

Tabla de Contenido

CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Generales	2
1.2.2 Específicos	2
1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	2
CAPÍTULO 2 : ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	4
2.1 MODELOS DE CIRCULACIÓN GENERAL.....	4
2.2 MODELO GISS-E2-R	7
2.3 PROCESO DE ESCALAMIENTO.....	9
2.3.1 Escalamiento espacial.....	10
2.3.2 Escalamiento temporal	10
2.4 MODELO HIDROLÓGICO WEAP	11
2.5 RECONSTRUCCIÓN DE CAUDALES USANDO ANILLOS DE ÁRBOLES	17
2.6 CATÁSTROFES EN CHILE Y EN LA ZONA DE ESTUDIO EN PARTICULAR PARA EL PERIODO 1600 – 2000.	21
CAPÍTULO 3 : ZONA DE ESTUDIO	22
3.1 CUENCA DEL RÍO MAULE.....	22
3.2 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA DISPONIBLE	24
3.2.1 Información meteorológica.....	25
3.2.2 Información fluviométrica.....	25
CAPÍTULO 4 : SELECCIÓN DEL MODELO DE CIRCULACIÓN GENERAL	25
4.1 CORRELACIÓN ANUAL.....	26
4.2 ANÁLISIS DE ESTACIONALIDAD	28
4.3 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD	30
4.4 ANÁLISIS DE ENSAMBLE	36
4.5 TENDENCIA EN PERIODO BASE.....	37
4.6 SELECCIÓN DEL GCM.....	38
CAPÍTULO 5 : SIMULACIÓN DE CAUDALES	40
5.1 ESCALAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA.....	40
5.2 VERIFICACIÓN DEL PROCESO DE ESCALAMIENTO	41
5.3 GENERACIÓN SERIES DE CAUDALES MEDIOS ANUALES.....	43
CAPÍTULO 6 : ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
CAPÍTULO 7 : CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	59
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	65

Índice de tablas

Tabla 2-1. Especificaciones de los modelos de circulación general.	5
Tabla 2-2. Descripción de simbología presentada en la Figura 2-4.	12
Tabla 2-3. Información bandas de elevación en subcuencas para ambos modelos.	14
Tabla 2-4. Parámetros calibrados en WEAP para la subcuenca estero Las Garzas planteado por el Centro de Cambio Climático (PUC).	15
Tabla 2-5. Parámetros para todas las subcuencas calibrados en WEAP por tipo de suelo planteado por el Centro de Cambio Climático (PUC).	15
Tabla 2-6. Parámetros calibrados en el modelo WEAP planteado por ERIDANUS. Cuenca estero Las Garzas.	16
Tabla 2-7. Estaciones fluviométricas consideradas en este estudio y en Urrutia et al., 2011. Fuente: DGA.	18
Tabla 2-8. Lista de los cinco años y períodos de flujo anual más altos y más bajos reconstruidos en porcentaje con respecto al promedio del periodo 1965 – 2000, para la cuenca del Maule desde 1590. Fuente: Urrutia et al., 2011.	20
Tabla 2-9. Recopilación histórica de años con inundaciones y sequías en la zona de estudio. Periodo 1600 - 2000.	21
Tabla 3-1: Estaciones meteorológicas con más de 30 años de información. Fuente: DGA.	25
Tabla 3-2: Estaciones fluviométricas de la zona de estudio.	25
Tabla 4-1. Resultados de los indicadores calculados para la selección de los modelos de circulación general.	38
Tabla 4-2. Resultados del ranking obtenido a partir de los indicadores calculados para la selección de los modelos de circulación general.	39
Tabla 5-1. Tabla comparativa de los caudales medios anuales obtenidos para las subcuencas estero Las Garzas y río Achibueno en La Recova, por ambas conceptualizaciones. Periodo 1600 – 2000.	45
Tabla 6-1. Relación de los caudales medios anuales obtenidos y las variables meteorológicas (precipitación y temperatura).	47
Tabla 6-2. Lista comparativa de los cinco años y períodos de flujo anual más altos y más bajos reconstruidos para la subcuenca río Achibueno en La Recova. Periodo 1600 – 2000.	48
Tabla 6-3. Parámetros estadísticos por siglos del caudal medio anual (Modelo MPUC. Achibueno en La Recova).	51
Tabla 6-4. Parámetros estadísticos por siglos del caudal medio anual (Modelo MERIDANUS). Río Achibueno en La Recova.	52
Tabla 6-5. Registro de años en que hubo sequías e inundaciones compatibles con los obtenidos por ambos modelos.	58
Tabla A-1. Ponderados para obtener precipitaciones mensuales en estación Armerillo. Periodo 1600 – 2000.	66
Tabla A-2. Ponderados para obtener temperaturas mensuales en estación Armerillo. Periodo 1600 – 2000.	75
Tabla B-1. Resultados de la prueba z.	85
Tabla B-2. Resultados de la prueba t.	85
Tabla B-3. Resultados de la prueba F de Fisher.	85
Tabla B-4. Resultados de la prueba de Levene.	85
Tabla B-5. Resultados de la prueba de Bartlett.	85
Tabla C-1. Resultados de la prueba z.	86
Tabla C-2. Resultados de la prueba t.	86
Tabla C-3. Resultados de la prueba F de Fisher.	86
Tabla C-4. Resultados de la prueba de Levene.	86
Tabla C-5. Resultados de la prueba de Bartlett.	86
Tabla F-1. Lista comparativa de los cinco años y períodos de flujo anual más altos y más bajos reconstruidos para la subcuenca río Achibueno en La Recova. Periodo 1600 – 2000.	89

