

# TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1.	Motivación	1
1.2.	Objetivos	3
1.2.1.	Objetivo General	3
1.2.2.	Objetivos Específicos	3
1.3.	Metodología General	3
1.4.	Organización del Documento	5
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>REVISIÓN DE ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
2.1.	El Cambio Climático y la Megasequía 2010-2015 en Chile	7
2.2.	Generación de Series Sintéticas	10
2.2.1.	Cadenas de Markov	10
2.2.2.	Fractional Gaussian Noise	11
2.3.	Sistema Eléctrico en Chile	14
2.3.1.	Modelo de Coordinación Hidrotérmica	16
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
3.1.	Análisis del Registro Histórico	20
3.2.	Generación de Serie Sintética	24
3.3.	Modelo Hidroeléctrico	25
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>26</b>
4.1.	Análisis de Series Históricas	27
4.2.	Validación del Modelo	36
4.3.	Series Sintéticas	37
4.4.	Modelo Hidroeléctrico	42

4.5. Resultados de Simulaciones de la Operación .....	45
4.6. Análisis de Resultados .....	57
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS Y APÉNDICES .....</b>	<b>A</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Categorías de Sequías según SPI (McKee, Doesken, & Kleist, 1993) .....	10
Tabla 2-2. Resumen Generación últimos 6 años [GWh/año]. Fuente: (Comisión Nacional de energía, 2017) .....	15
Tabla 2-3. Comparación aporte hidroeléctrico en los sistemas SIC y SING. Fuente: (Comisión Nacional de energía, 2017) .....	16
Tabla 4-1. Estadística Serie Histórica de volúmenes anuales agregados. Período 1961 - 2014 .....	27
Tabla 4-2. Resumen Análisis Caudales por cuenca.....	32
Tabla 4-3. Factores de relación Media Histórica-Media Futura.....	33
Tabla 4-4. Estaciones Asignadas a cada Categoría .....	33
Tabla 4-5. Estaciones Asignadas para cada Distribución.....	34
Tabla 4-6. Simbología Tablas de probabilidades. ....	34
Tabla 4-7. Probabilidades de Transición y de estado para las Cuencas entre Río Huasco y Mataquito.....	35
Tabla 4-8. Probabilidades de Transición y de estado para cuencas desde el Maule a Chiloé .....	35
Tabla 4-9. Características de Simulación .....	42
Tabla 4-10. Proyección Generación al año 2032.....	45
Tabla 4-11. Resumen de Resultados para casos determinísticos .....	54
Tabla 4-12. Resumen de resultados para casos estocásticos .....	56
Tabla 4-13. Comparación Costos totales para caso determinístico y estocástico .....	57

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-1. Temperaturas globales promedio en la superficie. Las diferencias son relativas al promedio 1961-1990. La curva negra representa promedio decadales, los círculos son los valores anuales, mientras que la zona sombreada es el intervalo de confianza, que muestra la varianza de los datos. Fuente: Pachauri & Reisinger (2007) .....	2
Figura 1-2. Esquema General del Procedimiento planteado para analizar los Efectos de una megasequía sobre el Sistema Hidroeléctrico. ....	4
Figura 2-1. Período de recurrencia en años (escala a la izquierda). Los círculos rojos indican el promedio y las líneas verticales la desviación estándar entre modelos. Las barras celestes indican el promedio multimodelo de la precipitación relativa a la media 1970-2000 (escala a la derecha). Datos de Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5-WCRP) Fuente: CR2 (2015) .....	8
Figura 2-2. Mapas de cambio porcentual de precipitación para el periodo 2011-2030 con respecto al periodo 1961-1990. (a) Promedio de las simulaciones CMIP5-RCP2.6 (b) promedio de las simulaciones CMIP5-RCP8.5 (c) promedio de las simulaciones CMIP3-SRES A1B (d) simulación regional PRECIS-ECHAM. La leyenda de colores indica blanco para variación nula, tonos verdes al aumentar hasta 50% y cafés para disminuciones de hasta 50%. (Rojas, 2012) .....	9
Figura 2-3. Matriz representativa de caudales históricos .....	11
Figura 2-4. a) Proceso de Conversión de la Matriz $Z$ en $Z'$ . b) Proceso de acoplamiento de matrices $ZS$ y $ZS'$ en $ZSC$ . Fuente: (Kirsch, et al., 2013).....	13
Figura 2-5. Distribución Tipos de Energía en Producción Bruta del SIC por años. Fuente: (Coordinador Eléctrico Nacional, 2015). .....	15
Figura 2-6. Problema de Coordinación Hidrotérmica .....	16
Figura 3-1. Series de los caudales históricos para la semana 11 en Central Auxiliar del Maipo.....	20
Figura 3-2. Análisis de Frecuencia de la semana 11, Estación Auxiliar Del Maipo. Los registros se muestran en azul, mientras que la línea verde presenta la aproximación por distribución normal.....	21
Figura 3-3. Diagrama de Proceso para Análisis de Series Históricas y Generación de Series Sintéticas.....	23
Figura 3-4. Diagrama explicativo para Selección de años. Las barras representan las probabilidades por estado, la línea es la probabilidad acumulada.....	24
Figura 4-1. Series Históricas .....	27

