran las fundaciones. Buscando encontrar asentamientos o inestabilidad en la pendiente de la presa, ya que esto provoca que el nivel freático sea más elevado en la presa y dependiendo del sistema de drenaje puede afectar la estabilidad de ésta.
- Control y reparación de las grietas provocadas por sismos y/o asentamientos, las cuales pueden dar paso a fallas por “piping”.

- Que cada presa tenga los mantenimientos y controles adecuados.
- Monitoreo de filtraciones que puedan existir en la presa lo que puede provocar que el agua se “lleve el material” de la presa produciendo una falla por “piping”.e

Considerando las zonas de inundación determinadas en el capítulo 6.1, es natural pensar en realizar obras de mitigación aguas abajo de la presa, sin embargo, cualquier obra que pretenda mitigar por completo los efectos de la rotura es improbable que pueda cumplir su función, ya que ante un evento de tal magnitud serían arrastradas por la crecida. La opción viable sería construir una presa de similares características, lo cual económicamente no es factible, sin embargo si se pueden realizar obras de mitigación tales como piscinas decantadoras y/o muros de contención en zonas cercanas en donde exista una población a proteger y la altura de la ola no sea demasiado elevada (visualizado a través de los modelos en HEC-RAS), en este sentido pueden considerar presas como Ancoa, Convento Viejo y Laguna del Planchón y solo de manera parcializada en algunas zonas de inundación con presencia de población en las presas Laguna del Maule y Chacrillas. Finalmente, para las presas de El Yeso, Cogotí, Paloma, La Laguna y Santa Juana no se pueden implementar obras de mitigación debido a la morfología de la zona que pueden provocar altura de ola mayores a los 20 metros, pero si se pueden aplicar protocolos de emergencia y alerta temprana, al igual que en todas las presas.

Esta memoria de título es el precedente para realizar análisis más detallados agregando diversas variables y ponderaciones que puedan profundizar aún más en los peligros ante eventuales roturas, sus efectos y evaluar medidas de mitigación, sobre todo en el caso de aquellas presas con mayor peligro. Según la información recopilada y modelada en este trabajo para cada criterio de evaluación, ante la rotura de presas con mayor peligro, es posible evaluar cuales serían los posibles efectos en conectividad de la población aguas abajo, cuantificación de las pérdidas económicas aguas abajo de la presa, efecto de un vaciado rápido de la presa, un evento hidrológico de gran envergadura, entre otros peligros que puedan estimar conveniente el grupo de expertos.

El modelo realizado es versátil a través del tiempo, es decir, se pueden incorporar nuevas presas del Estado, cambiar las prioridades del Estado, incluir presas privadas, entre otros. Es ajustable a las necesidades de los especialistas, además si es requerido, en lugar de incluir todas las presas de este estudio, se puede acotar y evaluar solo un conjunto y compararlas entre sí. Esta herramienta tiene la facilidad de adaptarse y modificarse para facilitar la toma de decisiones sin necesidad de volver a realizar todo el proceso.

Se realizaron cambios en el modelo (Capítulo 6.6) para sopesar como afecta esto al ranking, evidenciando que ante variaciones, ya sea de la información o de ponderadores, las presas se mantienen en los mismos lugares o similares en el ranking, debido a esto es posible inferir que la herramienta es robusta y considerando un mismo grupo de presas, al cual por algún motivo se le deba realiza ajustes, esta entrega rankings que son similares, por lo que el modelo es confiable.

La herramienta HEC-RAS mediante el análisis bidimensional (RAS Mapper) considerando una rotura de presa, en función de un hidrograma de rotura, es simple de utilizar, aunque esta requiere bastante tiempo para ingresar la información y obtener los resultados, dependiendo del tamaño de la zona a evaluar. Su aplicación en el presente trabajo permitió definir parámetros como tiempos de llegada de ola y alturas de inundación, factores relevantes incluidos en los criterios de análisis y que se ven reflejados en los resultados del ranking obtenido.

Pese a que la probabilidad de rotura de una presa es baja desde el punto de vista estadístico, no se debe dejar de lado una evaluación de riesgos que permita contar con información para elaborar un plan de emergencia. Para comenzar a elaborar un plan de emergencia, es necesario contar con información detallada de cuáles son los posibles peligros y afectaciones, requiriendo un modelo de

inundación con una mayor precisión, de ser posible con levantamiento topográficos en terreno, además de necesitarse protocolos, medidas de control y medidas de recuperación del evento.

En el capítulo 2.3 se consideraron los organismos de otros países, cuya función principal es velar por la seguridad de las presas. En la presente memoria es desarrollado un ranking de peligro para las presas construidas, en este caso por el Estado de Chile, una de las posibles funciones de un organismo homólogo al de los otros países y que podría existir en nuestro país. Como ha sido mencionado con anterioridad existen variados eventos naturales que eventualmente pueden provocar daños a una presa, por lo cual, y a pesar de actualmente no alcanzar un mayor número de presas, es necesario un organismo especializado que regule, fiscalice este tipo de infraestructuras, desarrolle y comunique oportunamente las pautas para medidas de mitigación.

Se logra desarrollar una herramienta en conjunto al Ministerio de Obras Públicas para establecer un ranking de peligrosidad y afectaciones potenciales para 36 presas de riego construidas por el Estado de Chile. Su función principal es determinar cuáles son las presas con mayor peligro en caso de rotura.

## Bibliografía

- [1] G. B. Toskano Hurtado, "El Proceso De Análisis Jerarquico (Ahp) Como Herramienta Para La Toma Decisiones En La Selección De Proveedores," 2005.
- [2] MAGRAMA, "Borrador. Norma tecnica Seguridad presas. Clasificiación e implantacion planes emergencia," pp. 1–15, 2011.
- [3] J. R. Harrald, I. Renda-Tanali, G. L. Shaw, C. B. Rubin, and S. Yeletaysi, "Review of risk based prioritization/decision making methodologies for dams," 2006.
- [4] P. Alberto Maturana, "Evaluación de riesgos y gestión en desastres. 10 preguntas para la década actual," *Rev. Médica Clínica Las Condes*, 2015.
- [5] M. D. D. Social, "Metodología para la Reducción del Riesgo de Desastres en Proyectos de Inversión Pública," 2017.
- [6] A. L. Fuentes, "Antes y despues de rotura de represa en brumadinho," 2019. [Online]. Available: <https://www.elcolombiano.com/internacional/america-latina/antes-y-despues-de-rotura-de-represa-en-brumadinho-minas-gerais-en-brasil-BA10100414>.
- [7] L. Zarbiatti, "Aumenta a 169 la cifra de fallecidos por el colapso de la presa en Brumadinho," 2019.
- [8] Ministerio del medio ambiente, *Clasificación de presas en funcion del riesgo potencial, guia tecnica*. 1996.
- [9] B. Echemendía, "Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones.," *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, vol. 52, no. 1, pp. 120–142, 2014.
- [10] Comisión Mundial De Rep/resas, "Represas y Deasarrollo, un nuevo marco para la toma de decisiones," p. 456, 2000.
- [11] A. P. y S. M. A. S. Daniel D. Bradlow, *Regulatory Frameworks For Dam Safety*, vol. 3, no. September. 2002.
- [12] FEMA, "Federal Guidelines for Dam Safety," *U.S. Fed. Emerg. Manag. Agency*, no. April, 2004.
- [13] C. W. Commission, R. Development, and G. Rejuvenation, "Guidelines for Assessing and Managing Risks Associated with Dams," no. February, 2019.
- [14] M. Takezawa and H. Gotoh, "Measures for mitigation of flood hazards in Japan," vol. 50, pp. 73–103, 2011.
- [15] Orsep, "Ley de Seguridad de Presas y Embalses." [Online]. Available: <http://www.orsep.gob.ar/noticia-1056.html>.
- [16] M. Temer and M. J. Medeiros, "Barragens 2017," 2017.
- [17] P. E. Á. MÁRQUEZ, "ASIGNACIÓN DE PRESUPUESTO PARA UNA CARTERA DE PROYECTOS DE CONSERVACIÓN DE CAMINOS Y PUENTES, USANDO LA METODOLOGÍA DE PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)," 2010.
- [18] M. A. Alegría, "Informe de la comisión mundial de presas," p. 15, 2000.
- [19] J. F. Pacheco and E. Contreras, *Manual para la evaluación multicriterio para programas y*

*proyectos*. 2008.