Índice de figuras

Figura 2-1. Esquema de las dos áreas de enfoque del CMIP5, cada uno dividido en los niveles de prioridad de los experimentos. Fuente: Taylor et al., 2012.....	5
Figura 2-2. Capas verticales para la configuración del modelo atmosférico de 40 capas (para comodidad gráfica, la coordenada vertical mostrada aquí es lineal en la presión a 150 hPa, logarítmico arriba). Fuente: Schmidt et al., 2014.....	8
Figura 2-3. Esquema de escalamiento y la relación entre GCM y resoluciones menores.....	9
Figura 2-4. Esquema de estanques y elementos hidrológicos modelados por WEAP. Fuente: Escobar M. & Vicuña S., 2009.....	11
Figura 2-5. Conceptualización WEAP de las 7 subcuencas y 5 cuencas intermedias, propuesto por el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013.	13
Figura 2-6. Conceptualización WEAP de la subcuenca estero Las Garzas modelo MPUC.	13
Figura 2-7. Conceptualización WEAP de la subcuenca estero Las Garzas, modelo MERIDANUS.	14
Figura 2-9. Estaciones fluviométricas en este estudio y las utilizadas en Urrutia et al., 2011.....	18
Figura 2-10. Caudal medio anual observado y reconstruido en la cuenca del Maule expresado en %/100 del promedio. Periodo 1938 – 2000. Fuente: Urrutia et al., 2011.	19
Figura 2-11. Reconstrucción del caudal medio anual en la cuenca del Maule expresado en %/100 del promedio. Periodo 1590 - 2000. Fuente: Urrutia et al., 2011.....	19
Figura 3-1. Estaciones meteorológicas y fluviométricas de cuenca río Maule.	23
Figura 3-2. Precipitaciones medias mensuales registradas en estación Armerillo. Periodo 1976-2005.	24
Figura 3-3. Temperaturas medias mensuales registradas en estación Colorado. Periodo 1976-2005.....	24
Figura 4-1. Relación entre precipitación anual modelada y observada en Armerillo. Periodo 1976 – 2004.	26
Figura 4-2. Relación entre temperatura media anual modelada y observada en Armerillo. Periodo 1976 – 2004.....	27
Figura 4-3. Proporción de precipitación mensual promedio respecto a la precipitación anual. Periodo 1976 - 2004.	28
Figura 4-4. Proporción de la desviación de temperatura media mensual promedio respecto a la temperatura media anual. Periodo 1976 - 2004.....	29
Figura 4-5. Correlación de las curvas de duración de las precipitaciones mensuales. Periodo 1976 - 2004.	30
Figura 4-6. Correlación de las curvas de duración de las precipitaciones mensuales. Temporada abril - septiembre.	31
Figura 4-7. Correlación de las curvas de duración de las precipitaciones mensuales. Temporada octubre - marzo.....	32
Figura 4-8. Correlación de las curvas de duración de las temperaturas medias mensuales. Periodo 1976 - 2004.....	33
Figura 4-9. Correlación de las curvas de duración de las temperaturas medias mensuales. Temporada abril - septiembre. Periodo 1976 – 2004.....	34
Figura 4-10. Correlación de las curvas de duración de las temperaturas medias mensuales. Temporada octubre - marzo.	35
Figura 4-11. Diferencia entre mediana y mediana promedio, ambas por siglo, para precipitación anual. Periodo 1600 - 1999.	36
Figura 4-12. Diferencia entre mediana y mediana promedio, ambas por siglo, para temperatura media anual.	36
Figura 4-13. Precipitación anual en estación Armerillo. Periodo 1976 - 2004.	37
Figura 4-14. Temperatura media anual en estación Colorado. Periodo 1976 – 2004.	37
<i>Figura 5-1. Correlación de precipitaciones anuales observadas respecto a simuladas en Armerillo para periodo de línea base.</i>	<i>40</i>
Figura 5-2. Correlación de temperaturas medias anuales observadas en Colorado respecto a simuladas en periodo línea base.....	40
Figura 5-3. Precipitación anual en Armerillo para el periodo 1600 – 2000.	41