Figura 4-2. Categorización de tipos de año. La línea azul muestra los volúmenes totales anuales afluentes ordenados de menor a mayor, mientras que los puntos en naranja, los valores del SSI en eje secundario. Se indican en rojo los valores de transición seco-normal y normal-húmedo. ....	31
Figura 4-3. Muestreo de $r^2$ en eje a la derecha y Error porcentual de medias en eje a la izquierda. ....	36
Figura 4-4. Volúmenes totales afluentes, promedio semanal.....	37
Figura 4-5. Simulaciones de Afluentes promedios semanales al Laja .....	37
Figura 4-6. Ejemplo de Serie sintética para Estación Laja.....	38
Figura 4-7. Volúmenes anuales totales, en serie sintéticas sintética. ....	39
Figura 4-8. Volúmenes anuales totales, en serie sintéticas sintética .....	40
Figura 4-9. Volúmenes anuales totales, en serie que modela caudales secos, seguido por un caudal húmedo.....	40
Figura 4-10. Volúmenes anuales totales, en la serie que modela sequía al inicio.....	41
Figura 4-11. Volúmenes anuales totales, en serie que modela sequía al final .....	41
Figura 4-12. Estaciones modeladas en Ameba.....	43
Figura 4-13. Volúmenes anuales totales del período 1961-1975 .....	44
Figura 4-14. Volúmenes anuales totales período 2000-2015 .....	44
Figura 4-15. Resumen de volúmenes de los casos determinísticos, en conjunto se utilizan en modelación estocástica. ....	45
Figura 4-16. Generación y Costos Marginales para serie que replica período 1961-1975	46
Figura 4-17. Volúmenes embalsados anuales en Principales Centrales para serie que replica años entre 1961 y 1975.....	46
Figura 4-18. Generación y costos marginales para serie que replica los años entre 2000 y 2015 .....	47
Figura 4-19. Volúmenes embalsados anuales en Principales Centrales para serie que replica años entre 2000 y 2015.....	47
Figura 4-20. Generación y Costos Marginales para caso sintético que modela una serie seca de alta variabilidad.....	48

Figura 4-21. Volúmenes embalsados anuales en Principales Centrales para serie sintética que presenta una sequía moderada de alta variabilidad.....	48
Figura 4-22. Generación y costo marginal para serie sintética de sequía aguda y baja variabilidad .....	49
Figura 4-23. Volúmenes embalsados anuales en Principales Centrales para serie sintética aguda de baja variabilidad. ....	49
Figura 4-24. Generación y Costos Marginales para serie sintética que finaliza con un caudal más húmedo.....	50
Figura 4-25. Volúmenes embalsados anuales en Principales Centrales para serie sintética que finaliza con un año húmedo. ....	50
Figura 4-26. Generación y Costos Marginales para serie que comienza con años de megasequía y luego se recupera levemente.....	51
Figura 4-27. Volúmenes embalsados anuales en Principales Centrales para serie que comienza con una megasequía y luego se recupera. ....	51
Figura 4-28. Generación y Costos Marginales asociados al caso que finaliza con una megasequía .....	52
Figura 4-29. Volúmenes embalsados anuales en Principales Centrales para serie que finaliza con megasequía.....	52
Figura 4-30. Generación Hidroeléctrica en GWh/año para las siete series analizadas como casos determinísticos.....	53
Figura 4-31. Costos Marginales en USD/MWh para las siete series analizadas como casos determinísticos.....	53
Figura 4-32. Volumen embalsado al final de cada año .....	54
Figura 4-33. Generación hidroeléctrica por caso en análisis probabilístico.....	55
Figura 4-34. Costos marginales por caso en análisis probabilístico.....	55
Figura 4-35. Volúmenes embalsados a fines de cada año por caso analizado de manera probabilística .....	56