- [20] A. Petry, M. Bomfim, F. Laus, and A. Anderaos, "Classification of dams by its Hazard Potential: The experience of the Brazilian Nation Water Agency," *Third Int. Dam World Conf.*, pp. 1–9, 2018.
- [21] D. S. Section, "Classification of Dams," no. March, 2013.
- [22] I. R. E. Dalmati, "GESTIÓN DE SEGURIDAD DE PRESAS EN ARGENTINA."
- [23] Agencia Nacional de Aguas, "LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS EN BRASIL," 2014.
- [24] CEPAL, "Beneficios De Las Áreas Protegidas," *Cepal*, p. 18, 2008.
- [25] A. Pérez Figueredo, "La integración de la gestión de riesgos en la gestión del desarrollo local desde la perspectiva de la vulnerabilidad ambiental en los territorios," *Delos Desarro. Local Sosten.*, vol. 5, no. 13, p. 7 p., 2012.
- [26] S. B. Adamo, "ESPACIOS SUB - NACIONALES ESPECIALES : ÁREAS DE ALTA VULNERABILIDAD AMBIENTAL," pp. 16–17, 2011.
- [27] P. Mardones Hiche, "Patrimonios," *Arg*, no. 88, p. 9, 2015.
- [28] A. General, N. Unidas, E. Miembros, and N. Unidas, "Declaración Universal de Derechos Humanos," *Invent. Monolingualism*, no. lii, 2016.
- [29] O. I. del Trabajo, "Servicios públicos (agua; gas; electricidad)." [Online]. Available: [https://www.ilo.org/global/industries-and-sectors/utilities-water-gas-electricity/lang--es/index.htm](https://www.ilo.org/global/industries-and-sectors/utilities-water-gas-electricity/lang-es/index.htm).
- [30] C. S. Christophe Bosch, Kirsten Hommann and y L. Travers, "Agua, saneamiento y la pobreza," *Nov. Hedwigia*, vol. 99, no. 1–2, pp. 49–63, 2014.
- [31] P. Arely, M. Pulido, O. Fidencio, I. Hernández, M. Alberto, and R. Esparza, "Retos sobre la problemática del abastecimiento de agua potable a nivel mundial, nacional y en Ciudad Juárez," *CULCyT*, vol. 0, no. 56, pp. 61–68, 2015.
- [32] PNUD, *Pobreza energética: análisis de experiencias internacionales y aprendizajes para Chile*. 2018.
- [33] (ODEPA) Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, *Reflexiones y Desafíos al 2030*. 2018.
- [34] D. Salinas, "Fundamentos Constitucionales y Económicos de la," 2015.
- [35] S. Hallegatte, A. Vogt-Schilb, M. Bangalore, and J. Rozenberg, "Indestructibles: Construyendo la resiliencia de los más pobres frente a desastres naturales, resumen," pp. 1–27, 2017.
- [36] M. R. Fernández, "La problemática del riesgo en los proyectos de infraestructura y en los contratos internacionales de construcción," *Rev. e-Mercatoria*, vol. 6, pp. 1–29, 2007.
- [37] D. R. Tobergte and S. Curtis, "PROYECTO DE LEY DE PRESUPUESTOS AÑO 2019 Partida," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [38] A. Burgueño Muñoz, "AVENIDA CAUSADA POR LA ROTURA DE UNA PRESA DE ESCOLLERA DEBIDA A SOBREVERTIDO," pp. 0–2, 2008.
- [39] Organizacion panamericana de la salud, "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad (OPS)."
- [40] A. D. E. R. Sociales, "El estudio de sistemas de ciudades. Una aproximación desde

métodos de análisis de redes sociales,” *Tiempo y Espac.*, vol. 0, no. 25, 2013.

- [41] A. O. OJEDA, “CRECIDAS E INUNDACIONES COMO RIESGO HIDROLÓGICO UN PLANTEAMIENTO DIDÁCTICO.”
- [42] V. ARAÑA., “EVALUACION DEL RIESGO VOLCANICO EN LA ZONA DE SANTIAGO DEL TEIDE.”
- [43] S. Khatriker, K. Gupta, and A. Bhardwaj, “Evaluation of Open Source SAR based Digital Elevation Models,” *URSI Asia Pacific Radio Sci. Conf.*, no. March, p. 248001, 2019.
- [44] W. E. Lluen Chero, “Aplicacion de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 para calculos bidimensionales del flujo de agua en rios,” p. 74, 2015.
- [45] A. Delgado Parra, “Modelización 1D, 1D/2D y 2D de la inundabilidad en el meandro de Sant Boi de Llobregat mediante la nueva aplicación Hec-ras 5.0.,” p. 94, 2016.
- [46] R. Urrea and F. Javier, “Análisis de rompimiento de presas aplicado al embalse el quillay, río combarbalá,” 2018.
- [47] F. Hijós Bitrián, M. G. Mañueco Pfeiffer, and N. Segura Notario, “Comité nacional español de grandes presas,” *Congr. Nac. Presas*, pp. 1–11, 2010.
- [48] C. O. D. E. M. Odelos, N. U. Y. En, A. Gonzalo, and B. Lizama, “COMPARACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS 1D Y 2D EN SIMULACIONES DE ROTURA DE PRESA,” 2018.
- [49] J. Moreno, “El Proceso Análítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodologías y aplicaciones.,” *Recta monográfico*, vol. 1, pp. 21–53, 2002.

## Anexo

En Chile, se encuentran distintos tipos de grandes presas, sin embargo, se observa que son 36 grandes presas de riego reguladas por el estado las cuales se identifican a continuación por su año de construcción, entregando las características más representativas de cada una además de información relevante.

Tabla A.0.1 – Ponderación del área de zona de protección

Nombre de la Presa	Área (m <sup>2</sup> ) Primer Grupo (100%)	Escala Primer Grupo	Área (m <sup>2</sup> ) Segundo Grupo (75%)	Escala Segundo Grupo	Área (m <sup>2</sup> ) Tercer Grupo (60%)	Escala Tercer Grupo	Suma de Escalas Ponderadas	Escala Final 1
Ancoa	0	10,0	137	702	2175	153,1	209,4	458,0
Aromos	322	67,8	0	10	1747	125,0	50,1	103,9
Bullileo	0	10,0	14	78,8	1056	79,5	38,9	79,1
Caritaya	0	10,0	0	10	2770	192,3	44,3	91,0
Cerrillos	0	10,0	0	10	353	33,2	12,5	20,3
Chacrillas	5519	1000,0	0	10	3946	269,6	389,8	858,7
Cogotí	656	127,6	0	10	1517	109,8	67,0	141,5
Coihueco	0	10,0	0	10	104	16,8	9,2	13,0
Conchi	0	10,0	0	10	473	41,1	14,1	23,8
Convento Viejo II	0	10,0	0	10	875	67,6	19,4	35,6
Corrales	341	71,2	0	10	168	21,1	30,4	60,2
Culimo	0	10,0	0	10	124	18,2	9,5	13,6
Digua	0	10,0	0	10	348	32,9	12,4	20,2
El Bato	341	71,2	0	10	72	14,7	29,2	57,4
El Yeso	0	10,0	195	1000,0	15048	1000,0	453,3	1000,0
Huechún	0	10,0	0	10	896	68,9	19,6	36,2
Huelehueico	0	10,0	0	10	58	13,8	8,6	11,7
L o Ovalle	1522	283,0	58	301,8	419	37,6	177,3	386,6

Tabla A.0.2 – Ponderación del área de zona de protección

Nombre de la Presa	Área (m <sup>2</sup> ) Primer Grupo (100%)	Escala Primer Grupo	Área (m <sup>2</sup> ) Segundo Grupo (75%)	Escala Segundo Grupo	Área (m <sup>2</sup> ) Tercer Grupo (60%)	Escala Tercer Grupo	Suma de Escalas Ponderadas	Escala Final 1
Lolol	0	10,0	0	10	222	24,6	10,8	16,5
La Laguna	0	10,0	0	10	4223	287,9	63,4	133,5
Laguna del Huasco	0	10,0	0	10	7077	475,6	101,0	216,9
Laguna del Maule	4843	878,8	65	339,5	5423	366,8	451,2	995,2
Laguna del Planchón	0	10,0	0	10	4227	288,1	63,5	133,6
Lautaro	58	20,3	0	10	11055	737,3	156,7	340,9
Los Cristales	0	10,0	0	10	143	19,4	9,7	14,2
Los Perales de Tapihue	2099	386,5	58	301,8	419	37,6	211,8	463,2
Orozco	821	157,2	58	301,8	331	31,7	134,2	290,9
Paloma	656	127,6	0	10	1341	98,2	64,7	136,3
Pitama	372	76,8	58	301,8	232	25,3	106,1	228,4
Puclaro	0	10,0	0	10	4120	281,0	62,0	130,5
Purísima	0	10,0	0	10	212	23,9	10,6	16,2
Recoleta	656	127,6	0	10	327	31,5	51,3	106,7
Rungue	0	10,0	0	10	314	30,7	12,0	19,2
Santa Juana	0	10,0	0	10	2632	183,1	42,5	87,0
Tucapel	0	10,0	0	10	0	10,0	7,8	10,0
Tutuvén	0	10,0	0	10	112	17,3	9,3	13,3