Figura 5-4. Temperatura media anual en Colorado para el periodo 1600 – 2000.....	41
Figura 5-5. Función de probabilidades de las precipitaciones en Armerillo. Periodo 1976 - 2004.	42
Figura 5-6. Precipitación anual en Armerillo para periodo línea base.	42
Figura 5-7. Función de probabilidades de las temperaturas en Colorado. Periodo 1976 - 2004.....	43
Figura 5-8. Temperatura media anual en Colorado para periodo línea base.....	43
Figura 5-9. Caudal medio anual en Estero Las Garzas obtenido con modelo MPUC. Periodo 1600 – 2000.	44
Figura 5-10. Caudal medio anual en río Achibueno en La Recova obtenido a partir de la correlación con la subcuenca estero Las Garzas (MPUC). Periodo 1600 – 2000.....	44
Figura 5-11. Caudal medio anual en Estero Las Garzas obtenido con modelo MERIDANUS. Periodo 1600 – 2000.....	45
Figura 5-12. Caudal medio anual en río Achibueno en La Recova obtenido con modelo MERIDANUS en base a la correlación con subcuenca estero Las Garzas. Periodo 1600 – 2000.	45
Figura 6-1. (a) Comparación entre caudal medio anual y precipitación anual en el siglo XVIII, modelo MERIDANUS.	47
Figura 6-2. Probabilidad de excedencia del caudal medio anual obtenido en estudio realizado por Urrutia et al., 2011.	49
Figura 6-3. Probabilidad de excedencia del caudal medio anual en río Achibueno en La Recova para el periodo 1600 - 1899 y 1900 - 2000. (Basado en resultados obtenidos con MPUC).	50
Figura 6-4. Probabilidad de excedencia del caudal medio anual en río Achibueno en La Recova para el periodo 1600 - 1899 y 1900 - 2000. (Basado en resultados obtenidos con MERIDANUS).	50
Figura 6-5. Comparación de caudales medias anuales y medias móviles por siglos, entre modelo MPUC y MERIDANUS.	53
Figura 6-6. Curva de duración mensual por siglo. Basado en Modelo MPUC (c). (a) Acercamiento de caudal medio mensual para probabilidades de excedencia bajas. (b) Acercamiento de caudal medio mensual para probabilidades de excedencia altas.	54
Figura 6-7. Curva de duración mensual por siglo. Basado en Modelo MERIDANUS (c). (a) Acercamiento de caudal medio mensual para probabilidades de excedencia bajas. (b) Acercamiento de caudal medio mensual para probabilidades de excedencia altas.	55
Figura 6-8. Comparación de curvas de duración mensual por siglos, entre modelo MPUC y MERIDANUS. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.	56
Figura 6-9. Curva de variación estacional Achibueno en la Recova. Modelo MPUC. Siglo XX.....	57
Figura 6-10. Curva de variación estacional en Achibueno en La Recova. Modelo MERIDANUS. Siglo XX.....	57
Figura D-1. Correlación de caudal medio mensual entre río Achibueno en La Recova y estero Las Garzas. Periodo 2003 - 2015.....	87
Figura E-1. Caudal medio mensual en Estero Las Garzas obtenido con modelo WEAP calibrado por el Centro de Cambio Global (PUC). Periodo 1600 – 2000.....	87
Figura E-2. Caudal medio mensual en Río Achibueno en La Recova obtenido con modelo WEAP calibrado por el Centro de Cambio Global (PUC). Periodo 1600 – 2000.....	88
Figura E-3. Caudal medio mensual en Estero Las Garzas obtenido con modelo WEAP calibrado por ERIDANUS. Periodo 1600 – 2000.....	88
Figura E-4. Caudal medio mensual en Río Achibueno en La Recova obtenido con modelo WEAP calibrado por ERIDANUS. Periodo 1600 – 2000.	88
Figura F-1. Caudal medio anual en Río Achibueno en La Recova obtenido con modelo MPUC. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.....	89
Figura F-2. Caudal medio anual en Río Achibueno en La Recova obtenido con modelo MERIDANUS. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.	90
Figura F-3. Comparación entre caudal medio anual y precipitación anual por siglos (Modelo MPUC). (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.	91
Figura F-4. Comparación entre caudal medio anual y temperatura media anual por siglos (Modelo MPUC). (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.	92

Figura F-5. Comparación entre caudal medio anual y precipitación anual por siglos (Modelo MERIDANUS). (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.....	93
Figura F-6. Comparación entre caudal medio anual y temperatura media anual por siglos (Modelo MERIDANUS). (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII, (c) Siglo XIX y (d) Siglo XX.....	94
Figura F-7. Curva de variación estacional Achibueno en la Recova. Modelo MPUC. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII y (c) Siglo XIX.....	95
Figura F-8. Curva de variación estacional Achibueno en la Recova. Modelo MERIDANUS. (a) Siglo XVII, (b) Siglo XVIII y (c) Siglo XIX.....	96