Tabla A.0.3 - Ponderación zonas de riesgo o de vulnerabilidad ambiental

Nombre de la Presa	Nivel 0 en metros (0%)	Escala Nivel 0	Nivel 1 en metros (30%)	Escala Nivel 1	Nivel 2 en metros (40%)	Escala Nivel 2	Nivel 3 en metros (50%)	Escala Nivel 3	Escala Ponderada	Escala Final 2
Ancoa	0	10,0	160	755,8	0	10,0	0	10,0	58,9	457,5
Aromos	0	10,0	0	10,0	0	10,0	14	111,8	15,7	111,8
Bullileo	0	10,0	170	799,0	0	10,0	0	10,0	62,2	483,4
Caritaya	109	998,4	0	10,0	0	10,0	0	10,0	3,0	10,0
Cerrillos	0	10,0	0	10,0	0	10,0	15	122,2	17,0	122,2
Chacrillas	0	10,0	0	10,0	0	10,0	120	884,8	112,4	884,8
Cogotí	0	10,0	0	10,0	95	789,8	13	105,8	93,0	729,7
Coihueco	0	10,0	117	553,7	0	10,0	0	10,0	43,8	336,2
Conchi	80	731,9	0	10,0	0	10,0	0	10,0	3,0	10,0
Convento Viejo II	0	10,0	0	10,0	51	422,0	78	577,4	115,1	907,0
Corrales	0	10,0	0	10,0	0	10,0	79	585,6	75,0	585,6
Culimo	0	10,0	0	10,0	0	10,0	31	238,6	31,6	238,6
Digua	0	10,0	213	1000,0	0	10,0	0	10,0	77,3	604,0
El Bato	0	10,0	0	10,0	2	24,5	72	538,3	70,5	549,9
El Yeso	57	523,7	0	10,0	0	10,0	136	1000,0	126,8	1000,0
Huechún	0	10,0	0	10,0	0	10,0	56	420,2	54,3	420,2
Huelehueico	0	10,0	22	113,0	0	10,0	0	10,0	10,7	71,8
L o Ovalle	0	10,0	0	10,0	0	10,0	36	272,1	35,8	272,1

Nota: en los cauces estudiados solo se tiene zonas hasta riesgo nivel tres

Tabla A.0.4 - Ponderación zonas de riesgo o de vulnerabilidad ambiental

Nombre de la Presa	Nivel 0 en metros (0%)	Escala Nivel 0	Nivel 1 en metros (30%)	Escala Nivel 1	Nivel 2 en metros (40%)	Escala Nivel 2	Nivel 3 en metros (50%)	Escala Nivel 3	Escala Ponderada	Escala Final 2
Lolol	0	10,0	0	10,0	31	264,6	0	10,0	28,5	213,7
La Laguna	109	1000,0	12	66,2	121	1000,0	0	10,0	106,2	835,7
Laguna del Huasco	97	888,1	0	10,0	0	10,0	0	10,0	3,0	10,0
Laguna del Maule	0	10,0	159	748,9	50	414,2	0	10,0	98,8	776,7
Laguna del Planchón	0	10,0	195	915,3	0	10,0	0	10,0	70,9	553,2
Lautaro	73	671,0	75	357,4	0	10,0	0	10,0	29,1	218,5
Los Cristales	0	10,0	68	327,1	0	10,0	0	10,0	26,8	200,3
Los Perales de Tapihue	0	10,0	0	10,0	0	10,0	44	327,9	42,7	327,9
Orozco	0	10,0	0	10,0	0	10,0	34	259,3	34,2	259,3
Paloma	0	10,0	0	10,0	76	628,9	0	10,0	64,9	505,1
Pitama	0	10,0	0	10,0	0	10,0	25	188,9	25,4	188,9
Puclaro	0	10,0	0	10,0	46	381,1	0	10,0	40,1	306,9
Purísima	0	10,0	0	10,0	0	10,0	18	140,1	19,3	140,1
Recoleta	0	10,0	0	10,0	69	575,1	0	10,0	59,5	462,1
Rungue	0	10,0	0	10,0	0	10,0	24	187,8	25,2	187,8
Santa Juana	31	293,1	32	159,0	0	10,0	0	10,0	14,2	99,4
Tucapel	0	10,0	7	44,3	0	10,0	0	10,0	5,6	30,6
Tutuvén	0	10,0	33	163,5	0	10,0	0	10,0	14,5	102,1

**Nota:** en los cauces estudiados solo se tiene zonas hasta riesgo nivel tres

Tabla A.0.5 - Ponderación zonas patrimoniales

Nombre de la Presa	Ruta Patrimonial en metros (50%)	Escala Ruta Patrimonial	Área Patrimonial (100%)	Escala Área Patrimonial	Suma de Escalas ponderadas	Escala Final 3
Ancoa	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Aromos	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Bullileo	5	72,9	0	10,0	46,4	<b>31,0</b>
Caritaya	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Cerrillos	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Chacrillas	20	284,6	2	73,4	215,7	<b>143,8</b>
Cogotí	47	656,9	14	441,8	770,2	<b>513,5</b>
Coihueco	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Conchi	14	206,9	0	10,0	113,4	<b>75,6</b>
Convento Viejo II	67	924,1	0	10,0	472,1	<b>314,7</b>
Corrales	21	293,8	0	10,0	156,9	<b>104,6</b>
Culimo	20	278,5	0	10,0	149,2	<b>99,5</b>
Digua	5	72,9	0	10,0	46,4	<b>31,0</b>
El Bato	32	445,5	0	10,0	232,8	<b>155,2</b>
El Yeso	0	10,0	1	41,7	46,7	<b>31,1</b>
Huechún	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Huelehueico	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
L o Ovalle	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>

Tabla A.0.6 - Ponderación zonas patrimoniales

<b>Nombre de la Presa</b>	<b>Ruta Patrimonial en metros (50%)</b>	<b>Escala Ruta Patrimonial</b>	<b>Área Patrimonial (100%)</b>	<b>Escala Área Patrimonial</b>	<b>Suma de escalas ponderadas</b>	<b>Escala Final 3</b>
Lolol	5	71,9	0	10,0	46,0	<b>30,6</b>
La Laguna	72	1000,0	31	1000,0	1500,0	<b>1000,0</b>
Laguna del Huasco	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Laguna del Maule	16	222,3	0	10,0	121,1	<b>80,8</b>
Laguna del Planchón	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Lautaro	47	650,3	6	193,1	518,3	<b>345,5</b>
Los Cristales	16	226,0	0	10,0	123,0	<b>82,0</b>
Los Perales de Tapihue	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Orozco	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Paloma	26	363,4	14	441,8	623,5	<b>415,7</b>
Pitama	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Puclaro	46	637,7	1	49,6	368,5	<b>245,6</b>
Purísima	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Recoleta	21	290,2	14	441,8	586,9	<b>391,3</b>
Rungue	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Santa Juana	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Tucapel	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>
Tutuvén	0	10,0	0	10,0	15,0	<b>10,0</b>

Tabla A.0.7 – Ponderación de cantidad de población en riesgo

Nombre de la Presa	Población en Riesgo	Escala Final 4
Ancoa	77714	34,0
Aromos	31269	19,6
Bullileo	1165	10,3
Caritaya	616	10,2
Cerrillos	3117	10,9
Chacrillas	91446	38,3
Cogotí	99145	40,6
Coihueco	10111	13,1
Conchi	158228	58,9
Convento Viejo II	39115	22,1
Corrales	3302	11,0
Culimo	1944	10,6
Digua	868	10,2
El Bato	22168	16,8
El Yeso	3200672	1000,0
Huechún	6971	12,1
Huelehueico	1637	10,5
L o Ovalle	18368	15,6

Nombre de la Presa	Población en Riesgo	Escala Final 4
Lolol	330	10,1
La Laguna	105972	42,7
Laguna del Huasco	944	10,3
Laguna del Maule	253839	88,5
Laguna del Planchón	1698	10,5
Lautaro	1223	10,3
Los Cristales	3352	11,0
Los Perales de Tapihue	5000	11,5
Orozco	1727	10,5
Paloma	87974	37,2
Pitama	110	10,0
Puclaro	104723	42,4
Purísima	3300	11,0
Recoleta	83833	35,9
Rungue	5549	11,7
Santa Juana	60004	28,5
Tucapel	3029	10,9
Tutuvén	32135	19,9

Tabla A.0.8 – Ponderación de Interrupción de servicios directamente

Nombre de la Presa	Agua Potable (100%)	Escala Agua Potable	Subestaciones de Energía Eléctrica(80%)	Escala Subestaciones de Energía Eléctrica	Suma de escalas ponderadas	Escala Final 5
Ancoa	3	340,0	4	70,9	396,7	<b>291,7</b>
Aromos	1	120,0	2	40,5	152,4	<b>109,9</b>
Bullileo	2	230,0	2	40,5	262,4	<b>191,7</b>
Caritaya	0	10,0	1	25,2	30,2	<b>19,1</b>
Cerrillos	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
Chacrillas	8	890,0	14	223,2	1068,6	<b>791,3</b>
Cogotí	4	450,0	1	25,2	470,2	<b>346,3</b>
Coihueco	1	120,0	0	10,0	128,0	<b>91,8</b>
Conchi	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
Convento Viejo II	1	120,0	2	40,5	152,4	<b>109,9</b>
Corrales	1	120,0	0	10,0	128,0	<b>91,8</b>
Culimo	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
Digua	1	120,0	2	40,5	152,4	<b>109,9</b>
El Bato	1	120,0	1	25,2	140,2	<b>100,9</b>
El Yeso	3	340,0	65	1000,0	1140,0	<b>844,4</b>
Huechún	2	230,0	4	70,9	286,7	<b>209,9</b>
Huelehueico	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
L o Ovalle	1	120,0	1	25,2	140,2	<b>100,9</b>

Tabla A.0.9 - Ponderación de Interrupción de servicios directamente

Nombre de la Presa	Agua Potable (100%)	Escala Agua Potable	Subestaciones de Energía Eléctrica (80%)	Escala Subestaciones de Energía Eléctrica	Suma de escalas ponderadas	Escala Final 5
Lolol	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
La Laguna	4	450,0	1	25,2	470,2	<b>346,3</b>
Laguna del Huasco	0	10,0	1	25,2	30,2	<b>19,1</b>
Laguna del Maule	9	1000,0	28	436,5	1349,2	<b>1000,0</b>
Laguna del Planchón	7	780,0	5	86,2	848,9	<b>628,0</b>
Lautaro	0	10,0	4	70,9	66,7	<b>46,2</b>
Los Cristales	1	120,0	2	40,5	152,4	<b>109,9</b>
Los Perales de Tapihue	0	10,0	1	25,2	30,2	<b>19,1</b>
Orozco	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
Paloma	2	230,0	1	25,2	250,2	<b>182,7</b>
Pitama	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
Puclaro	2	230,0	1	25,2	250,2	<b>182,7</b>
Purísima	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
Recoleta	2	230,0	1	25,2	250,2	<b>182,7</b>
Rungue	1	120,0	0	10,0	128,0	<b>91,8</b>
Santa Juana	2	230,0	5	86,2	298,9	<b>218,9</b>
Tucapel	0	10,0	0	10,0	18,0	<b>10,0</b>
Tutuvén	1	120,0	1	25,2	140,2	<b>100,9</b>

Tabla A.0.10 – Datos de Interrupción de servicios indirectamente

<b>Nombre de la Presa</b>	<b>Generación Eléctrica en MW (100%)</b>	<b>Cantidad de Bases de Electricidad (90%)</b>	<b>Oleoducto y Gaseoducto en metros (70%)</b>
Ancoa	4,50	339	2885
Aromos	58,00	7	11130
Bullileo	3,00	188	8000
Caritaya	0,00	8	0
Cerrillos	0,00	7	0
Chacrillas	2355,55	253	10083
Cogotí	4,60	69	0
Coihueco	0,00	11	6094
Conchi	0,00	0	364
Convento Viejo II	378,40	106	0
Corrales	2,88	15	0
Culimo	0,00	7	0
Digua	0,50	63	11834
El Bato	0,00	9	0
El Yeso	95,00	694	103379
Huechún	3,00	86	0
Huelehueico	0,00	3	0
L o Ovalle	0,00	2	0

Tabla A.0.11 - Datos de Interrupción de servicios indirectamente

<b>Nombre de la Presa</b>	<b>Generación Eléctrica en MW (100%)</b>	<b>Cantidad de Bases de Electricidad (90%)</b>	<b>Oleoducto y Gaseoducto en metros (70%)</b>
Lolol	0.00	0	0
La Laguna	5.60	95	0
Laguna del Huasco	0.00	23	0
Laguna del Maule	1407.60	594	30564
Laguna del Planchón	72.53	187	12361
Lautaro	0.32	152	0
Los Cristales	0.00	97	6112
Los Perales de Tapihue	8.90	2	0
Orozco	0.00	1	0
Paloma	4.60	69	0
Pitama	0.00	2	0
Puclaro	0.00	74	0
Purísima	0.00	0	0
Recoleta	5.73	21	0
Rungue	0.00	4	0
Santa Juana	0.00	168	0
Tucapel	0.00	0	0
Tutuvén	0.00	16	0

Tabla A.0.12 - Ponderación de Interrupción de servicios indirectamente

Nombre de la Presa	Escala Generación Eléctrica	Escala Bases de Electricidad	Escala Oleoducto y Gaseoducto	Suma de escalas ponderadas	Escala Final 6
Ancoa	11,9	493,6	37,6	482,5	<b>288,3</b>
Aromos	34,4	20,0	116,6	134,0	<b>75,8</b>
Bullileo	11,3	278,2	86,6	322,3	<b>190,6</b>
Caritaya	10,0	21,4	10,0	36,3	<b>16,3</b>
Cerrillos	10,0	20,0	10,0	35,0	<b>15,5</b>
Chacrillas	1000,0	370,9	106,6	1408,4	<b>852,8</b>
Cogotí	11,9	108,4	10,0	116,5	<b>65,2</b>
Coihueco	10,0	25,7	68,4	81,0	<b>43,5</b>
Conchi	10,0	10,0	13,5	28,4	<b>11,5</b>
Convento Viejo II	169,0	161,2	10,0	321,1	<b>189,9</b>
Corrales	11,2	31,4	10,0	46,5	<b>22,5</b>
Culimo	10,0	20,0	10,0	35,0	<b>15,5</b>
Digua	10,2	99,9	123,3	186,4	<b>107,8</b>
El Bato	10,0	22,8	10,0	37,6	<b>17,0</b>
El Yeso	49,9	1000,0	1000,0	1649,9	<b>1000,0</b>
Huechún	11,3	132,7	10,0	137,7	<b>78,1</b>
Huelehueico	10,0	14,3	10,0	29,9	<b>12,3</b>
L o Ovalle	10,0	12,9	10,0	28,6	<b>11,6</b>

Tabla A.0.13 - Ponderación de Interrupción de servicios indirectamente

Nombre de la Presa	Escala Generación Eléctrica	Escala Bases de Electricidad	Escala Oleoducto y Gaseoducto	Suma de escalas ponderadas	Escala Final 6
Lolol	10,0	10,0	10,0	26,0	<b>10,0</b>
La Laguna	12,4	145,5	10,0	150,3	<b>85,8</b>
Laguna del Huasco	10,0	42,8	10,0	55,5	<b>28,0</b>
Laguna del Maule	601,6	857,3	302,7	1585,1	<b>960,5</b>
Laguna del Planchón	40,5	276,8	128,4	379,4	<b>225,5</b>
Lautaro	10,1	226,8	10,0	221,3	<b>129,1</b>
Los Cristales	10,0	148,4	68,5	191,5	<b>110,9</b>
Los Perales de Tapihue	13,7	12,9	10,0	32,3	<b>13,8</b>
Orozco	10,0	11,4	10,0	27,3	<b>10,8</b>
Paloma	11,9	108,4	10,0	116,5	<b>65,2</b>
Pitama	10,0	12,9	10,0	28,6	<b>11,6</b>
Puclaro	10,0	115,6	10,0	121,0	<b>67,9</b>
Purísima	10,0	10,0	10,0	26,0	<b>10,0</b>
Recoleta	12,4	40,0	10,0	55,4	<b>27,9</b>
Rungue	10,0	15,7	10,0	31,1	<b>13,1</b>
Santa Juana	10,0	249,7	10,0	241,7	<b>141,5</b>
Tucapel	10,0	10,0	10,0	26,0	<b>10,0</b>
Tutuvén	10,0	32,8	10,0	46,5	<b>22,5</b>

Tabla A.0.14 - Ponderación de zonas agrícolas

Nombre de la Presa	Área total de Riego (Ha)	Área Inundada (Ha)	Área sin riego asegurado (Ha)	Porcentaje área afectada (%)	Escala Final 7
Ancoa	37000	37000	0	100,00	<b>1000,0</b>
Aromos	400	400	0	100,00	<b>1000,0</b>
Bullileo	32400	32400	0	100,00	<b>1000,0</b>
Caritaya	1300	1300	0	100,00	<b>1000,0</b>
Cerrillos	400	327	73	90,88	<b>791,2</b>
Chacrilas	7100	7100	0	100,00	<b>1000,0</b>
Cogotí	67583	18929	48654	64,00	<b>176,4</b>
Coihueco	4234	2892	1342	84,15	<b>637,4</b>
Conchi	1500	692	808	73,07	<b>383,7</b>
Convento Viejo II	27430	27430	0	100,00	<b>1000,0</b>
Corrales	10100	3779	6321	68,71	<b>284,0</b>
Culimo	1400	588	812	71,00	<b>336,4</b>
Digua	36960	36960	0	100,00	<b>1000,0</b>
El Bato	4200	2852	1348	83,95	<b>632,8</b>
El Yeso	120000	54963	65037	72,90	<b>379,9</b>
Huechún	3000	3000	0	100,00	<b>1000,0</b>
Huelehueico	600	600	0	100,00	<b>1000,0</b>
L o Ovalle	1200	1200	0	100,00	<b>1000,0</b>

Tabla A.0.15 - Ponderación de zonas agrícolas

Nombre de la Presa	Área total de Riego (Ha)	Área Inundada (Ha)	Área sin riego asegurado (Ha)	Porcentaje área afectada (%)	Escala Final 7
Lolol	4000	3040	960	88,00	<b>725,4</b>
La Laguna	44700	11410	33290	62,76	<b>148,0</b>
Laguna del Huasco	15000	2020	12980	56,73	<b>10,0</b>
Laguna del Maule	200000	135685	64315	83,92	<b>746,5</b>
Laguna del Planchón	55000	46347	8653	92,13	<b>820,0</b>
Lautaro	10000	10000	0	100,00	<b>1000,0</b>
Los Cristales	8000	8000	0	100,00	<b>1000,0</b>
Los Perales de Tapihue	800	800	0	100,00	<b>1000,0</b>
Orozco	800	800	0	100,00	<b>1000,0</b>
Paloma	54500	16478	38022	65,12	<b>201,8</b>
Pitama	400	400	0	100,00	<b>1000,0</b>
Puclaro	20700	7660	13040	68,50	<b>279,3</b>
Purísima	400	166	234	70,75	<b>330,7</b>
Recoleta	13831	8353	5478	80,20	<b>546,9</b>
Rungue	600	600	0	100,00	<b>1000,0</b>
Santa Juana	10000	5261	4739	76,31	<b>457,8</b>
Tucapel	81	81	0	100,00	<b>1000,0</b>
Tutuvén	2161	2161	0	100,00	<b>1000,0</b>

Tabla A.0.16 - Ponderación de infraestructura pública

Nombre de la Presa	Daño a obras públicas	Escala Final 8
Ancoa	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
Aromos	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Bullileo	Alto (100%)	<b>109,0</b>
Caritaya	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Cerrillos	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Chacrillas	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Cogotí	Extremo (1000%)	<b>1000,0</b>
Coihueco	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Conchi	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Convento Viejo II	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
Corrales	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
Culimo	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
Digua	Alto (100%)	<b>109,0</b>
El Bato	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
El Yeso	Alto (100%)	<b>109,0</b>
Huechún	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
Huelehueico	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Lo Ovalle	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>

Nombre de la Presa	Daño a obras públicas	Escala Final 8
Lolol	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
La Laguna	Extremo (1000%)	<b>1000,0</b>
Laguna del Huasco	Nulo (0%)	<b>10,0</b>
Laguna del Maule	Extremo (1000%)	<b>1000,0</b>
Laguna del Planchón	Alto (100%)	<b>109,0</b>
Lautaro	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Los Cristales	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
Los Perales de Tapihue	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Orozco	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Paloma	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
Pitama	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Puclaro	Alto (100%)	<b>109,0</b>
Purísima	Nulo (0%)	<b>10,0</b>
Recoleta	Medio (66,66%)	<b>76,0</b>
Rungue	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>
Santa Juana	Alto (100%)	<b>109,0</b>
Tucapel	Nulo (0%)	<b>10,0</b>
Tutuvén	Bajo (33,33%)	<b>43,0</b>

Tabla A.0.17 - Ponderación de infraestructura privada

Nombre de la Presa	Obras Privadas aguas abajo	Escala Final 9
Ancoa	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Aromos	Medio (66,66%)	<b>44,1</b>
Bullileo	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Caritaya	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Cerrillos	Medio (66,66%)	<b>44,1</b>
Chacrillas	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Cogotí	Medio (66,66%)	<b>78,3</b>
Coihueco	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Conchi	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Convento Viejo II	Extremo (1000%)	<b>1000,0</b>
Corrales	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Culimo	Medio (66,66%)	<b>44,1</b>
Digua	Medio (66,66%)	<b>44,1</b>
El Bato	Alto (100%)	<b>78,3</b>
El Yeso	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Huechún	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Huelehueico	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
L o Ovalle	Alto (100%)	<b>78,3</b>

Nombre de la Presa	Obras Privadas aguas abajo	Escala Final 9
Lolol	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
La Laguna	Medio (66,66%)	<b>44,1</b>
Laguna del Huasco	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Laguna del Maule	Alto (1000%)	<b>1000,0</b>
Laguna del Planchón	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Lautaro	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Los Cristales	Medio (66,66%)	<b>44,1</b>
Los Perales de Tapihue	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Orozco	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Paloma	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Pitama	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Puclaro	Bajo (33,33%)	<b>44,1</b>
Purísima	Bajo (33,33%)	<b>10,0</b>
Recoleta	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Rungue	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Santa Juana	Alto (100%)	<b>78,3</b>
Tucapel	Medio (66,66%)	<b>44,1</b>
Tutuvén	Medio (66,66%)	<b>44,1</b>

Tabla A.0.18 - Ponderación de costo de reposición del embalse

Nombre de la Presa	Costo de Reposición Embalse (Miles de U,F)	Escala Final 10
Ancoa	3448,947	<b>1000,0</b>
Aromos	1216,350	<b>282,7</b>
Bullileo	1980,130	<b>528,1</b>
Caritaya	1089,050	<b>241,8</b>
Cerrillos	523,310	<b>60,0</b>
Chacrillas	2911,816	<b>827,4</b>
Cogotí	2347,830	<b>646,2</b>
Coihueco	876,890	<b>173,6</b>
Conchi	1866,950	<b>491,7</b>
Convento Viejo II	474,000	<b>44,1</b>
Corrales	1179,920	<b>270,9</b>
Culimo	1074,930	<b>237,2</b>
Digua	2517,560	<b>700,7</b>
El Bato	1611,393	<b>409,6</b>
El Yeso	1725,530	<b>446,3</b>
Huechún	424,320	<b>28,2</b>
Huelehueico	410,200	<b>23,6</b>
L o Ovalle	367,770	<b>10,0</b>

Nombre de la Presa	Costo de Reposición Embalse (Miles de U,F)	Escala Final 10
Lolol	834,460	<b>160,0</b>
La Laguna	1159,790	<b>264,5</b>
Laguna del Huasco	424,320	<b>28,2</b>
Laguna del Maule	1131,480	<b>255,4</b>
Laguna del Planchón	424,320	<b>28,2</b>
Lautaro	848,640	<b>164,5</b>
Los Cristales	876,890	<b>173,6</b>
Los Perales de Tapihue	410,200	<b>23,6</b>
Orozco	438,450	<b>32,7</b>
Paloma	2715,600	<b>764,4</b>
Pitama	466,750	<b>41,8</b>
Puclaro	1399,510	<b>341,5</b>
Purísima	551,620	<b>69,1</b>
Recoleta	1329,520	<b>319,0</b>
Rungue	594,050	<b>82,7</b>
Santa Juana	1301,650	<b>310,1</b>
Tucapel	424,050	<b>28,1</b>
Tutuvén	905,200	<b>182,7</b>

Tabla A.0.19 - Ponderación de la capacidad del embalse

Nombre de la Presa	Capacidad del embalse (Hm <sup>3</sup> )	$\Delta H$ (Km)	L (Km)	V (Hm <sup>3</sup> )	Escala Final 11
Ancoa	80,0	0,510	76,4	0,53	<b>30,3</b>
Aromos	65,0	0,057	13	0,29	<b>20,7</b>
Bullileo	60,0	0,527	56,81	0,56	<b>31,1</b>
Caritaya	42,0	1,378	34,38	1,68	<b>74,4</b>
Cerrillos	3,4	0,169	12,47	0,05	<b>11,6</b>
Chacrillas	31,4	0,302	22,7	0,42	<b>25,8</b>
Cogotí	150,0	0,095	41,72	0,34	<b>22,9</b>
Coihueco	29,2	0,030	15,48	0,06	<b>12,0</b>
Conchi	22,0	0,463	75,57	0,13	<b>15,0</b>
Convento Viejo II	237,0	0,050	32,92	0,36	<b>23,6</b>
Corrales	50,0	0,330	25,36	0,65	<b>34,8</b>
Culimo	10,0	0,374	31,99	0,12	<b>14,3</b>
Digua	220,0	0,233	20,21	2,54	<b>107,1</b>
El Bato	25,5	0,517	29,47	0,45	<b>27,0</b>
El Yeso	250,0	2,021	26,01	19,43	<b>754,9</b>
Huechún	30,0	0,090	19,01	0,14	<b>15,2</b>
Huelehueico	5,2	0,017	16,91	0,01	<b>10,0</b>
L o Ovalle	13,5	0,029	10,86	0,04	<b>11,2</b>

Tabla A.0.20 - Ponderación de la capacidad del embalse

Nombre de la Presa	Capacidad del embalse (Hm <sup>3</sup> )	$\Delta$ H (Km)	L (Km)	V (Hm <sup>3</sup> )	Escala Final 11
Lolol	6,4	0,436	6,75	0,41	<b>25,7</b>
La Laguna	40,0	2,555	97,28	1,05	<b>50,1</b>
Laguna del Huasco	14,0	2,290	67,91	0,47	<b>27,9</b>
Laguna del Maule	1420,0	1,927	106	25,81	<b>1000,0</b>
Laguna del Planchón	73,0	2,115	72,12	2,14	<b>91,9</b>
Lautaro	37,0	0,167	20,43	0,30	<b>21,4</b>
Los Cristales	8,5	1,803	40	0,38	<b>24,5</b>
Los Perales de Tapihue	11,6	0,055	13,21	0,05	<b>11,7</b>
Orozco	5,5	0,012	0,1	0,66	<b>35,1</b>
Paloma	740,0	0,201	20,45	7,27	<b>288,8</b>
Pitama	2,1	0,011	0,25	0,09	<b>13,3</b>
Puclaro	200,0	0,490	41,37	2,37	<b>100,7</b>
Purísima	2,4	0,262	21,34	0,03	<b>10,9</b>
Recoleta	100,0	0,198	14,4	1,38	<b>62,5</b>
Rungue	2,3	0,120	9,17	0,03	<b>10,9</b>
Santa Juana	160,0	0,275	16,33	2,69	<b>113,2</b>
Tucapel	0,4	0,027	1,75	0,01	<b>10,0</b>
Tutuvén	13,0	0,045	14,6	0,04	<b>11,3</b>

Tabla A.0.21 - Ponderación de la cantidad de sismos soportados

Nombre de la Presa	Cantidad de sismos soportados	Escala Final 12
Ancoa	0	10,0
Aromos	2	230,0
Bullileo	0	10,0
Caritaya	1	120,0
Cerrillos	4	450,0
Chacrillas	0	10,0
Cogotí	4	450,0
Coihueco	1	120,0
Conchi	1	120,0
Convento Viejo II	2	230,0
Corrales	2	230,0
Culimo	5	560,0
Digua	2	230,0
El Bato	2	230,0
El Yeso	0	10,0
Huechún	5	560,0
Huelehueico	9	1000,0
L o Ovalle	5	560,0

Nombre de la Presa	Cantidad de sismos soportados	Escala Final 12
Lolol	3	340,0
La Laguna	0	10,0
Laguna del Huasco	1	120,0
Laguna del Maule	1	120,0
Laguna del Planchón	0	10,0
Lautaro	0	10,0
Los Cristales	2	230,0
Los Perales de Tapihue	5	560,0
Orozco	6	670,0
Paloma	3	340,0
Pitama	6	670,0
Puclaro	0	10,0
Purísima	6	670,0
Recoleta	2	230,0
Rungue	4	450,0
Santa Juana	0	10,0
Tucapel	2	230,0
Tutuvén	2	230,0

Tabla A.0.22 - Ponderación de ciudades aguas abajo

Nombre de la Presa	Cantidad de Ciudades Aguas Abajo	Escala Final 13
Ancoa	1	59,5
Aromos	1	59,5
Bullileo	0	10,0
Caritaya	0	10,0
Cerrillos	0	10,0
Chacrillas	3	158,5
Cogotí	2	109,0
Coihueco	1	59,5
Conchi	1	59,5
Convento Viejo II	1	59,5
Corrales	0	10,0
Culimo	0	10,0
Digua	0	10,0
El Bato	1	59,5
El Yeso	2	1000,0
Huechún	0	10,0
Huelehueico	0	10,0
L o Ovalle	1	59,5

Nombre de la Presa	Cantidad de Ciudades Aguas Abajo	Escala Final 13
Lolol	0	10,0
La Laguna	1	59,5
Laguna del Huasco	0	10,0
Laguna del Maule	6	307,0
Laguna del Planchón	0	10,0
Lautaro	0	10,0
Los Cristales	0	10,0
Los Perales de Tapihue	1	59,5
Orozco	0	10,0
Paloma	1	59,5
Pitama	0	10,0
Puclaro	1	59,5
Purísima	0	10,0
Recoleta	1	59,5
Rungue	1	59,5
Santa Juana	2	109,0
Tucapel	0	10,0
Tutuvén	1	59,5

Tabla A.0.23 - Ponderación del caudal peak

Nombre de la Presa	Caudal Peak (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo de arribo (min)	Q(m <sup>3</sup> /s*min)	Escala Final 14
Ancoa	52210	248	211	<b>194,5</b>
Aromos	11540	90	128	<b>120,8</b>
Bullileo	24780	360	69	<b>67,6</b>
Caritaya	10860	130	84	<b>80,8</b>
Cerrillos	1940	110	18	<b>21,8</b>
Chacrillas	32360	108	300	<b>274,3</b>
Cogotí	39960	36	1110	<b>1000,0</b>
Coihueco	6700	30	223	<b>206,0</b>
Conchi	17210	149	116	<b>109,4</b>
Convento Viejo II	14390	130	111	<b>105,1</b>
Corrales	23480	117	201	<b>185,7</b>
Culimo	6200	172	36	<b>38,3</b>
Digua	41920	158	265	<b>243,6</b>
El Bato	14900	176	85	<b>81,8</b>
El Yeso	32160	160	201	<b>186,0</b>
Huechún	2980	431	7	<b>12,2</b>
Huelehueico	1910	427	4	<b>10,0</b>
L o Ovale	1990	102	20	<b>23,5</b>

Tabla A.0.24 - Ponderación del caudal peak

Nombre de la Presa	Caudal Peak (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo de arribo (min)	Q(m <sup>3</sup> /s*min)	Escala Final 14
Lolol	4610	36	128	<b>120,7</b>
La Laguna	11340	616	18	<b>22,5</b>
Laguna del Huasco	2180	344	6	<b>11,7</b>
Laguna del Maule	31600	572	55	<b>55,5</b>
Laguna del Planchón	3870	433	9	<b>14,0</b>
Lautaro	7730	132	59	<b>58,4</b>
Los Cristales	5190	235	22	<b>25,8</b>
Los Perales de Tapihue	2250	146	15	<b>19,8</b>
Orozco	1950	10	195	<b>180,6</b>
Paloma	69960	125	560	<b>507,2</b>
Pitama	1570	15	105	<b>99,7</b>
Puclaro	43210	234	185	<b>171,4</b>
Purísima	2090	127	16	<b>20,7</b>
Recoleta	17550	87	202	<b>186,6</b>
Rungue	2180	37	59	<b>58,8</b>
Santa Juana	59040	97	609	<b>551,0</b>
Tucapel	840	15	56	<b>56,1</b>
Tutuvén	6110	153	40	<b>41,8</b>

Tabla A.0.25 - Ponderación de riesgo de volcanes

Nombre de la Presa	Riesgo de Volcanes	Escala Final 15
Ancoa	Cerca a flujos (20%)	<b>208,0</b>
Aromos	No (0%)	<b>10,0</b>
Bullileo	Cerca a flujos (20%)	<b>208,0</b>
Caritaya	No (0%)	<b>10,0</b>
Cerrillos	No (0%)	<b>10,0</b>
Chacrillas	No (0%)	<b>10,0</b>
Cogotí	No (0%)	<b>10,0</b>
Coihueco	No (0%)	<b>10,0</b>
Conchi	No (0%)	<b>10,0</b>
Convento Viejo II	No (0%)	<b>10,0</b>
Corrales	No (0%)	<b>10,0</b>
Culimo	No (0%)	<b>10,0</b>
Digua	Flujo en los alrededores (10%)	<b>109,0</b>
El Bato	No (0%)	<b>10,0</b>
El Yeso	Si (100%)	<b>1000,0</b>
Huechún	No (0%)	<b>10,0</b>
Huelehueico	No (0%)	<b>10,0</b>
L o Ovalle	No (0%)	<b>10,0</b>

Nombre de la Presa	Riesgo de Volcanes	Escala Final 15
Lolol	No (0%)	<b>10,0</b>
La Laguna	No (0%)	<b>10,0</b>
Laguna del Huasco	No (0%)	<b>10,0</b>
Laguna del Maule	Si (100%)	<b>1000,0</b>
Laguna del Planchón	Si (100%)	<b>1000,0</b>
Lautaro	No (0%)	<b>10,0</b>
Los Cristales	Flujo en los alrededores (10%)	<b>109,0</b>
Los Perales de Tapihue	No (0%)	<b>10,0</b>
Orozco	No (0%)	<b>10,0</b>
Paloma	No (0%)	<b>10,0</b>
Pitama	No (0%)	<b>10,0</b>
Puclaro	No (0%)	<b>10,0</b>
Purísima	No (0%)	<b>10,0</b>
Recoleta	No (0%)	<b>10,0</b>
Rungue	No (0%)	<b>10,0</b>
Santa Juana	No (0%)	<b>10,0</b>
Tucapel	No (0%)	<b>10,0</b>
Tutuvén	No (0%)	<b>10,0</b>

Tabla A.0.26 - Resumen de información para presas

N°	1	2	3	4	5	6
<b>Nombre de la Presa</b>	<b>Laguna del Huasco</b>	<b>Huelehueico</b>	<b>Orozco</b>	<b>Pitama</b>	<b>Purísima</b>	<b>Huechún</b>
<b>Año de construcción</b>	1.911	1.930	1.931	1.931	1.931	1.932
<b>Cauce</b>	Tránsito	Los Coipos	La Playa	Pitama	El Membrillo	Chacabuco
<b>Región</b>	III	IX	V	V	V	R.M.
<b>Ciudad más cercana</b>	Vallenar	Angol	Casa Blanca	Casa Blanca	Casa Blanca	Santiago
<b>Altura de Presa [m]</b>	15	16	16	17	20	15
<b>Longitud de coronamiento [m]</b>	50	95	614	375	153	1.300
<b>Capacidad de Embalse [Hm<sup>3</sup>]</b>	14	5	6	2	2	30
<b>Área Inundada [Ha]</b>	90	120	88	36	48	659
<b>Estado Actual [Hm<sup>3</sup>]</b>	9	4	4	1	2	20
<b>Clasificación ICOLD</b>	Pequeña Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa
<b>Clasificación DGA</b>	Clase B	Clase B	Clase B	Clase B	Clase B	Clase B
<b>Edad al año 2019</b>	108	89	88	88	88	87
<b>Caudal Peak Rotura de Presa (m<sup>3</sup>/s)</b>	2.180	1.910	1.950	1.570	2.090	2.980
<b>Población en Riesgo</b>	944	1.637	1.727	110	3.300	6.971
<b>Valor de Reposición [Miles de UF]</b>	424	410	438	467	552	424

Tabla A.0.27 - Resumen de información para presas

N°	7	8	9	10	11	12
<b>Nombre de la Presa</b>	<b>L o Ovalle</b>	<b>Cerrillos</b>	<b>Los Perales de Tapihue</b>	<b>Culimo</b>	<b>Recoleta</b>	<b>Caritaya</b>
<b>Año de construcción</b>	1.932	1.932	1.932	1.933	1.934	1.935
<b>Cauce</b>	Lo Ovalle	Leyda	Perales	Quilimarí	Hurtado	Caritaya
<b>Región</b>	V	V	V	IV	IV	XV
<b>Ciudad más cercana</b>	Casa Blanca	San Antonio	Casa Blanca	Los Vilos	Ovalle	Pisagua
<b>Altura de Presa [m]</b>	13	19	15	36	47	39
<b>Longitud de coronamiento [m]</b>	1.520	87	1.575	220	816	156
<b>Capacidad de Embalse [Hm<sup>3</sup>]</b>	14	3	12	10	100	42
<b>Área Inundada [Ha]</b>	310	93	240	75	550	425
<b>Estado Actual [Hm<sup>3</sup>]</b>	9	2	8	6	67	9
<b>Clasificación ICOLD</b>	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa
<b>Clasificación DGA</b>	Clase B	Clase B	Clase B	Clase C	Clase C	Clase C
<b>Edad al año 2019</b>	87	87	87	86	85	84
<b>Caudal Peak Rotura de Presa (m<sup>3</sup>/s)</b>	1.990	1.940	2.250	6.200	17.550	10.860
<b>Población en Riesgo</b>	18.368	3.117	5.000	1.944	83.833	616
<b>Valor de Reposición [Miles de UF]</b>	368	523	410	1.075	1.330	1.089

Tabla A.0.28 - Resumen de información de presas

N°	13	14	15	16	17	18
<b>Nombre de la Presa</b>	<b>La Laguna</b>	<b>Lolol</b>	<b>Lautaro</b>	<b>Cogotí</b>	<b>Bullileo</b>	<b>Tutuvén</b>
<b>Año de construcción</b>	1.937	1.938	1.939	1.940	1.949	1.951
<b>Cauce</b>	La Laguna	La Fortaleza	Copiapó	Huatulame	Bullileo	Tutuvén
<b>Región</b>	IV	VI	III	IV	VII	VII
<b>Ciudad más cercana</b>	Vicuña	Santa Cruz	Copiapó	Combarbalá	Parral	Cauquenes
<b>Altura de Presa [m]</b>	41	30	30	83	70	32
<b>Longitud de coronamiento [m]</b>	230	200	812	160	260	151
<b>Capacidad de Embalse [Hm<sup>3</sup>]</b>	40	6	37	150	60	13
<b>Área Inundada [Ha]</b>	150	92	330	850	250	180
<b>Estado Actual [Hm<sup>3</sup>]</b>	38	3	13	70	18	5
<b>Clasificación ICOLD</b>	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa
<b>Clasificación DGA</b>	Clase C	Clase B	Clase B	Clase C	Clase C	Clase C
<b>Edad al año 2019</b>	82	81	80	79	70	68
<b>Caudal Peak Rotura de Presa (m<sup>3</sup>/s)</b>	11.340	4.610	7.730	39.960	24.780	6.110
<b>Población en Riesgo</b>	105.972	330	1.223	99.145	1.165	32.135
<b>Valor de Reposición [Miles de UF]</b>	1.160	834	849	2.348	1.980	905

Tabla A.0.29- Resumen de información de presas

N°	19	20	21	22	23	24
<b>Nombre de la Presa</b>	<b>Laguna del Planchón</b>	<b>Tucapel</b>	<b>Laguna del Maule</b>	<b>Rungue</b>	<b>El Yeso</b>	<b>Paloma</b>
<b>Año de construcción</b>	1.952	1.957	1.957	1.962	1.967	1.967
<b>Cauce</b>	Teno	Tucapel	Maule	Rungue	Yeso	Grande
<b>Región</b>	VII	VIII	VII	R.M.	R.M.	IV
<b>Ciudad más cercana</b>	Curicó	Los Ángeles	Talca	Santiago	Puente Alto	Ovalle
<b>Altura de Presa [m]</b>	15	15	40	21	61	96
<b>Longitud de coronamiento [m]</b>	-	154	193	160	350	1.000
<b>Capacidad de Embalse [Hm<sup>3</sup>]</b>	73	0	1.420	2	250	740
<b>Área Inundada [Ha]</b>	-	6	8.600	40	820	3.000
<b>Estado Actual [Hm<sup>3</sup>]</b>	2	8	381	0	111	449
<b>Clasificación ICOLD</b>	Gran Presa	Pequeña Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa
<b>Clasificación DGA</b>	Clase C	Clase A	Clase C	Clase B	Clase C	Clase C
<b>Edad al año 2019</b>	67	62	62	57	52	52
<b>Caudal Peak Rotura de Presa (m<sup>3</sup>/s)</b>	3.870	840	31.600	2.180	32.160	69.960
<b>Población en Riesgo</b>	1.698	3.029	253.839	5.549	3.200.672	87.974
<b>Valor de Reposición [Miles de UF]</b>	424	424	1.131	594	1.726	2.716

Tabla A.0.30- Resumen de información de presas

N°	25	26	27	28	29	30
<b>Nombre de la Presa</b>	<b>Digua</b>	<b>Coihueco</b>	<b>Conchi</b>	<b>Los Cristales</b>	<b>Aromos</b>	<b>Sana Juana</b>
<b>Año de construcción</b>	1.968	1.971	1.976	1.977	1.978	1.995
<b>Cauce</b>	Cato	Pullami	Loa	Claro	Limache	Huasco
<b>Región</b>	VII	VIII	II	VI	V	III
<b>Ciudad más cercana</b>	Parral	Chillán	Calama	Rengo	Limache	Vallenar
<b>Altura de Presa [m]</b>	79	29	66	31	43	114
<b>Longitud de coronamiento [m]</b>	420	1.010	167	300	220	390
<b>Capacidad de Embalse [Hm<sup>3</sup>]</b>	220	29	22	9	65	160
<b>Área Inundada [Ha]</b>	680	240	125	37	600	410
<b>Estado Actual [Hm<sup>3</sup>]</b>	76	16	16	0	12	146
<b>Clasificación ICOLD</b>	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa
<b>Clasificación DGA</b>	Clase C	Clase B	Clase C	Clase C	Clase C	Clase C
<b>Edad al año 2019</b>	51	48	43	42	41	24
<b>Caudal Peak Rotura de Presa (m<sup>3</sup>/s)</b>	41.920	6.700	17.210	5.190	11.540	59.040
<b>Población en Riesgo</b>	868	10.111	158.228	3.352	31.269	60.004
<b>Valor de Reposición [Miles de UF]</b>	2.518	877	1.867	877	1.216	1.302

Tabla A.0.31- Resumen de información de presas

<b>N°</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>
<b>Nombre de la Presa</b>	<b>Puclaro</b>	<b>Corrales</b>	<b>Convento Viejo II</b>	<b>El Bato</b>	<b>Ancoa</b>	<b>Chacrillas</b>
<b>Año de construcción</b>	2.000	2.000	2.009	2.009	2.012	2.014
<b>Cauce</b>	Elqui	Camisas	Chimbarongo	Illapel	Ancoa	Rocín
<b>Región</b>	IV	IV	VI	IV	VII	V
<b>Ciudad más cercana</b>	Vicuña	Salamanca	Chimbarongo	Illapel	Linares	Putendo
<b>Altura de Presa [m]</b>	83	70	32	57	122	103
<b>Longitud de coronamiento [m]</b>	595	340	-	590	368	319
<b>Capacidad de Embalse [Hm<sup>3</sup>]</b>	200	50	237	26	80	31
<b>Área Inundada [Ha]</b>	725	223	3	120	230	93
<b>Estado Actual [Hm<sup>3</sup>]</b>	180	21	131	13	6	21
<b>Clasificación ICOLD</b>	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa	Gran Presa
<b>Clasificación DGA</b>	Clase C	Clase C	Clase C	Clase C	Clase C	Clase C
<b>Edad al año 2019</b>	19	19	10	10	7	5
<b>Caudal Peak Rotura de Presa (m<sup>3</sup>/s)</b>	43.210	23.480	14.390	14.900	52.210	32.360
<b>Población en Riesgo</b>	104.723	3.302	39.115	22.168	77.714	91.446
<b>Valor de Reposición [Miles de UF]</b>	1.400	1.180	474	1.611	3.449	2.912

Tabla A.0.32 - Zonas de conservación

<b>Zonas de conservación</b>		
<b>Presa</b>	<b>Santuario de La naturaleza</b>	<b>Área Total [Ha]</b>
Ancoa	Cajón Rio achibueno(205), Rocas de Constitución (22,64)	227,64
Aromos	-	-
Bullileo	Rocas de Constitución (22,64)	22,64
Caritaya	-	-
Cerrillos	-	-
Chacrillas	-	-
Cogotí	-	-
Coihueco	-	-
Conchi	-	-
Convento Viejo II	-	-
Corrales	-	-
Culimo	-	-
Digua	-	-
El Bato	-	-
El Yeso	Predio Cascadas de las animas	325,68
Huechún	-	-
Huelehueico	-	-
L o Ovalle	Humedal Tunquen	96
L olol	-	-
La Laguna	-	-
Laguna del Huasco	-	-
Laguna del Maule	Rocas de Constitución (108,4)	108,4
Laguna del Planchón	-	-
Lautaro	-	-
Los Cristales	-	-
Los Perales de Tapihue	Humedal Tunquen	96
Orozco	Humedal Tunquen	96
Paloma	-	-
Pitama	Humedal Tunquen	96
Puclaro	-	-
Purísima	-	-
Recoleta	-	-
Rungue	-	-
Santa Juana	-	-
Tucapel	-	-
Tutuvén	-	-

Tabla A.0.33 - Sitios prioritarios

Sitios Prioritarios					
Presa	Ley 19300	Area [Ha]	ERB (Estrategia Regional de Conservacion)	Area [Ha]	Area Total[Ha]
Ancoa	NA	0	Vegas de ancoa(3508), Pichaman (841)	4349	4349
Aromos	NA	0	Estero Limache (464),Rio aconcagua (170), Humedal Rio Aconcagua (413), Estuario Rio Aconcagua (2203)	3250	3250
Bullileo	Bosques Nativos de Digua y Bullileo (530)	530	Pichaman(841)	841	841
Caritaya	NA	0	Quebrada de Camaraones (5143,19), Desembocadura Rio Camarones (86,17)	5229,36	5229,36
Cerrillos	NA	0	Rio Mapio (100), Dunas de Santo Domingo-LLolloe(196), Estuario Rio Maipo (363)	659	659
Chacrillas	NA	0	Zona Media Superior Aconcagua (1000), Rio Aconcagua (4284), Humedal Rio Aconcagua (405),Estuario Rio Aconcagua (2203)	7892	7892
Cogotí	NA	0	NA	0	0
Coihueco	NA	0	NA	0	0
Conchi	NA	0	Oasis de Calama (780)	780	780
Convento Viejo II	NA	0	NA	0	0
Corrales	NA	0	Desembocadura Rio Choapa	116	116
Culimo	Quebrada de Culimo (69,9),Cerro Santa Inés y Costa de Pichidangui (11,3)	81,2	Desembocadura Rio Quilimari	62	62
Digua	NA	0	NA	0	0
El Bato	NA	0	Desembocadura Rio Choapa	116	116
El Yeso	El moradao (7372), Cordon de Cantillana (6305)	13677	Rio maipo (1483), dunas santo domingo(186), estuario rio maipo (244)	1913	1913
Huechún	El Roble	550	Embalse Huechun	691	691
Huelehueico	NA	0	NA	0	0
L o Ovalle	NA	0	Estero Casa Blanca(740), Punta Curaumilla - Quintay hasta Punta antes de A*(98)	838	838

Sitios Prioritarios					
Presa	Ley 19300	Area [Ha]	ERB (Estrategia Regional de Conservacion)	Area [Ha]	Area Total[Ha]
Lolol	NA	0	Altos de Lolol y Chépica (380)	380	380
La Laguna	NA	0	NA	0	0
Laguna del Huasco	Estuario Río Huasco y Carrizal (451), Zona Desierto Florido (1883)	2334	RNP Huascoaltinos(4040), Río Huasco (5010)	9050	9050
Laguna del Maule	NA	0	Laguna del Maule - Cajón Troncoso Campanario (715,58)	715,58	715,58
Laguna del Planchón	NA	0	Lagunas de Teno (1067), Cajón del Río Teno (1800), Matorral Esclerófilo de Villa Prat (2309), Huaquén (1411), Desembocadura Río Mataquito (389), Área Marina Huenchullami - Mataquito (612)	7588	7588
Lautaro	Zona Desierto Florido	1463	Río Copiapó (20579)	19052	19052
Los Cristales	NA	0	Río Claro de Rengo (235)	235	235
Los Perales de Tapihue	NA	0	Estero Casa Blanca(740), Punta Curaumilla - Quintay hasta Punta antes de A*(98)	838	838
Orozco	NA	0	Estero Casa Blanca(740), Punta Curaumilla - Quintay hasta Punta antes de A*(98)	661	661
Paloma	NA	0	Desembocadura Río Limarí (123)	123	123
Pitama	NA	0	Estero Casa Blanca(350), Punta Curaumilla - Quintay hasta Punta antes de A*(98)	448	448
Puclaro	Red de Humedales Costeros de Comuna de Coquimbo (3888)	3888	NA	0	0
Purísima	NA	0	San Jeronimo (399)	399	399
Recoleta	NA	0	Desembocadura Río Limarí (123)	123	123
Rungue	El Roble (298)	298	NA	0	0
Santa Juana	Zona Desierto Florido (1271)	1271	Río Huasco (1888), Estuario Río Huasco y Carrizal (527)	2415	2415
Tucapel	NA	0	NA	0	0
Tutuvén	NA	0	NA	0	0

Tabla A.0.34 - Otras medidas de conservación

<b>Otras Medidas de conservación</b>							
<b>Presa</b>	<b>Sitio Ramsar</b>	<b>Área [Ha]</b>	<b>Reserva de la Biosfera</b>	<b>Área [Ha]</b>	<b>Bien Nacional Protegido (BNP)</b>	<b>Área [Ha]</b>	<b>Área Total [Ha]</b>
Ancoa	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Aromos	-	-	La campana-Peñuelas (339)	339	-	-	<b>322,05</b>
Bullileo	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Caritaya	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Cerrillos	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Chacrillas	-	-	La campana-Peñuelas (5809)	5809	-	-	<b>5518,55</b>
Cogotí	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Coihueco	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Conchi	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Convento Viejo II	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Corrales	Las Salinas de Hueltelauquen	341	-	-	-	-	<b>341</b>
Culimo	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Digua	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
El Bato	Las Salinas de Hueltelauquen	341	-	-	-	-	<b>341</b>
El Yeso	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Huechún	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Huelehueico	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
L o Ovalle	-	-	La campana-Peñuelas (1602)	1602	-	-	<b>1521,9</b>
L olol	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
La Laguna	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Laguna del Huasco	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Laguna del Maule	-	-	-	-	Potrero Lo Aguirre (522,8),Laguna del Maule (4858,2)	5381	<b>4842,9</b>

<b>Otras Medidas de conservación</b>							
<b>Presa</b>	<b>Sitio Ramsar</b>	<b>Área [Ha]</b>	<b>Reserva de la Biosfera</b>	<b>Área [Ha]</b>	<b>Bien Nacional Protegido (BNP)</b>	<b>Área [Ha]</b>	<b>Área Total [Ha]</b>
Laguna del Planchón	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Lautaro	-	-	-	-	Morro-Desembocadura Rí (64)	64	<b>57,6</b>
Los Cristales	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Los Perales de Tapihue	-	-	La campana-Peñuelas (1602)	2209	-	-	<b>2098,55</b>
Orozco	-	-	La campana-Peñuelas (1602)	864	-	-	<b>820,8</b>
Paloma	-	-	Bosque Fray Jorge (690)	690	-	-	<b>655,5</b>
Pitama	-	-	La Campana - Peñuelas(392)	392	-	-	<b>372,4</b>
Puclaro	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Purísima	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Recoleta	-	-	Bosque Fray Jorge (690)	690	-	-	<b>655,5</b>
Rungue	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Santa Juana	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Tucapel	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>
Tutuvén	-	-	-	-	-	-	<b>0</b>